

## Campo di PORTO CORSINI MARE

Aggiornamento al 31/12/17

Il campo di Porto Corsini Mare - pozzi PCMS-1 e PCMS-2 - è situato nell'offshore Adriatico circa 20 km a NE da Cervia, a una profondità d'acqua di circa 24 m, nelle concessioni, A.C1.AG (pozzo PCMS-1) e P.to Corsini Mare (PCMS-2) (Figura ).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C1.AG (PCMS-1)	14/09/20	Eni	Eni	100%	Emilia- Romagna
P.to Corsini mare (PCMS- 2)	26/05/21	Eni	Eni	100%	

I livelli mineralizzati, scoperti nel 1997 dal pozzo PCMS-1, presentano caratteristiche di eterogeneità, di discontinuità e si strutturano come blande anticlinali con asse NNW-SSE. La serie mineralizzata si trova a una quota di circa 1400 m slm e interessa 2 livelli della serie PLQ della Formazione Carola (Figura ).

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 delle 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 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.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2018</p>	<p>Page - 2 - of 67</p>
---	--	-------------------------

Per tale previsione sono stati utilizzati i parametri geomeccanici che, con le informazioni disponibili a tale data, erano considerati come i più rappresentativi del comportamento della formazione, in particolare:

- compressibilità uniassiale  $C_m = 0,561 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$ ;
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,30$ .

In seguito al Decreto VIA n° 6132 del 24/05/01 che approvava il programma lavori presentato, nel 2001 è stato realizzato lo sviluppo 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  $190 \text{ kSm}^3/\text{g}$ . 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. Tale revisione ha confermato il GOIP del livello completato nei pozzi PCMS 1 e 2 (*GOIP studio statico del maggio 1999 pari a  $600 \text{ MSm}^3$ , GOIP revisione studio statico del marzo 2007 pari a  $600 \text{ MSm}^3$* ). Il nuovo profilo di produzione ottenuto con il modello dinamico *Eclipse 3D* ha previsto, però, un lieve calo delle riserve che si sono ridotte a  $425 \text{ MSm}^3$  in 16 anni per effetto di una graduale chiusura dei pozzi causata all'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  $515 \text{ MSm}^3$  al 2016 pur restando il GOIP del campo invariato rispetto al modello 2007 ( $600 \text{ MSm}^3$ ).

A detto 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). Quest'ultimo è stato fatto con un codice di calcolo a elementi finiti (FEM – Isamgeo) impiegando una legge costitutiva di tipo elasto-plastico (CCM - Cam Clay Modificato) per la roccia serbatoio del giacimento e degli acquiferi connessi. I parametri di tale legge costitutiva sono stati calcolati

a partire dai valori di compressibilità  $C_m$  derivati dalle misure di compattazione eseguite in situ nei pozzi attrezzati con marker dei campi a gas del Nord Adriatico [Hueckel et al.<sup>1</sup>].

Tale studio predittivo ha stimato un valore di subsidenza massima pari a 6,8 cm dopo 16 anni dall'inizio produzione, mentre la distanza minima della linea d'iso-subsidenza di 2 cm dalla costa è risultata pari a circa 17 km.

A seguito della chiusura di entrambi i pozzi, 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 dicembre 2016 (Figura a e 3b).

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). Quest'ultimo, come in precedenza, è stato realizzato con un codice di calcolo a elementi finiti (FEM – Isamgeo). Il valore di subsidenza massima prevista è stato pari a 5,4 cm al 2020, mentre la distanza minima della linea d'iso-subsidenza di 2 cm dalla costa è di circa 17 km (Figura 6).

In Figura sono riportati gli andamenti storici della portata di gas, d'acqua e della produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/2017 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.

Nella Figura sono confrontati i profili di pressione calcolati con i modelli *Eclipse 2016* con le pressioni statiche misurate nei due pozzi. I dati misurati sono riprodotti in modo conservativo dal modello: la ripressurizzazione reale è più marcata rispetto a quanto simulato.

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

---

<sup>1</sup> T. Hueckel, G. Cassiani, J. H. Prévost, and D. A. Walters, *Field derived compressibility of deep sediments of the northern Adriatic*, in Land Subsidence – Special Volume, Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Symp. on Land Subsidence, P. R. China, 23-28 Oct. 2005.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2018</p>	<p>Page - 4 - of 67</p>
---	--	-------------------------

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 del 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 il Dipartimento DICAM dell’Università di Bologna.

La rete di livellazione rilevata nel 2017 (ultimo rilievo eseguito), è stata ampliata con l’aggiunta di uno sbraccio esteso all’area del campo di Agosta.

Tale rete 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 1200 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 210 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare.

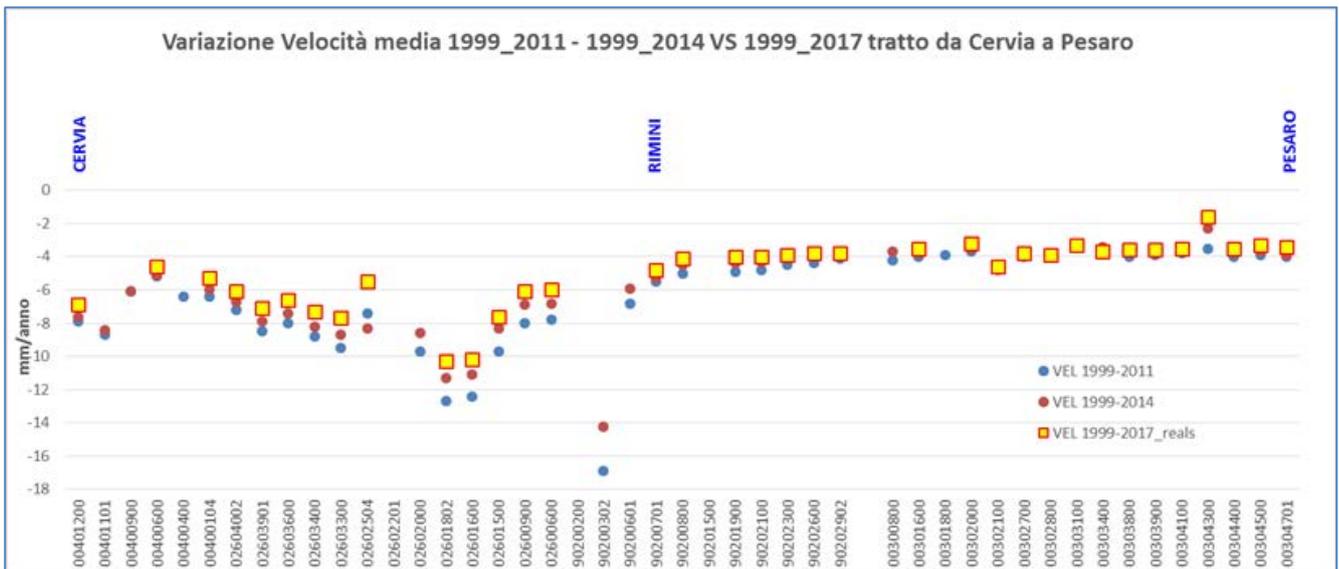
Le operazioni di campagna si sono svolte nel periodo compreso tra agosto e ottobre 2017 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell’ente certificatore.

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. Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2014, 13 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in seguito a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un’origine diversa rispetto a tutte le altre.



Le velocità medie di subsidenza, stimate con regressione lineare e relative ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportate in Figura A per i seguenti periodi: 1999-2011, 1999-2014 e 1999-2017. Il confronto fra i valori rilevati dei tre periodi mostra come negli ultimi anni dette velocità siano generalmente in diminuzione. Il fenomeno, già osservato con le misure del 2014, è stato ulteriormente confermato dai dati acquisiti con la campagna di livellazione del 2017.

**Figura A –Tratto Cervia-Pesaro: velocità medie di subsidenza**



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. Come programmato in precedenza, l'ente certificatore ha iniziato, da questa campagna, ad introdurre la compensazione sviluppata utilizzando i valori di velocità desunti dalle stazioni CGPS permanenti della rete Eni. A questo proposito, però, è necessario anche 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. In effetti, ciò è stato osservato nel caso dei risultati del rilievo 2017, in cui le misure delle quote di alcuni capisaldi sono risultate maggiori dei corrispondenti valori rilevati con la livellazione del 2014. Valori questi ultimi che erano stati ottenuti con la compensazione classica vincolata al solo caposaldo di Treviso.

I risultati del rilievo 2017 sono, comunque, compatibili con il quadro generale di una diminuzione della velocità di subsidenza osservata anche con il monitoraggio SAR.

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  $V_a$ <sup>2</sup> di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

- classe 4: include i capisaldi con  $V_a > 10$  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 1999-2014 mostra per l’area in esame un quadro di generale abbassamento, con valori in leggera diminuzione rispetto a quelli misurati nelle campagne fatte fino al 2011. Il 50% dei punti, infatti, ricade nella classe 2, il 45% dei punti in quella 3 e solo il 5% (due capisaldi) hanno valori di  $V_a$  di poco superiori a 10 mm/a (11,3 mm/a come valore massimo).

Il confronto con i dati di livellazione del periodo 1999-2017 conferma, come già detto, tale rallentamento della velocità di subsidenza, che è diffuso per tutto il tratto analizzato. Ricade, infatti, nella classe 2 il 60% dei punti analizzati, il 31% dei punti in quella 3, mentre è praticamente invariata la percentuale dei punti appartenenti alla classe 4 (6%, ovvero due soli punti); un solo caposaldo appartiene alla classe 1.

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2020), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del

---

<sup>2</sup> Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie del suolo) sono riportate con valori negativi. Per comodità d’interpretazione, però, nell’elenco che segue le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2018</p>	<p>Page - 7 - of 67</p>
---	--	-------------------------

tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2017) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 7).

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).

Le serie storiche di misure CGPS acquisite nelle stazioni messe in opera nel periodo 2015 - 2016, sono, però, ancora troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

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 una trave 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 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) che, una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, entrerà a fare parte delle stazioni utilizzate per il monitoraggio della stabilità della costa.

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, facoltà di Fisica – Dipartimento di Fisica e Astronomia DIFAS.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma PCC, certificati fino al 2015 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 31/12/2017 (Figura ), 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 31/12/2015**

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	16,56	23,34	-3,88	16,59	23,49	-3,80	-0,03	-0,15	0,08

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 con cadenza biennale.

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 cal-

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2018</p>	<p>Page - 9 - of 67</p>
---	--	-------------------------

colati da modello previsionale, qualora si abbia una subsidenza caratterizzata da valori sufficientemente elevati. In questi casi sarà possibile monitorare solo eventuali anomalie di trend, ma non procedere a un confronto diretto dei valori attesi da modello vs. i valori misurati.

In generale:

- dataset < 12 mesi: solo *follow up* per monitoraggio dei dati acquisiti;
- dataset di 12÷36 mesi e
  - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
  - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;
- dataset > 36 mesi: analisi di trend e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

Le elaborazioni sono state fatte con *software* scientifico Bernese, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). Nel corso del 2013, a seguito del rilascio del nuovo sistema di riferimento, sono stati rielaborati tutti i dati secondo il sistema ITRF2008-IGB08, al quale fanno riferimento i grafici della presente relazione.

Dalle prossime relazioni i dati saranno riferiti al sistema di riferimento ITRF2014, reso disponibile nel 2017 e per il quale è necessaria la rielaborazione di tutte le serie storiche esistenti.

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), è possibile stimare una velocità media

di subsidenza totale<sup>3</sup> pari a -3,7 mm/a (Figura e 9), sostanzialmente invariata rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-3,8 mm/a al 2016).

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.

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico integrato (PCMS 1,2 e PCME) sono stati confrontati con quelli misurati 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. Come si vede dalla Figura , l'evoluzione temporale della subsidenza simulata dal modello integrato (linea blu) riproduce in modo conservativo i dati registrati dal CGPS (linea rossa).

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni hanno confermato come eventuali fenomeni di subsidenza connessi alla produzione di gas dal campo di 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 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

---

<sup>3</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.



Figura 1 - Ubicazione del Campo di PCM

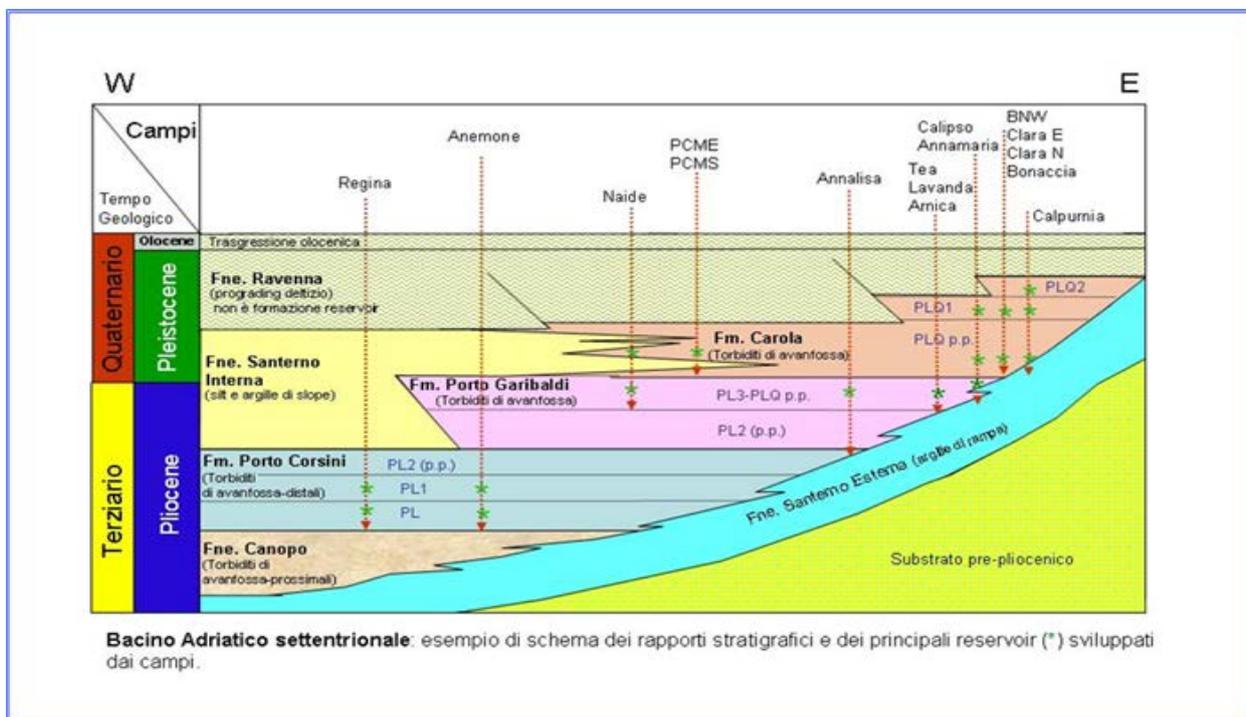


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



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					

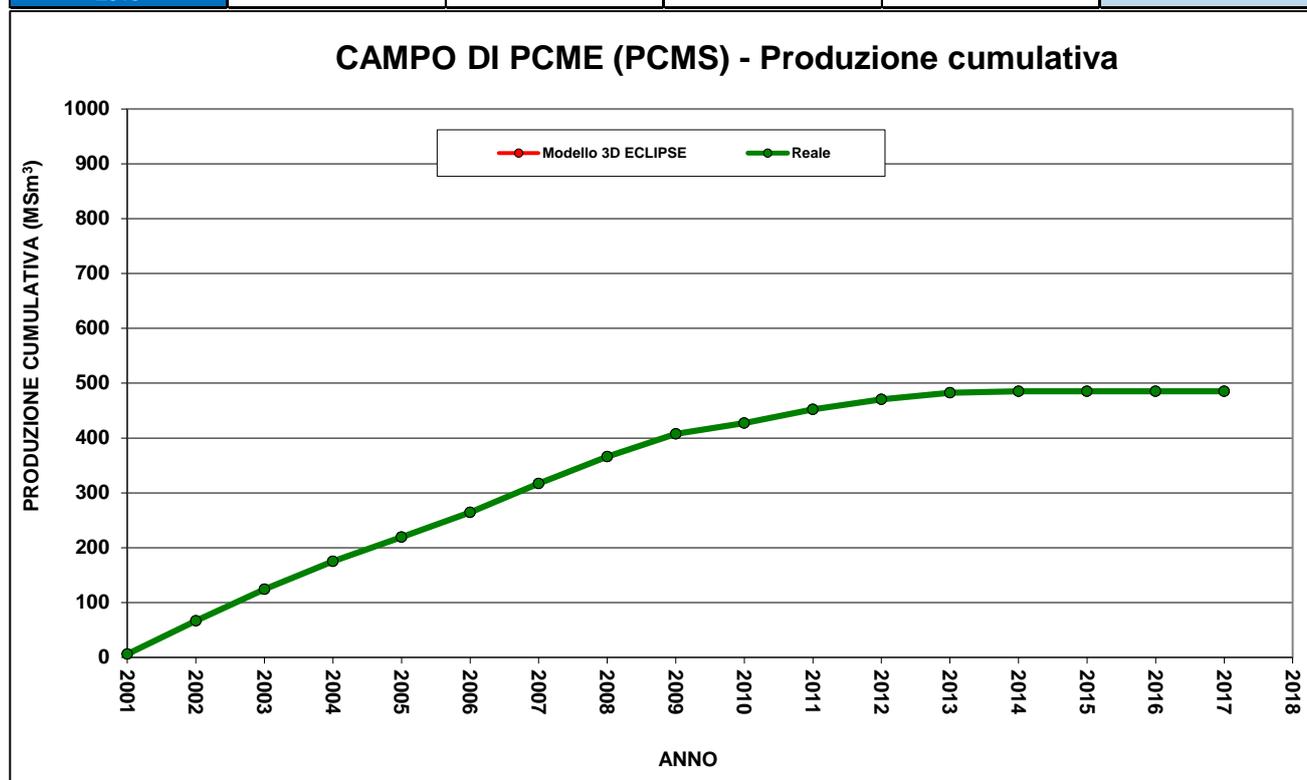


Figura 3a – Campo di Porto Corsini Mare: tabelle e grafici di produzione vs. modello *Eclipse* 2016

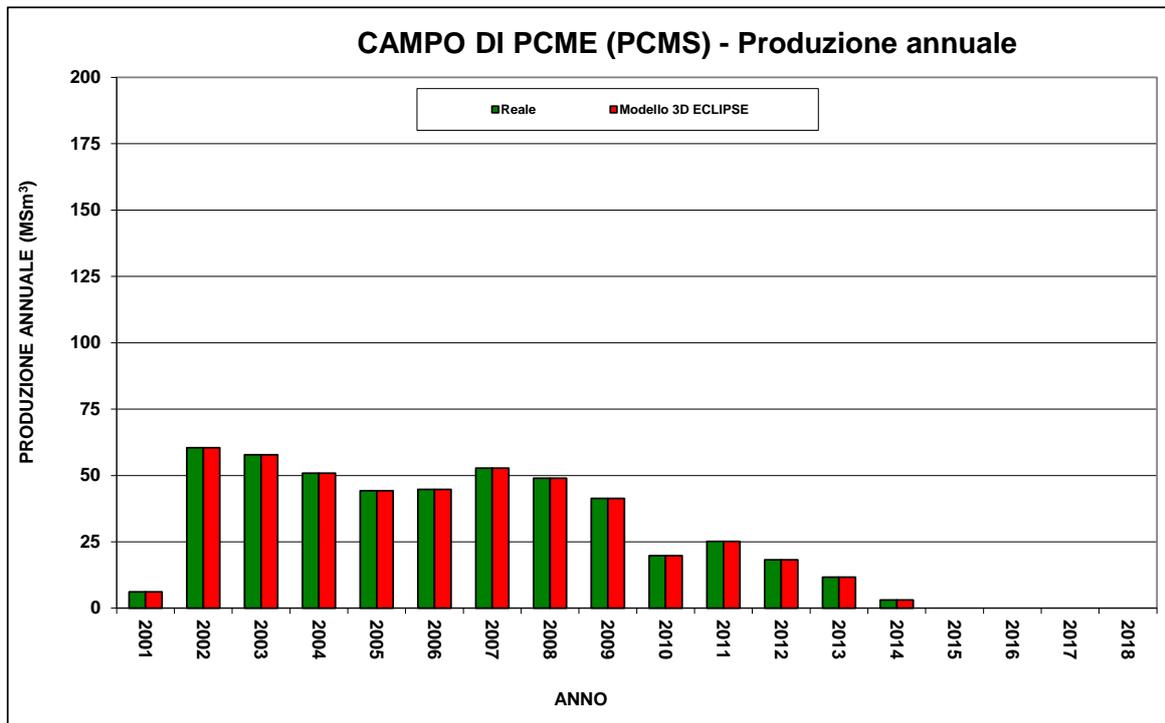


Figura 3b – Campo di Porto Corsini Mare: tabelle e grafici di produzione vs. modello *Eclipse* 2016

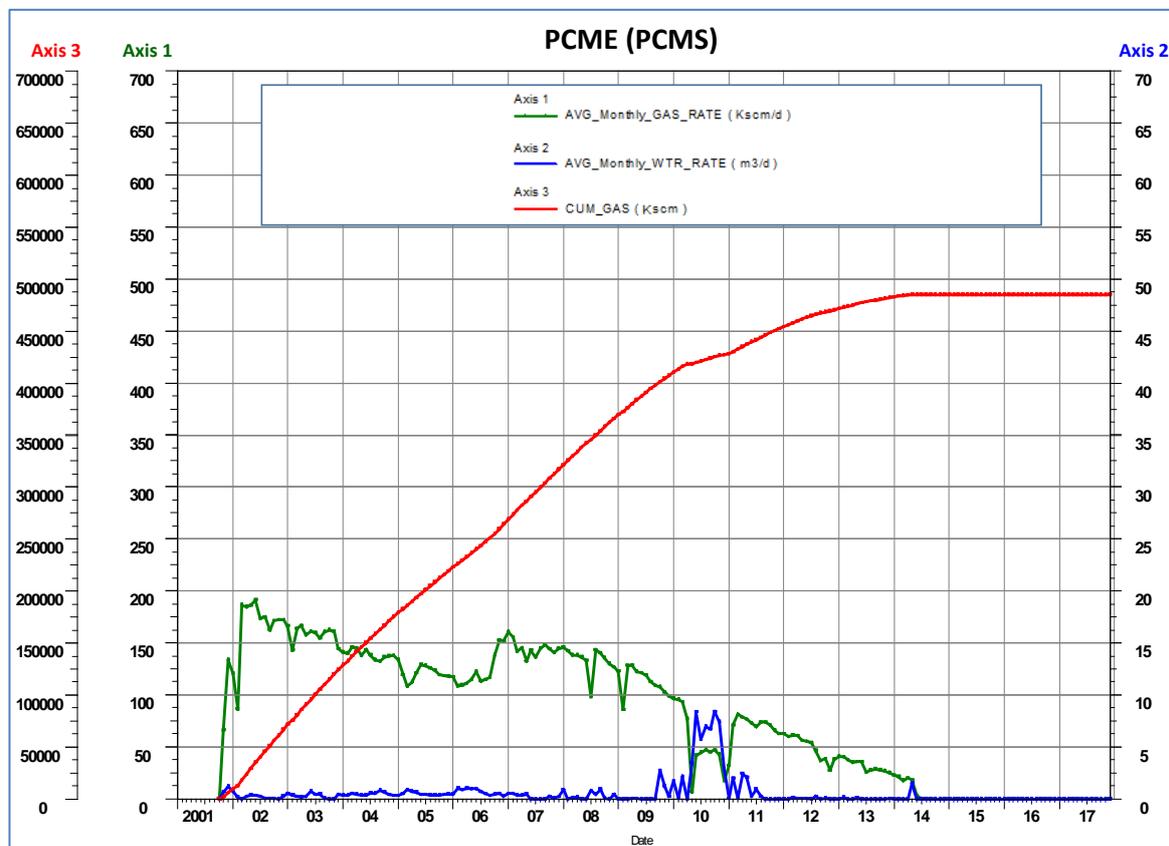


Figura 4 – Campo di Porto Corsini Mare: grafico della produzione storica



CAMPO DI PCME (PCMS)			
Data	Livello PLQ-D1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/10/1997	141	PCMS 1	
01/07/2001	134	PCMS 2 Dir	
20/05/2007	100		PCMS 1 S
07/05/2010	79		PCMS 1 S
14/12/2013	83		PCMS 1 S
19/07/2015	92		PCMS 1 S
14/09/2016	95		PCMS 1 S
26/12/2017	99		PCMS 1 S

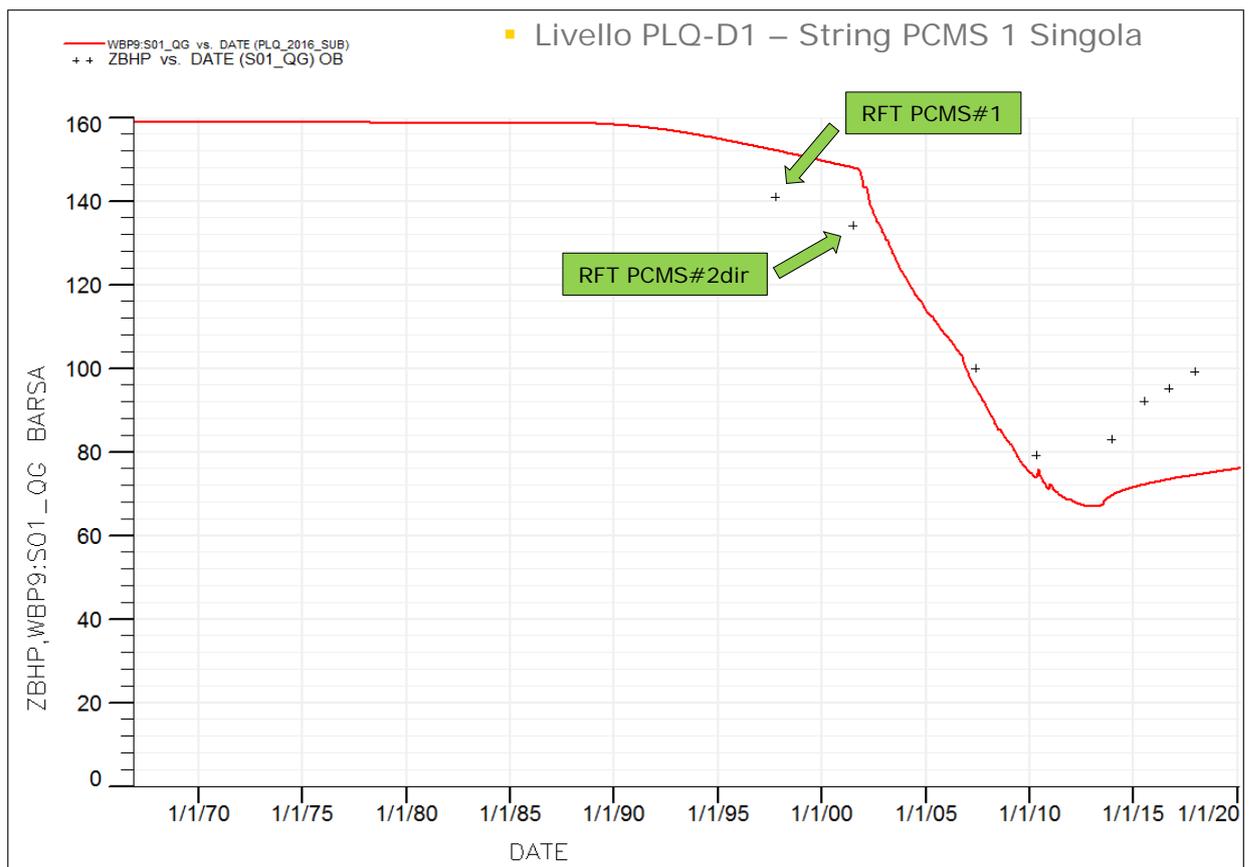
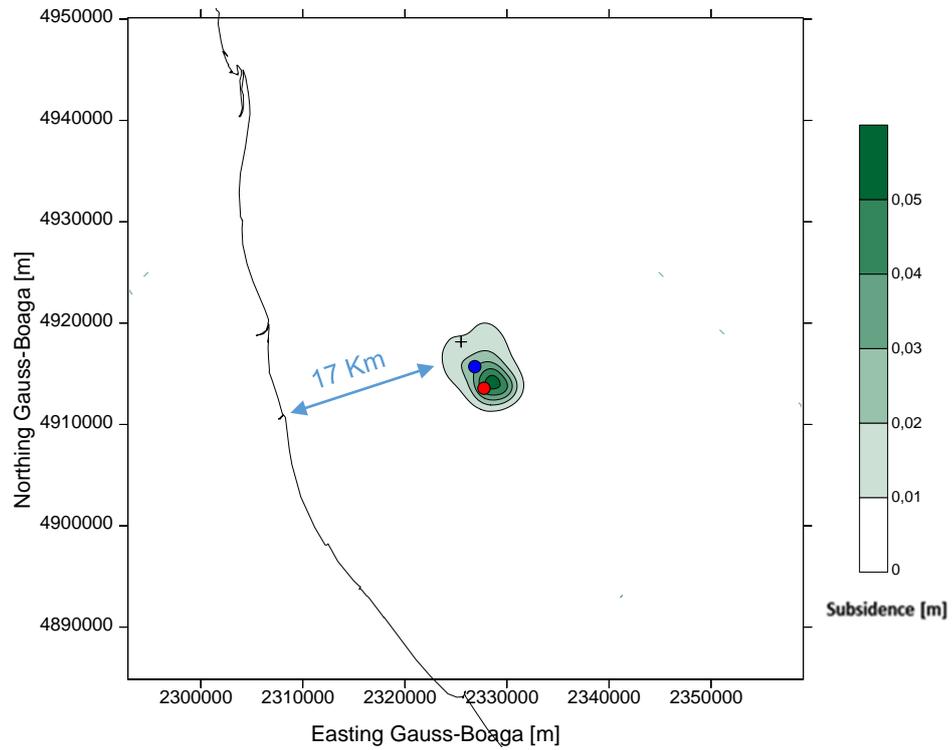


Figura 5 – Campo di Porto Corsini Mare: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello *Eclipse* 2016 (livello PLQ-D1)

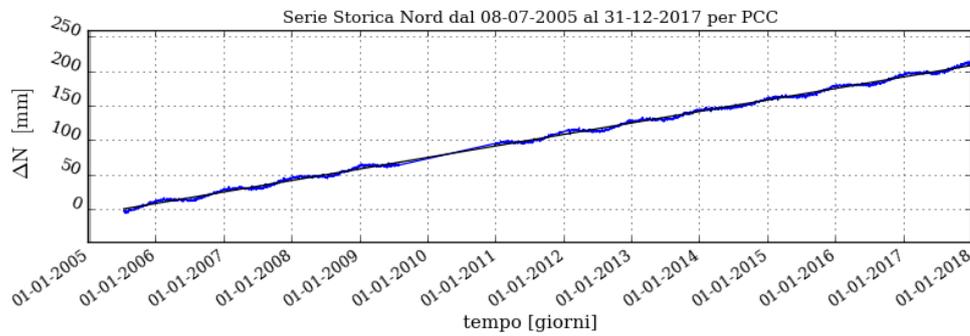


**Figura 6 – Campo di Porto Corsini Mare: curve d’iso-subsidenza per lo scenario al 2020. Il simbolo a forma di croce indica la posizione della piattaforma PCC. I pozzi PCMS-1 e PCMS-2 sono indicati rispettivamente da un cerchio rosso e uno blu.**



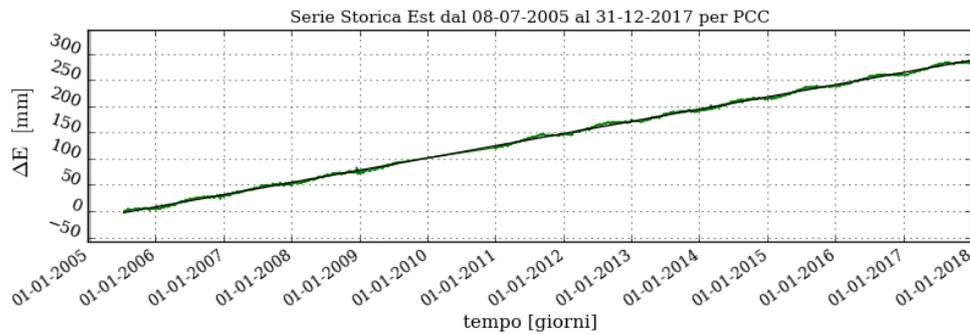


Serie storiche spostamenti IGb08 RETE PCC



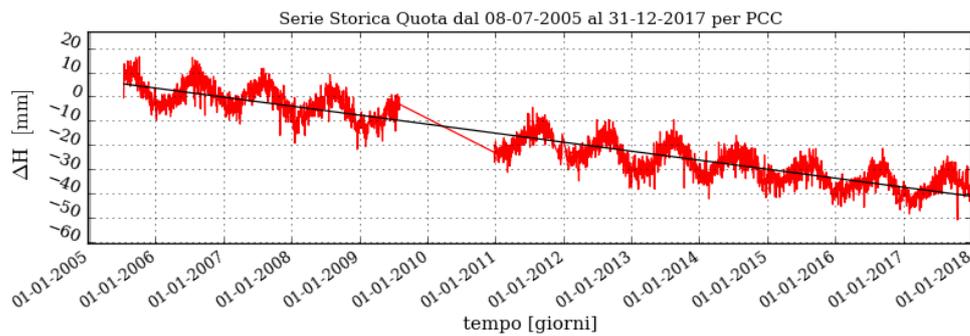
$Vel_n = 16.62 \pm 0.01$  mm/y  
 $WRMS_n = 2.55$  mm  
 $\chi^2 / DOF = 39.08$

— Nord  
— Regressione lineare



$Vel_e = 23.31 \pm 0.01$  mm/y  
 $WRMS_e = 2.62$  mm  
 $\chi^2 / DOF = 65.53$

— Est  
— Regressione lineare



$Vel_h = -3.73 \pm 0.02$  mm/y  
 $WRMS_h = 5.12$  mm  
 $\chi^2 / DOF = 13.42$

— Quota  
— Regressione lineare

Figura 8 - Campo di Porto Corsini Mare: serie storiche di misure CGPS



CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2017	Max subsidenza prevista (caso di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio	CGPS			mesi di registrazion e	
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2016	vel.media (mm/a) @ dic.2017		TREND rispetto @ dic. 2016
ANEMONE	1978	2018	100%	-39cm al 2048	2015	giu-07	-4,7	-4,5	invariato	110
ANNALISA	2000	2023	94%	-10cm al 2027	2014	ott-07	-4,1	-3,6	diminuzione	93
ANNAMARIA B	2009	2030	73%	-163cm al 2031	2017	gen-10	-108,6	-109,6	aumento	93
BARBARA NW	1999	2035	74%	-44cm al 2029	2017	gen-08	-29,6	-29,3	diminuzione	106
BONACCIA	1999	2035	65%	-423cm al 2033	2014	dic-07	-76,2	-75,0	diminuzione	119
BONACCIA NW	2015					set-15	n.d.	-59,8	n.d.	27
CALIPSO	2002	2025	81%	-85cm al 2026	2017	nov-07	-15	-14,8	diminuzione	116
CALPUERNIA	2000	2022	99%	-14cm al 2015	2017	giu-07	-2	-1,4	diminuzione	110
CLARA EST	2000					nov-07	-13,4	-13,7	invariato	122
CLARA NW	2016	2038	59%	-129cm al 2037	2017	mar-16	n.d.	-24,2	n.d.	21,5
CLARA NORD	2000	2021	99%	-34cm al 2016	2017	nov-07	-23,6	-22,1	diminuzione	122
ELETTRA	2014	2029	58%	-11cm al 2061	2017	lug-14	-23,6	-24,2	aumento	41
FAUZIA	2014	2020	94%	-5cm al 2068	2017	set-14	-5,5	-4,9	diminuzione	39
GUENDALINA	2011	2023	98%	-3cm al 2023	2014	ago-11	-5,4	-5,5	invariato	76
NAIDE	2005	2020	95%	-8cm al 2020	2017	giu-05	-3,4	-3,3	invariato	150
NAOMI - PANDORA	2001	2037	48%	-4,7cm al 2049	2017	giu-02	-1,5	-1,5	invariato	186
PCME (PMS)	2001	2014	100%	-5,4cm al 2020	2016	lug-05	-3,8	-3,7	invariato	149
REGINA	1997	2030	97%	-130cm al 2061	2017	giu-07	-25,5	-23,7	diminuzione	126
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2018	103%	-5cm al 2018	2015	nov-07	-4,3	-3,7	diminuzione	122

Figura 9 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di misure CGPS vs. modelli

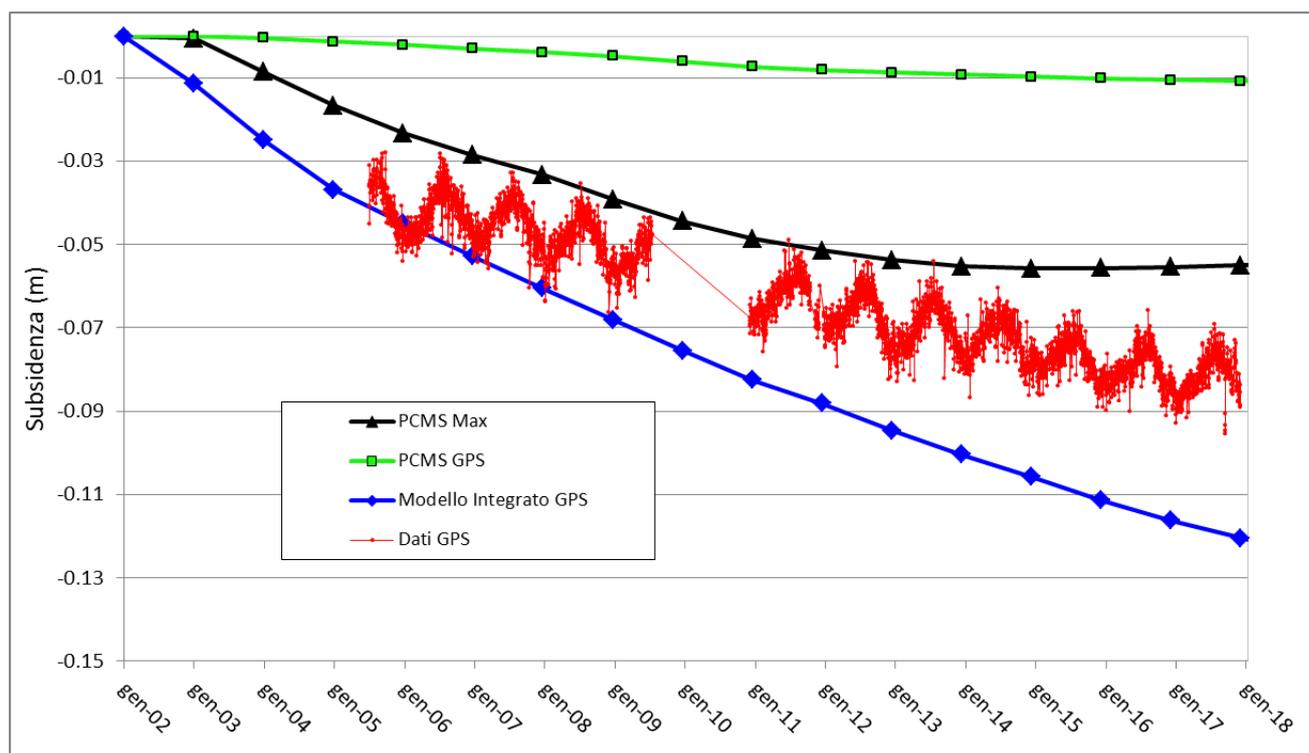


Figura 10 – Campo di Porto Corsini Mare: CGPS (agg. 31 dic. 2016) vs. modello di subsidenza (in corrispondenza della p.ma PCC)



campo PORTO CORSINI MARE (PCMS 1 - PCMS 2) (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA n. 6132 del 24 MAGGIO 2001 -	
UBICAZIONE	offshore - 20 km a NE di Cervia	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (PCM)	
PROFONDITA' FONDALE	24 m	SIA	
LITOLOGIA	sabbie fini	ULTIMO AGGIORNAMENTO	
FORMAZIONE RESERVOIR	Carola	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"
ZONA MINERARIA	PLO	RISERVE (MSm <sup>3</sup> )	457
PROFONDITA' RESERVOIR	1400 (TVDSS)	MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO
TIPO DI PIATTAFORMA	Monotubolare	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	4,5 (dopo 10 anni)
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi legg.deformate	MAX DIST. DAL CULMINE (km)	2,5 (dopo 10 anni)
		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	PCMS1 PCMS2	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONI	A.C1.AG PORTO CORSINI MARE 14/09/2015 (PCMS1) 26/05/2016 (PCMS2)	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2015 e 2017. I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2017) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM IL PROSSIMO RILIEVO DELLA "DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2020 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI	
N. POZZI (MSm <sup>3</sup> )	1 + 1	MARKERS	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm <sup>3</sup> )	457	CGPS OPERATIVO DAL 2005	
START UP PRODUZIONE	nov-01	SAR	
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2016	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ Dicembre 2017 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LE PIATTAFORME PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.ME PCMS 1-2 NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	
GAS PRODOTTO (MSm <sup>3</sup> )	485		
% RISERVE PRODOTTE	100%		

Figura 11 - Scheda di sintesi dati campo

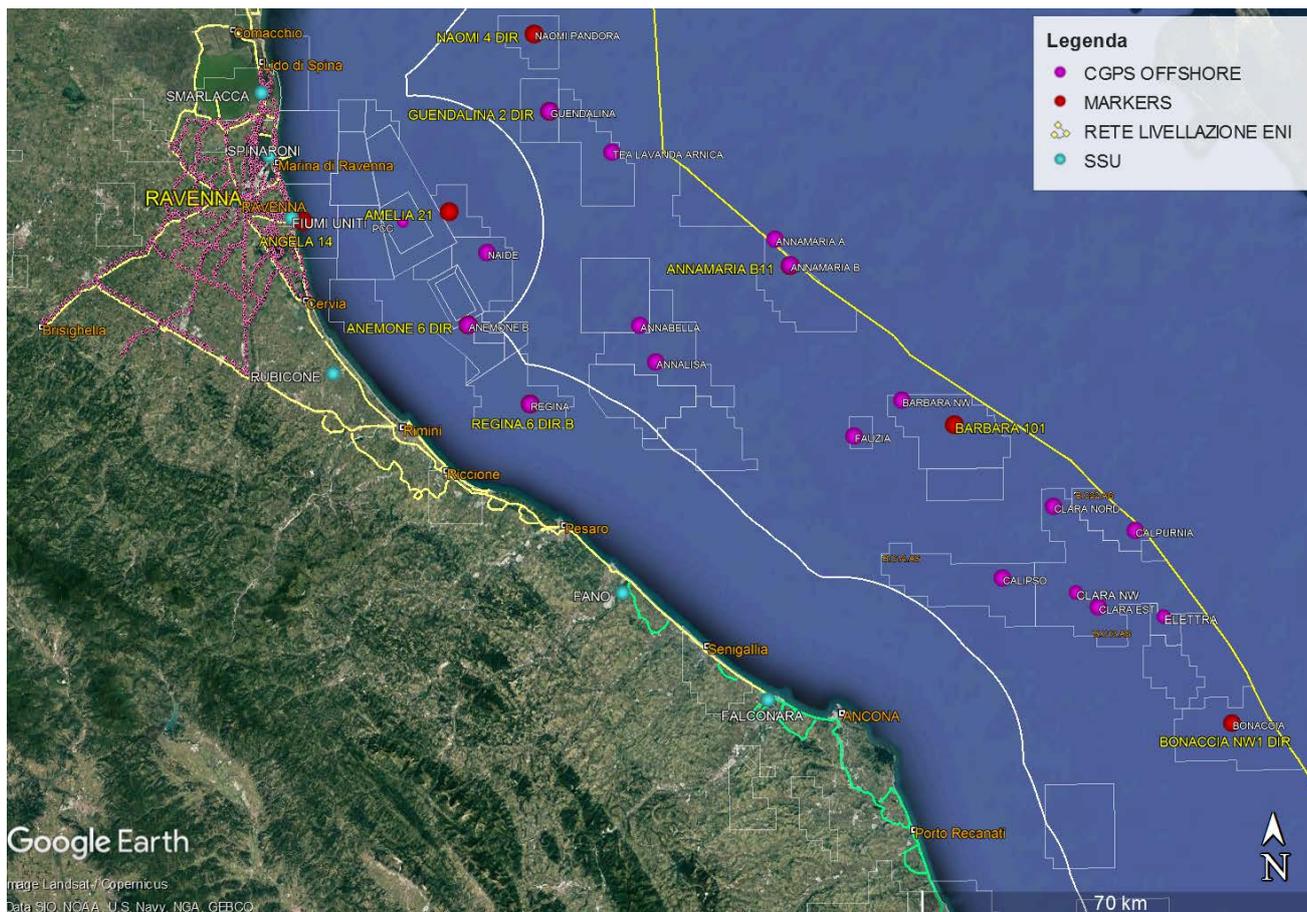


Figura 12 - Particolare della rete di monitoraggio Eni



## Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2017

I dati *InSAR* del periodo 2003 – 2017 sono stati elaborati con un algoritmo diverso da quello utilizzato negli scorsi anni, essendo cambiato ad aprile 2017 il contrattista fornitore del servizio (Telespazio/e-GEOS).

Il nuovo algoritmo impiegato sarà descritto in seguito con maggior dettaglio (si veda la sezione “Tecnica PSP-DIFSAR”) allo scopo di evidenziare le differenze dei principali algoritmi utilizzati nell’elaborazione delle misure d’interferometria radar.

A valle dell’analisi dei dati interferometrici 2003 - 2017 si può, comunque, affermare che la qualità dei risultati ottenuti con il nuovo procedimento di elaborazione è del tutto comparabile con quella dei risultati riportati nella precedente relazione per il periodo 2003 – 2016.

### Analisi dati *InSAR* 2003 – 2017

L’analisi dei dati *SAR* ha interessato complessivamente dieci data-set, relativi ad altrettante aree geografiche, processati in modo tale da garantire continuità spaziale dei dati.

L’analisi delle differenze tra le componenti verticali delle velocità medie annuali di deformazione del suolo misurate dai CGPS installati nell’area in esame, e quelle ottenute dalle immagini *SAR* retroriflesse dai bersagli PS (permanent scatterer) situati in una zona circolare (raggio ca. 300 m) intorno alle corrispondenti stazioni CGPS (Tab. 1A), ha consentito d’accorpate le suddette aree geografiche in solo due macro-aree, in modo tale da calibrare i dati *InSAR* minimizzandone le differenze di valore con le misure CGPS.

A tale proposito si veda la Tab. 1A in cui sono riportate:

- sia la componente verticale della velocità media annua misurata dal CGPS (simbolo:  $V_{vert\_CGPS}$ ), sia il relativo scarto quadratico medio (simbolo:  $sqm\_CGPS$ );
- sia la media delle componenti verticali delle velocità medie annue registrate dai PS nell’intorno della corrispondente stazione CGPS (simbolo:  $Media\_V\_SAR$ ), sia il relativo scarto quadratico (simbolo:  $sqm\_SAR$ );
- la differenza tra le velocità CGPS e *SAR* e i relativi scarti quadratici medi (colonne 7 e 8).



Si noti che tutte le misure sono espresse in mm/a.

Tab. 1A. Taratura dato InSAR con misure CGPS

	CGPS	V_vert_CGPS [mm/a]	sqm_CGPS [mm/a]	Media_V_SAR [mm/a]	sqm_SAR [mm/a]	Vel (CGPS- SAR) [mm/a]	sqm_diff [mm/a]
RAVENNA	MANARA	-2,52	0,02	0,03	0,83	-2,55	0,85
	SMARLACCA	-6,18	0,01	-2,67	2,12	-3,51	2,13
	SPINARONI	-7,29	0,01	-3,28	1,64	-4,01	1,65
	FIUMI UNITI	-13,99	0,02	-10,96	2,66	-3,03	2,68
FANO-ANCONA	RUBICONE	-2,12	0,04	-2,90	2,03	0,78	2,07
	FANO	0,60	0,03	0,17	0,84	0,43	0,87
	FALCONARA	0,21	0,03	-0,13	1,46	0,34	1,49
	ITALGAS	0,56	0,03	0,47	0,90	0,09	0,93

Come si può osservare in detta tabella le differenze di velocità media tra le misure CGPS e quelle SAR hanno valori che si attestano a circa 3 mm/a per le prime quattro aree, mentre per le seconde quattro tali differenze sono dell'ordine di circa mezzo millimetro.

Per tale motivo si è scelto di mosaicare i dieci diversi data-set in due sole macro-aree denominate (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.A**):

1. Area di Ravenna, che comprende le stazioni CGPS di Manara, Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti;
2. Area di Fano-Ancona, che comprende le stazioni CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas.

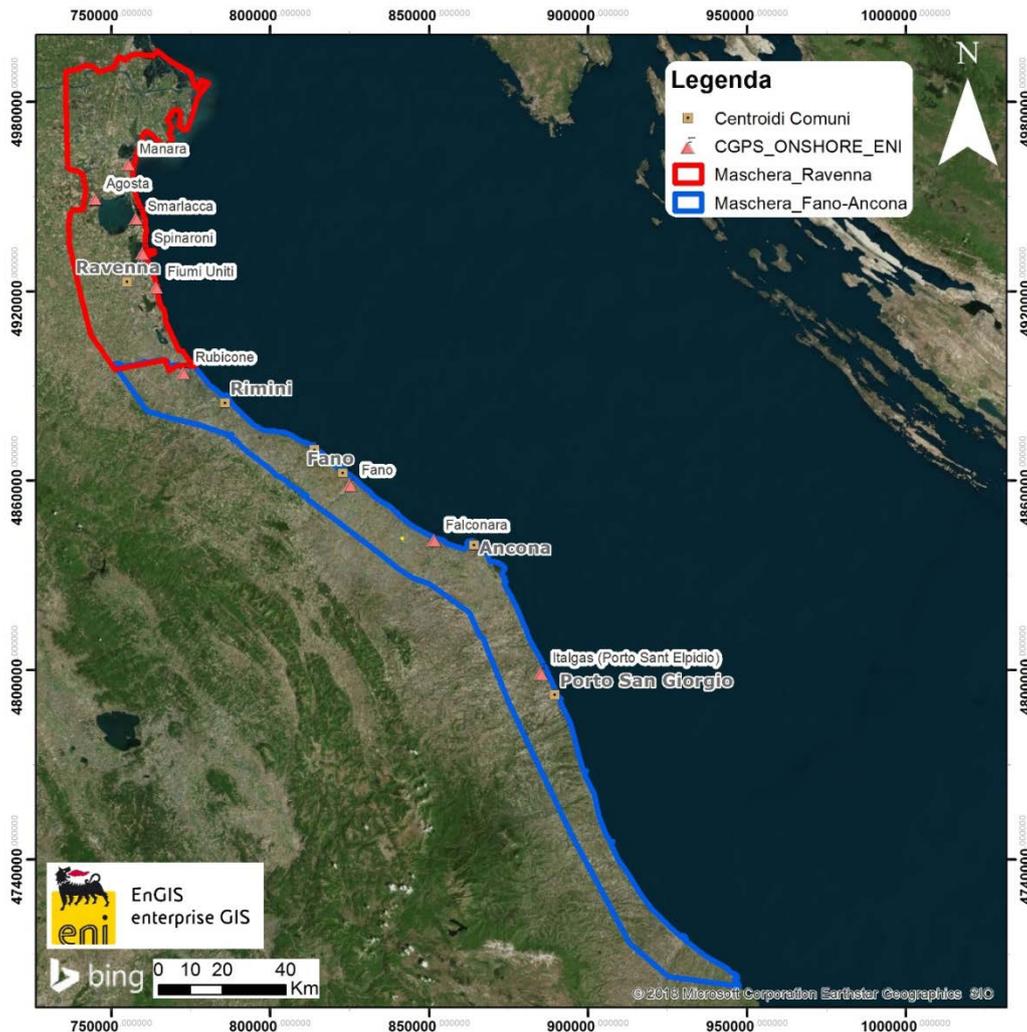


Fig.1A – Mappa mosaicatura dati InSAR

La calibrazione dei dati SAR è stata fatta con le misure CGPS acquisite nelle stazioni CGPS ubicate all'interno delle macro-aree analizzate, procedendo da quelle con la serie storica di dati più consistente (Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti dell'area di Ravenna).

Per il processo di calibrazione si sono utilizzate le misure della velocità verticale di deformazione del suolo dell'area SAR più a nord (area ravennate) e, in particolare, quelle della stazione di Smarlacca. I dati acquisiti nei siti Fiumi Uniti, di Spinaroni di Manara sono stati impiegati esclusivamente per la verifica dei risultati ottenuti dalla calibrazione.

Per la valutazione delle velocità verticali di deformazione del suolo fatta con le misure CGPS si è utilizzata tutta la serie storica disponibile di tali misure che, però, per le stazioni CGPS di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti è iniziata a una data leggermente anteriore ri-



spetto a quella d'inizio misure *SAR*. Si è, comunque, accertato che i valori di velocità così ottenuti differiscono in modo del tutto trascurabile ( $< 1$  mm/a) rispetto a quelli che si otterrebbero dagli stessi dati *CGPS*, utilizzando però una serie storica di misure leggermente ridotta, avente cioè la stessa data d'inizio di quella dei dati *SAR*.

L'analisi dei dati *SAR* non calibrati e acquisiti in un'area circolare (raggio di circa 300 m) intorno alla stazione *CGPS* di Smarlacca, ha consentito di stimare una velocità media d'abbassamento del suolo di  $-2,67 \pm 2,12$  mm/a. Dato che la corrispondente velocità media ottenuta dalle misure del *CGPS* di Smarlacca è di  $-6,18 \pm 0,01$  mm/a, si ha uno scostamento fra le due misure di  $-3,51 \pm 2,13$  mm/a. Ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio *SAR*, si è applicata, pertanto, una correzione pari a  $-3,51 \pm 2,13$  mm/a. Si sono poi confrontati tali dati *SAR* con le misure dei *CGPS* di Manara, di Spinaroni e di Fiumi Uniti considerando i punti *SAR* disponibili in un'area circolare (raggio pari a 300 m) intorno a tali stazioni. Il confronto ha mostrato differenze mediamente inferiori a 1 mm/a tra le misure *CGPS* e i dati *SAR* calibrati, confermando la bontà del procedimento seguito. In Figura 2A sono rappresentati i dati *InSAR* ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porte Tolle a Cesenatico. Tali dati sono stati ricavati per interpolazione con un algoritmo di *IDW (Inverse Distance Weighted)* mediante *Tool ArcGis Spatial Analyst®*.



Come già effettuato nel 2016 (vedi relazioni 2017), l'altro data-set (Area di Fano-Ancona, vedi Fig.1A), è stato analizzato separatamente da quello dell'area Ravennate, in quanto, come spiegato in precedenza, per ciascuna delle due macro-aree si ha una buona coerenza delle misure SAR con quelle delle stazioni CGPS ubicate al loro interno.

Con il consolidarsi della serie storica di dati SAR (14 anni circa) si è notato, inoltre, come la calibrazione in sequenza delle diverse aree – a partire da quella di Ravenna e impiegando un valore di calibrazione ottenuto come media di valori di velocità verticale nelle zone di frontiera tra le aree contigue - introduca un errore sistematico. Tale errore, che consiste in uno spostamento verticale fittizio probabilmente dovuto anche alla propagazione della varianza, non deve essere trascurato nelle calibrazioni “a catena”.

L'analisi dell'area SAR dell'area di Fano-Ancona mostra che le velocità verticali di deformazione del suolo registrate dalle stazioni CGPS di Rubicone, di Fano, di Falconara e di Italgas sono del tutto allineate con quelle misurate dal SAR: la differenza è inferiore al millimetro. Si noti che il confronto è stato fatto per una zona circolare (raggio di ca. 300 m) intorno a ogni stazione, e che le velocità verticali dei dati SAR sono una media delle misure relative ai *Permanent Scatterer* che ricadono all'interno di tale zona.

Si sono, pertanto, calibrati i dati InSAR dell'area Fano-Ancona con la misura della velocità media annua del CGPS di Fano, sommando ai primi il valore di  $+0.43 \pm 0,87$  mm/a.

Si sono poi confrontate le misure calibrate dei punti SAR appartenenti a una zona circolare (raggio di ca.300 m) intorno alle stazioni CGPS di Rubicone, di Falconara e Italgas, con i corrispondenti dati CGPS acquisiti in tali stazioni. Il confronto mostra differenze che sono in media di circa mezzo millimetro a conferma della validità della calibrazione fatta.

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. A è riportata l'interpolazione dei dati mosaicati per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini a Ortona. Anche in questo caso si è impiegato l'algoritmo di IDW (*Inverse Distance Weighted*) mediante *Tool ArcGis Spatial Analyst*<sup>®</sup>.

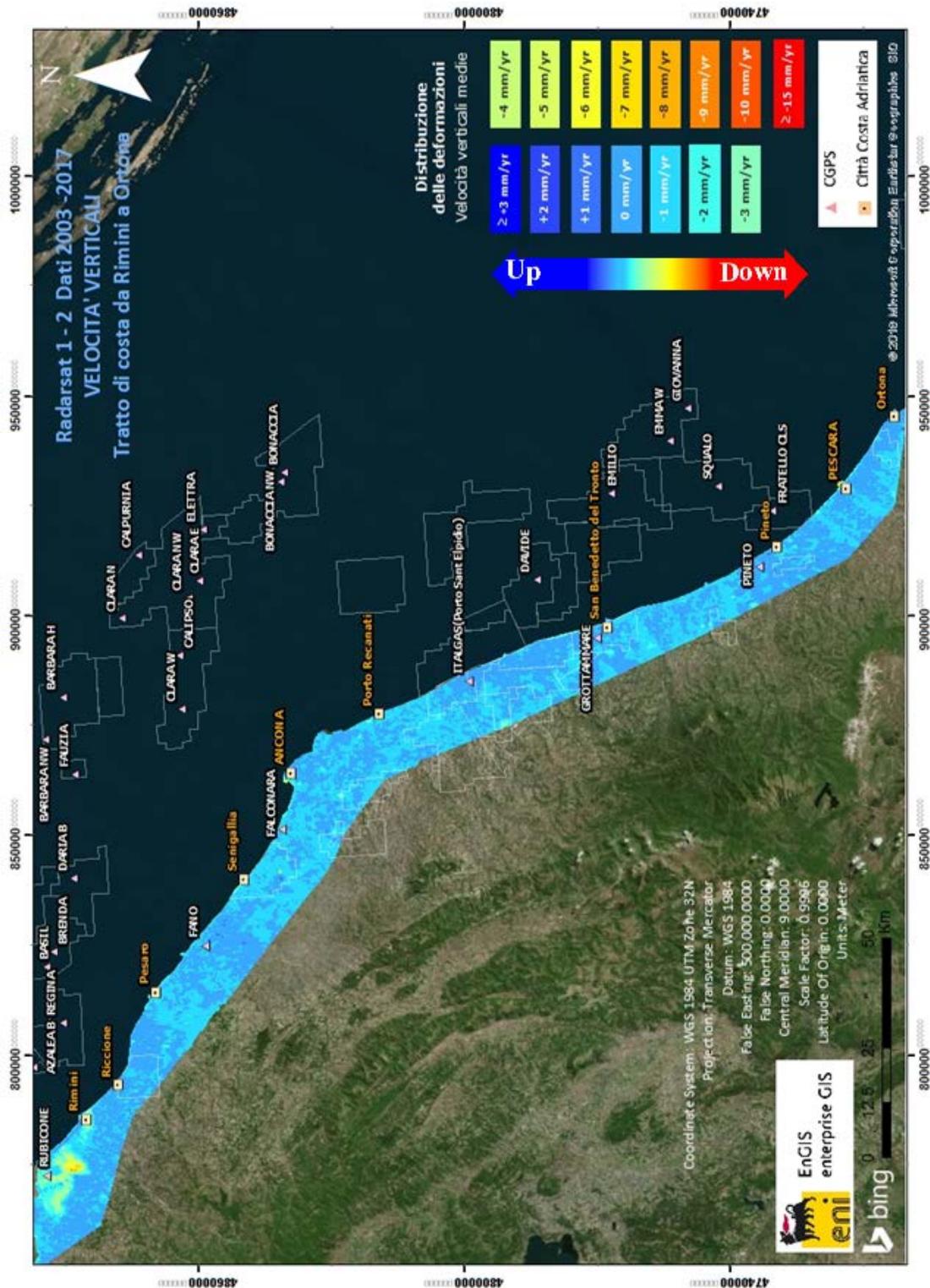


Fig.3A - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2017, con Tool ArcGIS Spatial Analysts®. Tratto di costa da Rimini a Ortona



### **Confronto dati SAR 2003 – 2016 vs. 2003 – 2017**

Un confronto diretto tra i dati SAR relativi ai periodi 2003 – 2016 e i dati 2003 – 2017 per l'intero tratto di costa da Porto Tolle a Ortona non è fattibile in quanto, come già detto, le analisi dei dati SAR 2017 sono state effettuate con un algoritmo e perimetrazioni differenti rispetto all'anno precedente. Il confronto quantitativo sarà, pertanto, possibile solo quando saranno disponibili i dati acquisiti nel 2018.

### **Confronto dati SAR vs. Livellazione**

Si sono confrontate le velocità medie annue di subsidenza misurate con la livellazione geometrica con le corrispondenti velocità ottenute dai dati SAR calibrati e interpolati con algoritmo IDW (*Inverse Distance Weighted con Tool ArcGis Spatial Analyst®*).

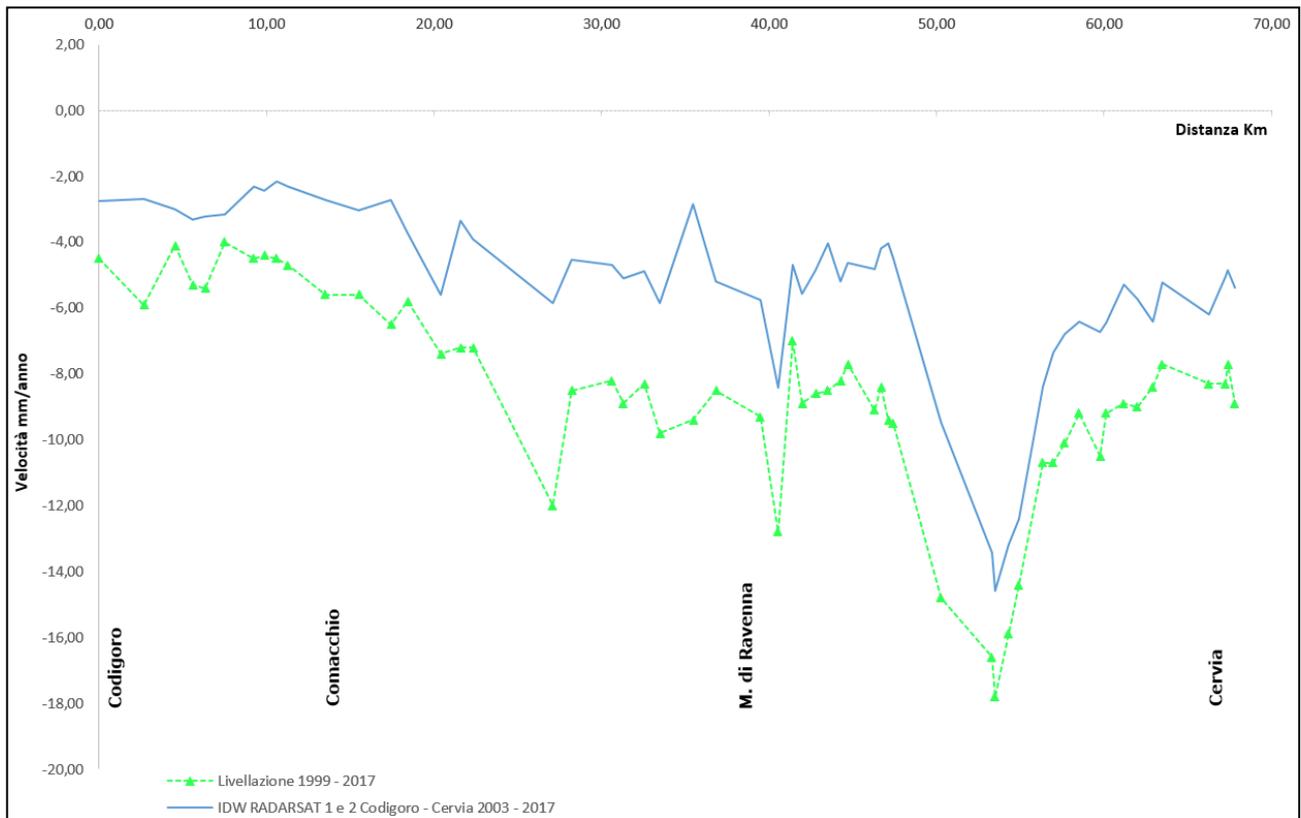
Tale confronto, che è stato fatto con riferimento agli stessi capisaldi, non evidenzia differenze macroscopiche: entrambi i metodi di misura - tenuto conto della loro deviazione standard per effetto dell'errore strumentale - non presentano anomalie evidenti, come si può osservare nelle figure allegate.

In particolare, queste ultime sono così riferibili:

- alla tratta Codigoro-Cervia: Figure 4A e 5A,
- alla tratta Cervia-Pesaro: Figure 6A e 7A;
- alla tratta Pesaro-Porto San Giorgio: Figure 8A e 9A.

In quest'ultima tratta (Pesaro - Porto San Giorgio) si notano alcuni improvvisi picchi ("spikes") nei valori di velocità di subsidenza delle livellazioni che non compaiono nei corrispondenti valori di velocità da misure SAR. Tali anomalie potrebbero essere state causate da instabilità dei relativi capisaldi, e saranno, quindi, oggetto di specifici controlli nelle prossime campagne di livellazione.





**Fig. 5A - Dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Codigoro – Cervia. Non si notano delle anomalie, i due metodi descrivono lo stesso andamento**

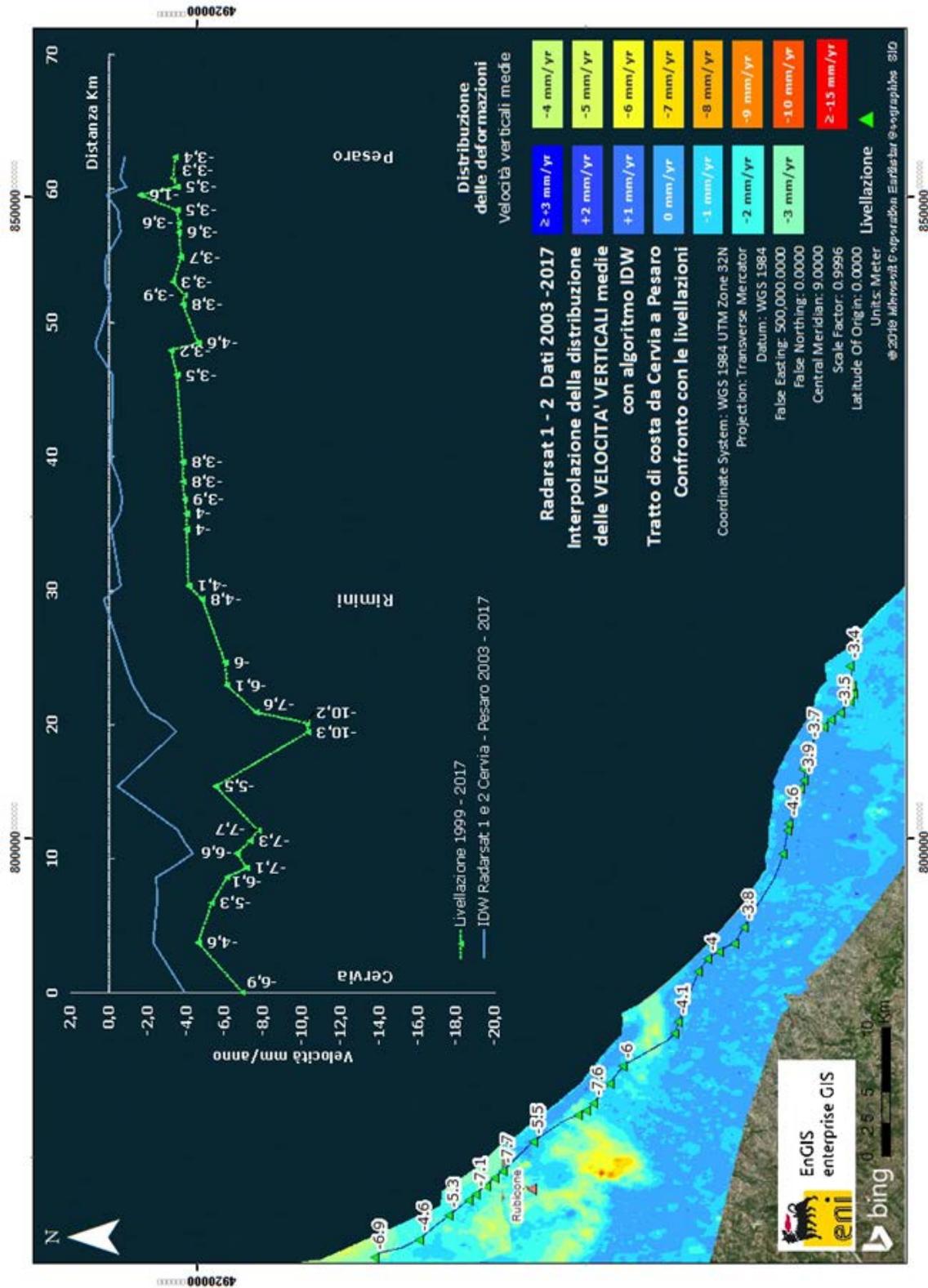
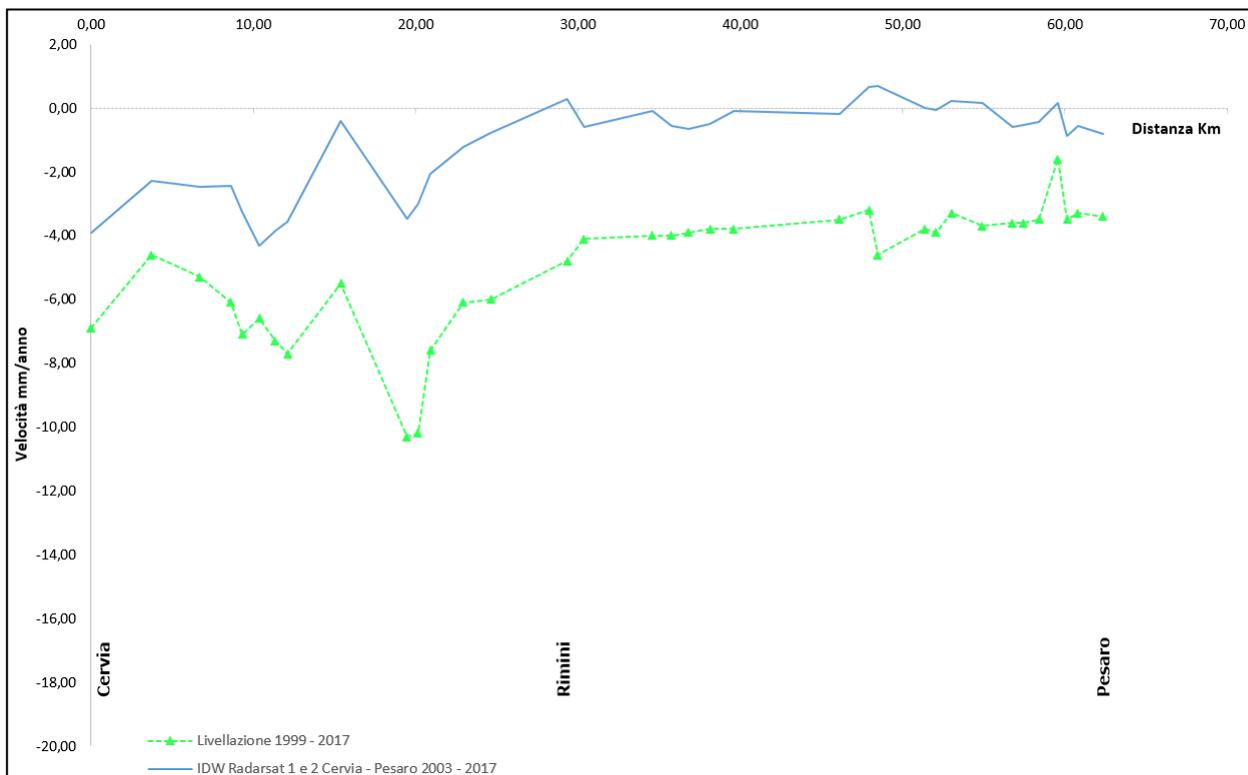


Fig. 6A - Confronto tra il database Radersat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Cervia – Pesaro



**Fig. 7A – Dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Cervia – Pesaro. Non si notano delle anomalie, i due metodi descrivono lo stesso andamento**

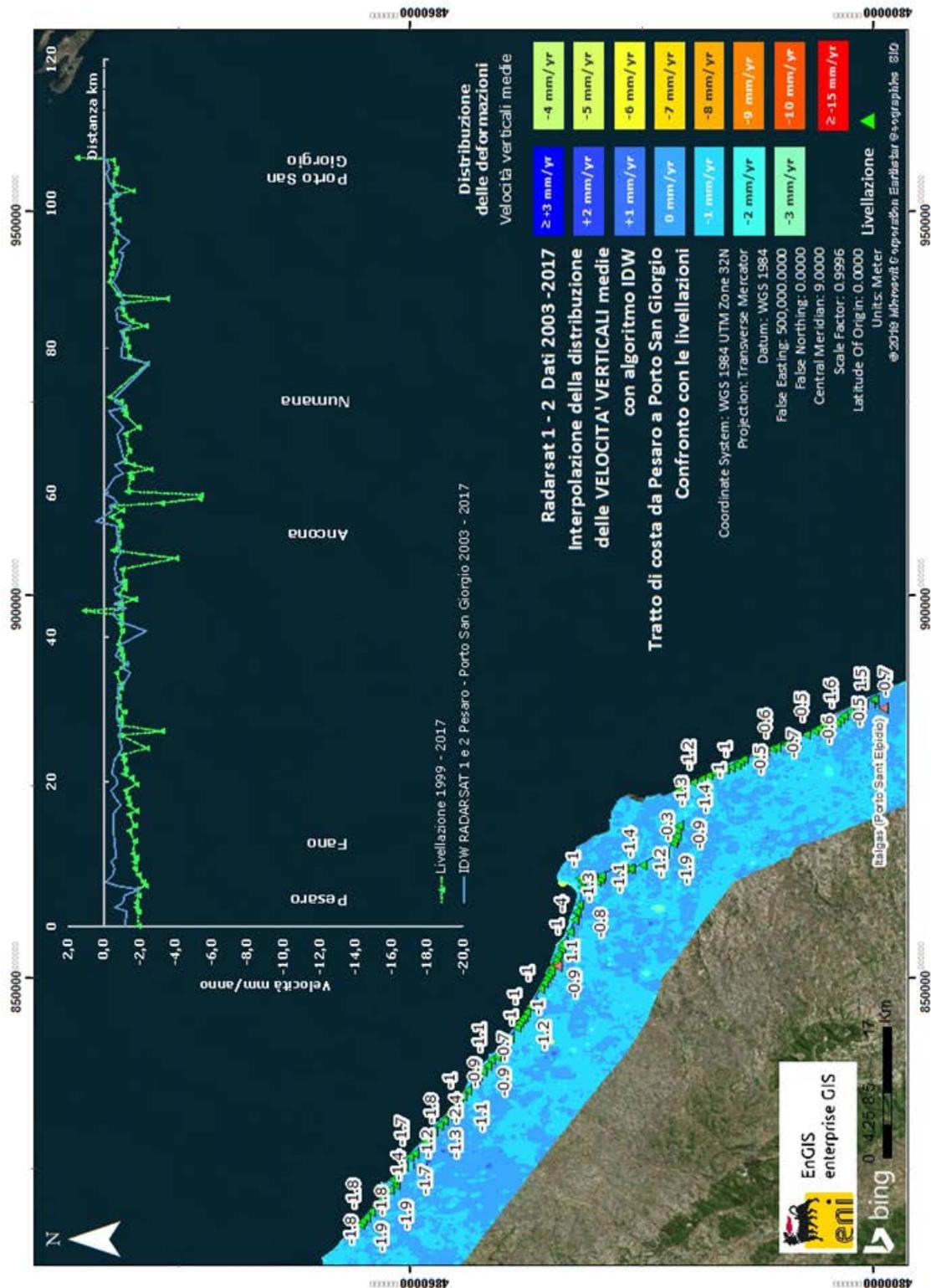
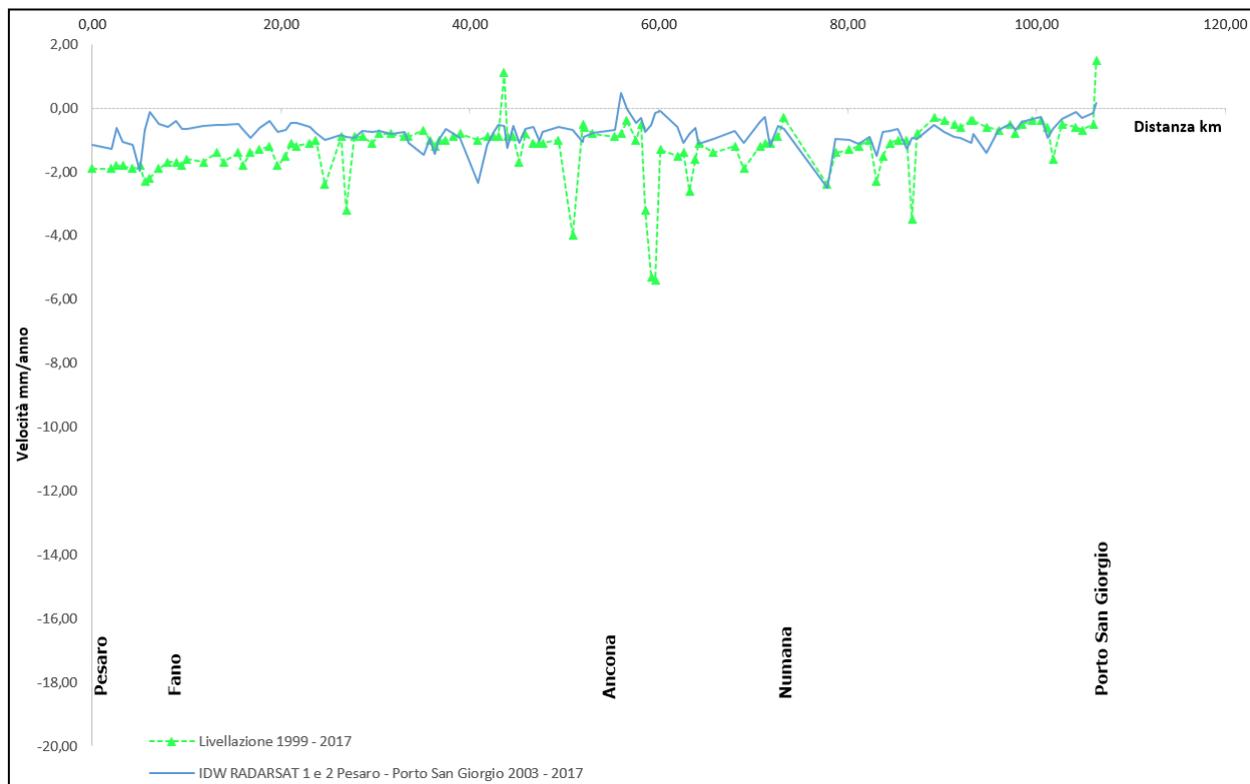


Fig. 8A - Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Pesaro – Porto San Giorgio



**Fig. 9A - Dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Pesaro – Porto San Giorgio. Non si notano delle anomalie, i due metodi descrivono lo stesso andamento**



### **Tecnica PSP-DIFSAR (Estratto dalle Linee guida MATTM 2009)<sup>4</sup>**

La tecnologia 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 lenti movimenti del terreno causati da frane, da subsidenza o sollevamento del suolo per estrazione o iniezione di fluidi, da fenomeni vulcanici e sismici, da scavi in sotterraneo, ecc.

I PS sono bersagli riflettenti le onde radar e costituiti in genere da "oggetti" presenti sul terreno, quali manufatti (ad es., parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici ecc.) ovvero corpi naturali (ad es., rocce esposte), che si distinguono rispetto ad altre strutture dell'area esaminata per il fatto di possedere un'elevata stabilità nel tempo della cosiddetta "firma radar". Questi "oggetti" hanno caratteristiche riflettometriche tali da consentire misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio e, quindi, tali da poter rilevare spostamenti anche millimetrici dei PS nel tempo.

L'interferometria differenziale impiega un sensore SAR installato a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e ne riceve di ritorno 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 una zona interessata da fenomeni di deformazione superficiale, il sensore, investigando con regolarità in tempi successivi la stessa area, ne registra gli eventuali spostamenti. I dati acquisiti, 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.), rendono possibili valutazioni accurate anche di movimenti superficiali lenti dell'area investigata.

Una delle caratteristiche particolari 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 e or-

---

<sup>4</sup> Le informazioni riportate in questa sezione sono tratte dalla versione 1.0 del rapporto: "Linee Guida per l'Analisi di Dati Interferometrici Satellitari in Aree Soggette a Dissesti Idrogeologici", emesso da **MATTM-Direzione Generale di Difesa del Suolo** nel Dic. 2009 ([www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/](http://www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/)).

bitali, e 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 consente procedure di calcolo molto efficienti ed altamente parallelizzabili.

La densità dei PS individuati è solitamente molto elevata in corrispondenza dei centri urbani e di aree rocciose mentre è praticamente nulla nelle zone con molta vegetazione o perennemente innevate. L'insieme dei PS sul territorio costituisce una rete naturale di "capisaldi radar", concettualmente analoga ad una rete di stazioni *CGPS (Continuos 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 Comacchio e Cervia - aggiornamento dicembre 2017

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.

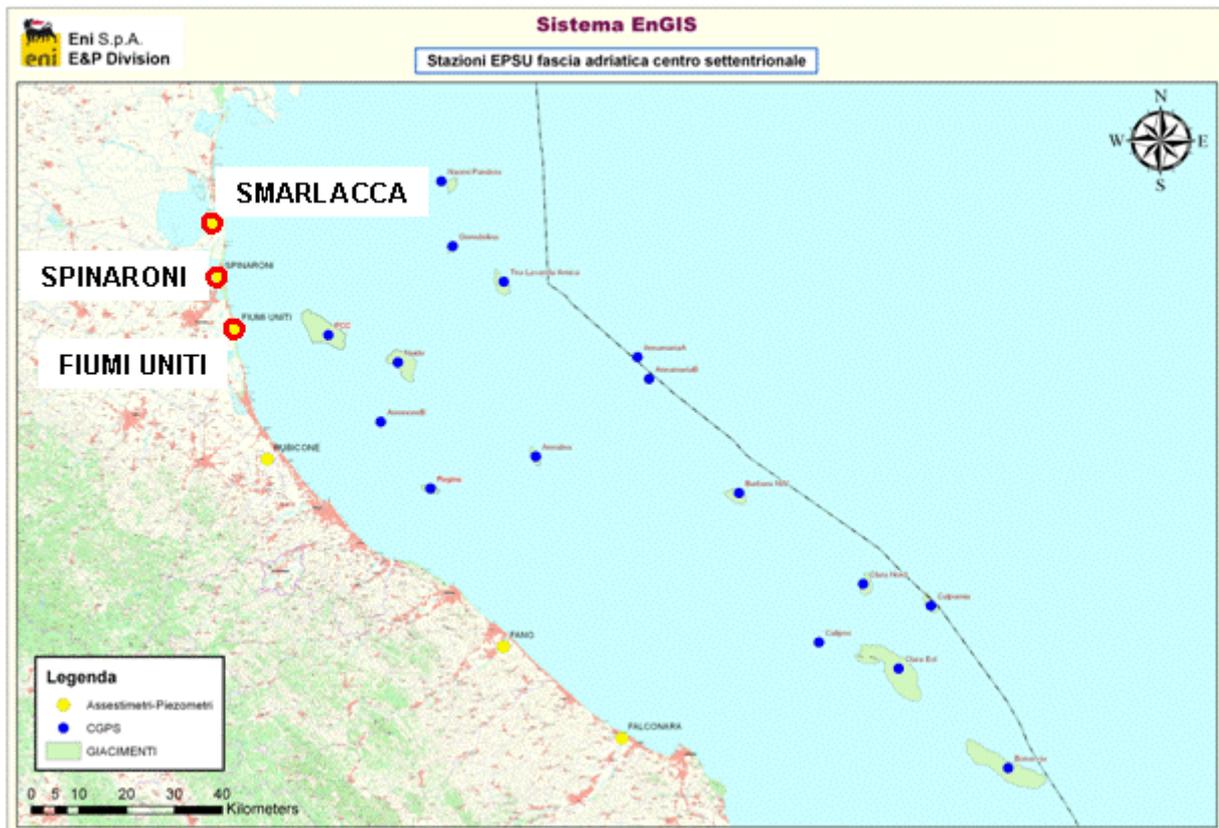


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

In generale una stazione *EPSU* è costituita da un 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 assestometriche per le variazioni di temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

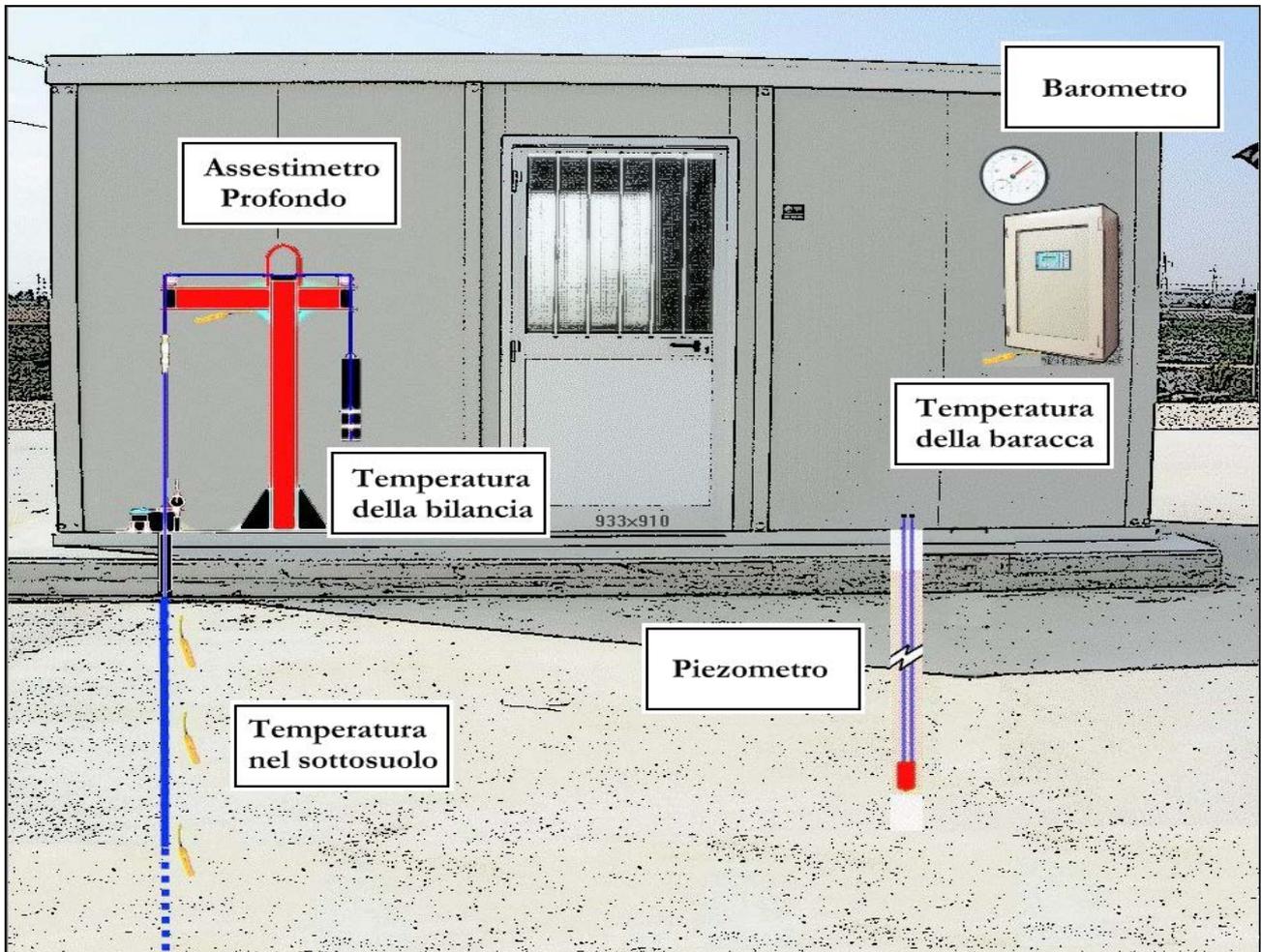


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione *EPSU*

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. 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).

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

### **Strumentazione**

- assestometro profondo - quota bottom 336 m da p.c.
- assestometro superficiale – quota bottom 30 m da p.c.
- piezometro- quota cella 150,8 m da p.c.

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

Le attrezzature installate (Figura 3B) sono costituite principalmente da una doppia verticale assestimetrica, ovvero un assestometro profondo (334,15 metri d'asta di misura) e uno superficiale (29,5 metri d'asta di misura). 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 assestimetrico 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. Sono in corso le attività per il suo ripristino.

Da inizio agosto 2017 e fino a dicembre 2017 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. Sono in corso le necessarie riparazioni.



## Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro più profondo (336 m) misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 334,15 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna (p.c.); quello più superficiale (30 m) a sua volta misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 29,5 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 (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel periodo luglio - settembre 2003, si osserva nell'andamento del grafico dell'assestimetro profondo un salto (corrispondente a una compattazione) di 2,7 mm in un intervallo di 72 giorni; tale evento compare, anche se in misura minore, nel grafico dell'assestimetro superficiale (Figura 4B). 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. Una compattazione nello stesso periodo è comunque vista anche dal CGPS: nel grafico di confronto (Figura 6B) le due curve mostrano le medesime modulazioni nello stesso arco di tempo. 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 il solito trend a velocità costante. Per quanto riguarda i termometri installati lungo la verticale assestimetrica, si segnala un guasto al sensore posto a quota -4 metri con interruzione delle misure da marzo 2013. Le registrazioni di entrambi gli assestimetri (superficiale e profondo) mostrano lo stesso trend di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti (Figura 4B). Per entrambe le strumentazioni, la velocità media di com-



pattazione è, quindi, abbastanza simile, essendo risultata rispettivamente di ca. 0,3 mm/a (foro superficiale) e circa 0.9 mm/a (foro profondo).

In particolare, per quanto riguarda la curva di compattazione registrata dall'assestometro profondo, si può osservare che, se anche la relativa velocità media calcolata tutta la serie temporale è di circa 1 mm/a, essa presenta un andamento più articolato nel tempo (Figura 5B). Infatti, verso l'inizio del 2012 tale velocità di compattazione si dimezza, portandosi a circa 0,5 mm/a, per effetto forse 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 circa 6 mm totali in oltre 19 anni). In prossimità della stazione assestometrica è stato installato 4 anni più tardi anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare in quella zona una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a circa -6,1 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestometrica), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi di quelli monitorati con la stazione assestometrica (> 336 m).

In Figura 6B è riportato il confronto fra le misure assestometriche (sono riportate solo quelle registrate dalla strumentazione più profonda) e quelle CGPS. Il grafico allegato mostra una buona correlazione tra entrambe le curve, che riflettono bene gli eventi stagionali.

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico:

- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestometrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente con quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

## 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.

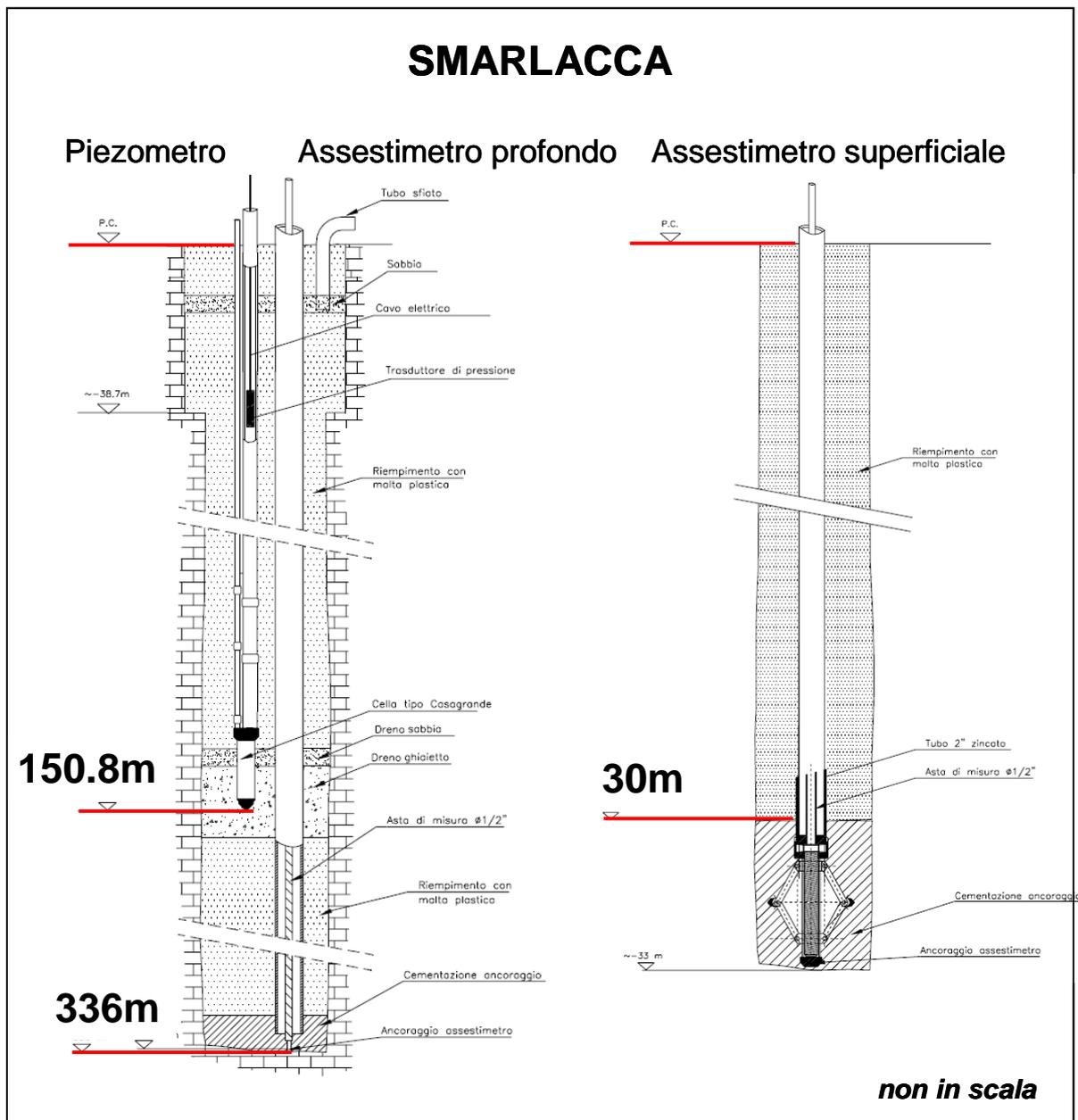


Figura 3B: Schema della stazione *EPSU* di Smarlacca

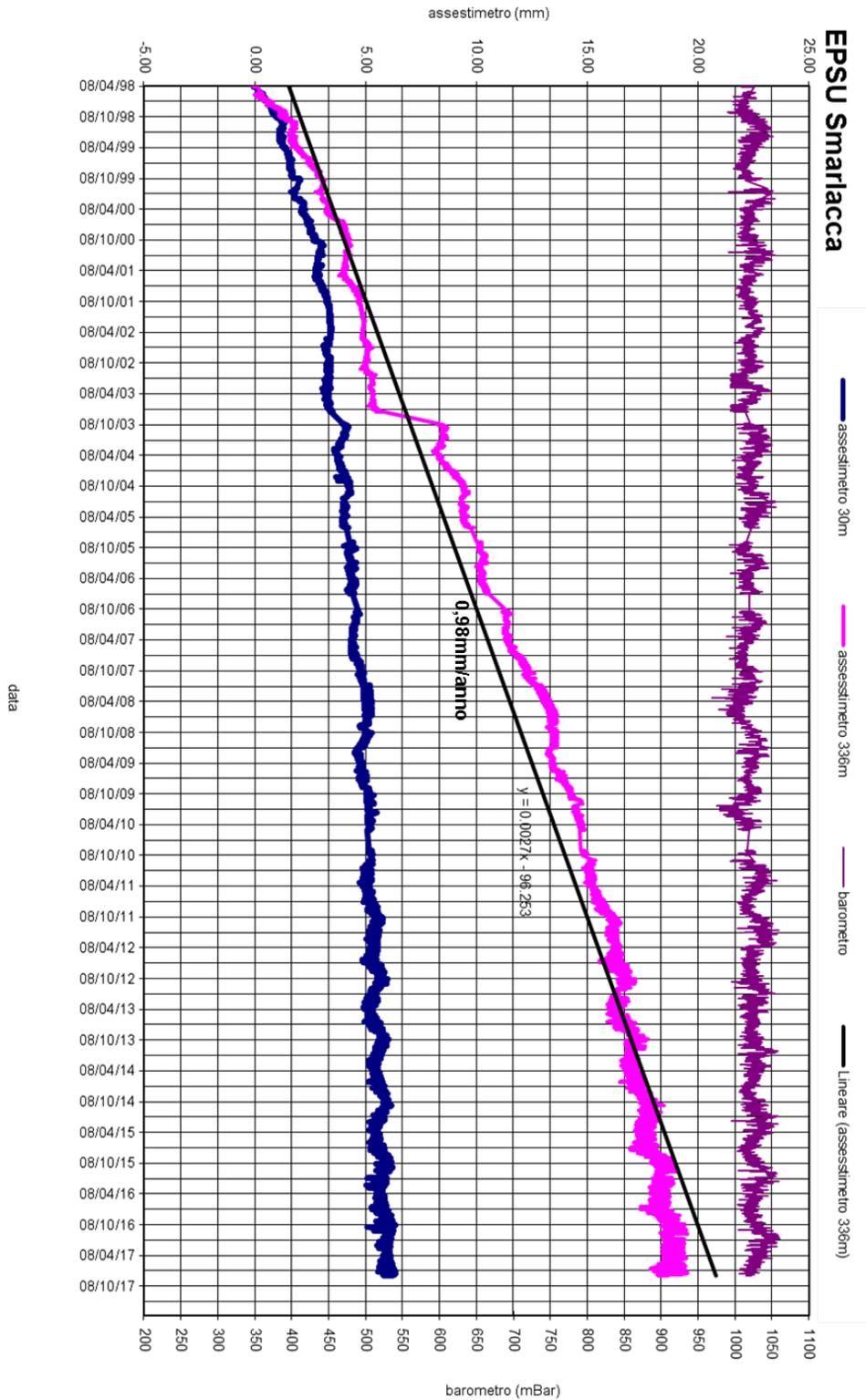


Figura 4B: Serie storica delle misure assestimentriche e barometriche nella stazione  
EPSU di Smarlacca

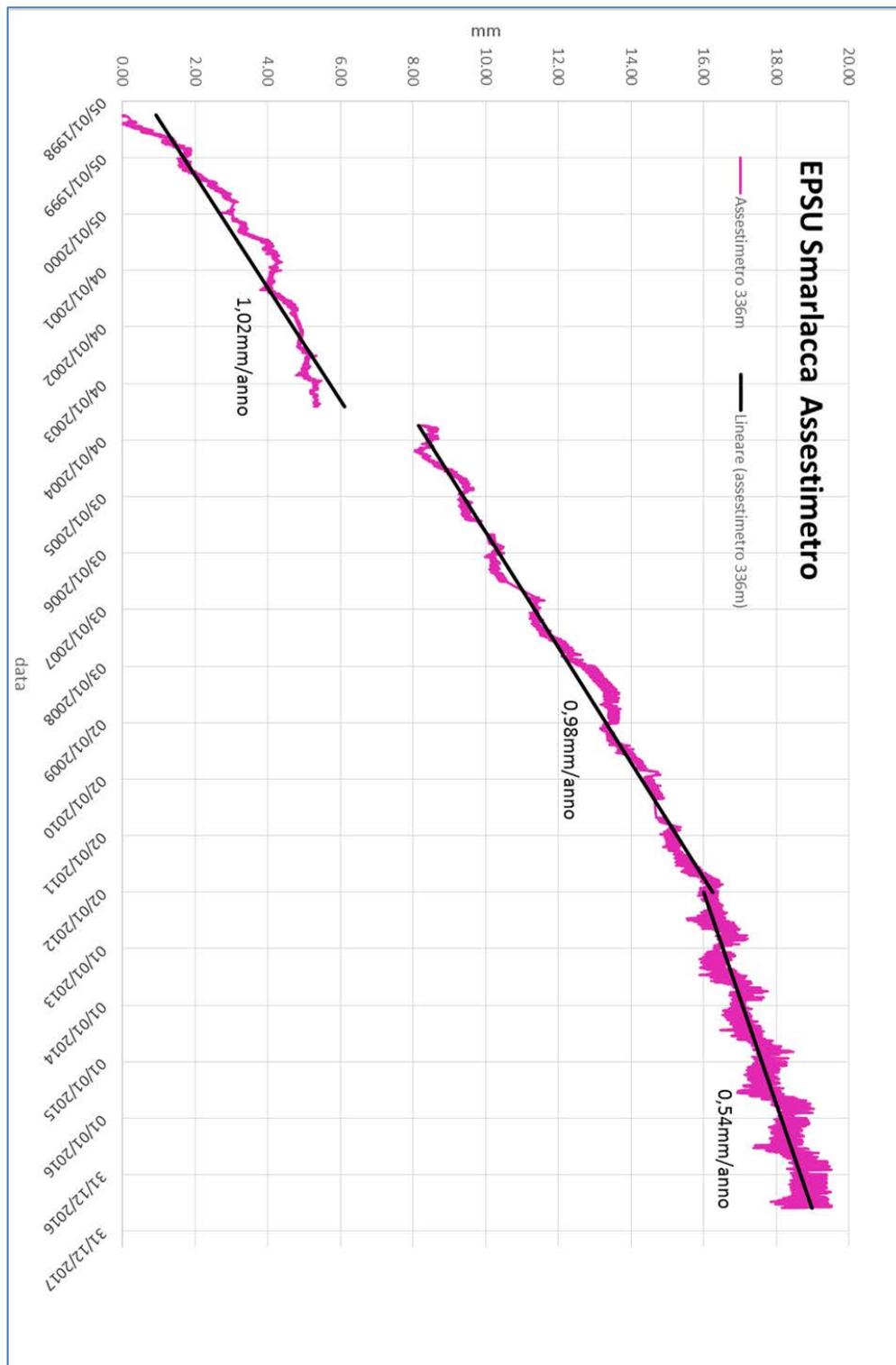
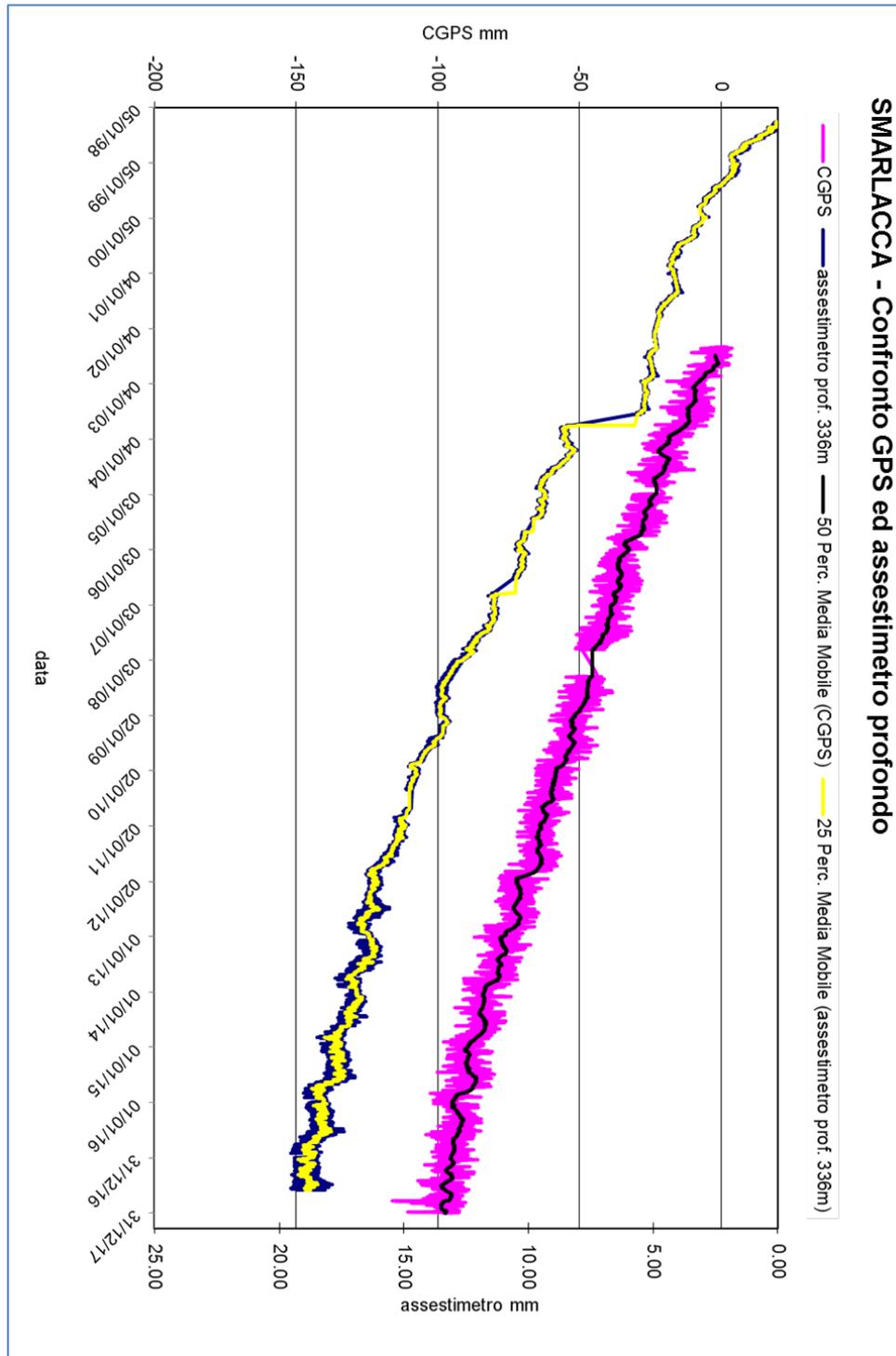


Figura 5B: Curva di compattazione dell'assestimetro profondo della stazione EPSU di Smarlacca



**Figura 6B: Confronto fra misure da CGPS vs. misure di compattazione (assettimetro profondo della stazione EPSU di Smarlacca)**

B.B. nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assettimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del CGPS - spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa.

 Eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2018	Page - 46 - of 67
--	---	-------------------

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

### **Strumentazione**

- assestometro - quota bottom 336 m da p.c.
- piezometro a cella singola - quota cella 150,8 m da p.c.

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

Le attrezzature installate (Figura 7B) sono costituite principalmente da una verticale assestimetrica e 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 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 freatometro 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 della baracca.

A fine agosto 2008 si è spurgato il piezometro e al 30 settembre ne è stato fatto un controllo con sonda televisiva. A seguito di tale controllo lo strumento è stato considerato non attendibile per una probabile rottura del tubo di diametro più piccolo ( $\varnothing \frac{1}{2}$ "). Sono in corso le attività per il suo ripristino. Gli interventi sul piezometro hanno causato la perdita di 14 giorni di misure assestimetriche (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 set-



tembre. 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 2017 la registrazione dei dati è stata regolare.

### **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 (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

In data 28 luglio 2004 è stata ripresa di 25,0 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 offset della stessa entità alle misure. Come già detto, analogo intervento è stato poi fatto in data 14 ottobre 2008.

Nel grafico allegato (Figura 8B) si nota un comportamento alquanto anomalo dello strumento se rapportato alla sua storia precedente che ha sempre avuto un trend in crescita. Nell'ottobre 2003, infatti, l'assestimetro ha registrato un repentino sollevamento del piano campagna rispetto al punto profondo (4 mm in 5 giorni), in concomitanza con un abbassamento della falda di circa 40 – 50 cm. Dopo tale periodo (ca. fine ottobre 2003) è ripresa la compattazione del terreno, anche se, per circa 6 mesi, con un trend più veloce di quello del 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 10/2003. Non sono state chiarite le ragioni di tale anomalia.

Per questa stazione si hanno a disposizione poco più di 20 anni di osservazioni. In questo periodo si è registrata una compattazione totale di 49,2 mm corrispondente a una velocità di media annua di 2,5 mm (valore ottenuto con regressione lineare su tutta la serie tempo-

rale di registrazioni - Figura 8B). Anche in questo caso, però, come per la stazione di Smarlacca, la curva dell'assestometro mostra un andamento più articolato nel tempo di quanto sia semplicemente espresso dal sopraccitato valore medio. Si passa, infatti, da una velocità di circa 4,1 mm/a, registrata dall'inizio sino alla fine del 2007, a un valore che tra il 2008 e 2009 diminuisce sino a circa 0,9 mm/a (Figura 9B), Analogamente al caso di Smarlacca, tale diminuzione potrebbe essere correlata ad un minor emungimento delle falde acquifere. Nella stazione *EPSU* di Spinaroni è stato installato nel 2002 anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo di circa -7,2 mm/a. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestimetrica), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 336 m). La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica CGPS e assestimetrica) non è molto elevata come mostrato nel grafico allegato (Figura 10B); le misure CGPS presentano un andamento più regolare con una dinamica legata alla stagionalità. Nel periodo tra inizio ottobre 2003 sino a oltre la metà del 2004, la curva CGPS mostra, però, oscillazioni molto simili a quelle registrate dell'assestometro nello stesso periodo, avvalorando l'ipotesi che possano essere reali e non "artefatti strumentali" i movimenti "anomali" cui si è detto in precedenza.

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico:

- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da rendere l'andamento coerente quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

## **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'assestimento, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.

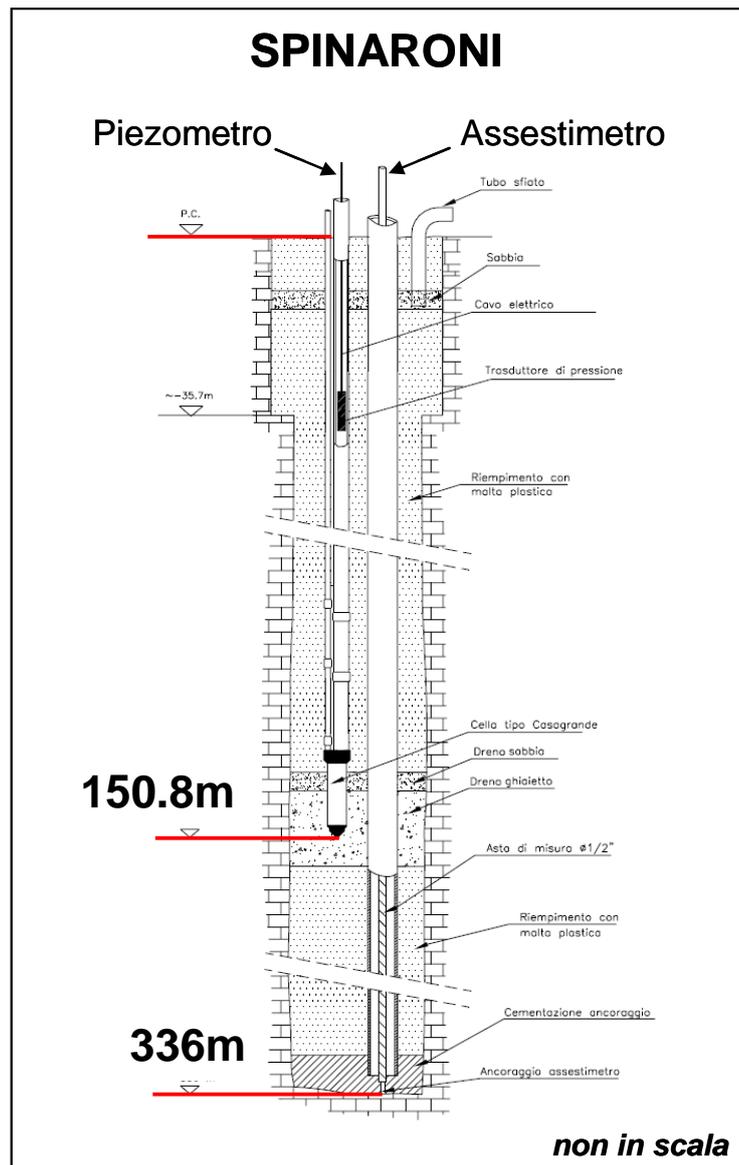


Figura 7B: Schema della stazione *EPSU* di Spinaroni

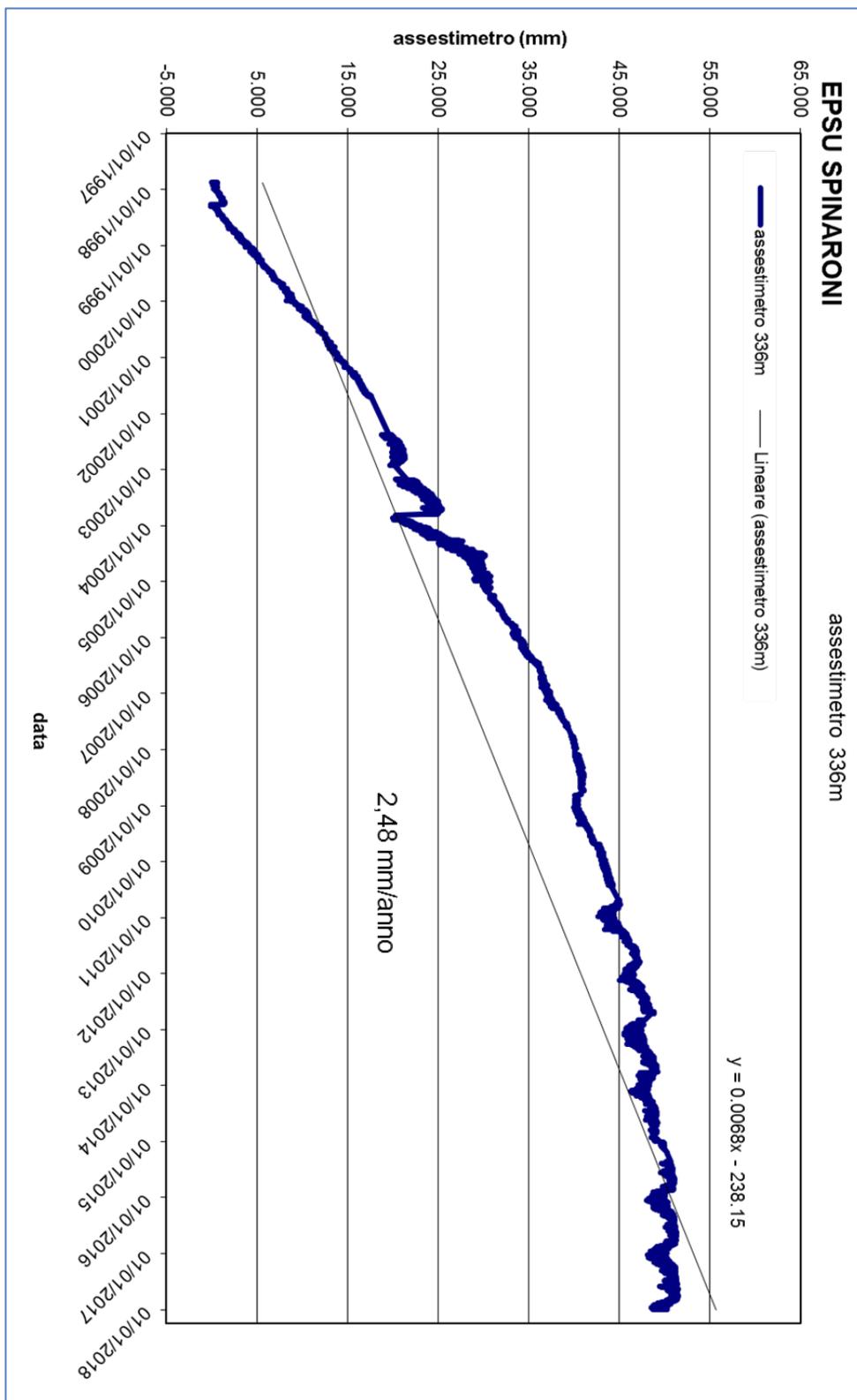
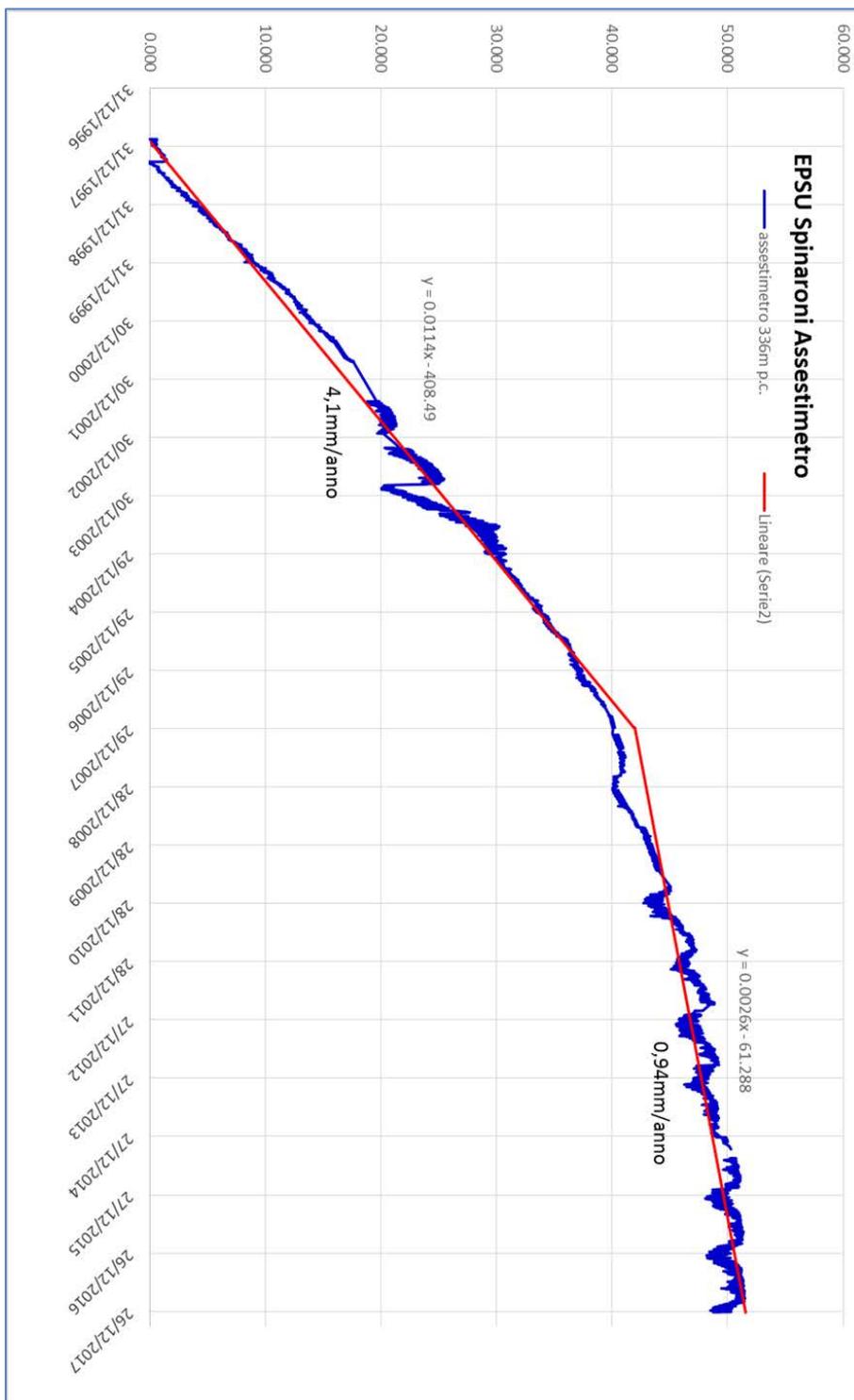
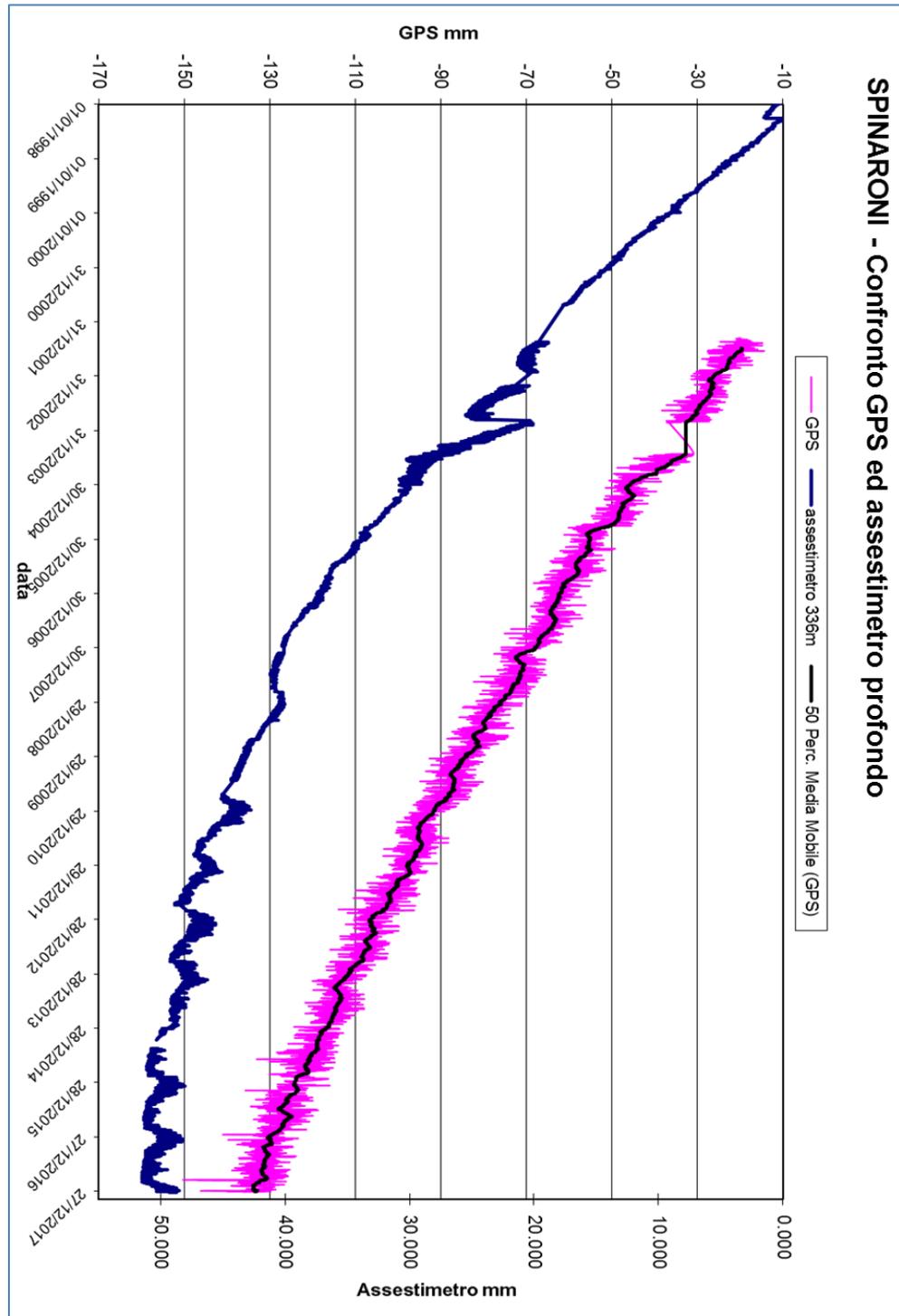


Figura 8B - Serie storica delle misure assestimetriche nella stazione *EPSU* di Spinaroni



**Figura 9B – Analisi di dettaglio della curva assestimetrica della stazione  
EPSU di Spinaroni**



**Figura 10B - Confronto fra misure da CGPS vs. misure di compattazione (ssestimetro della stazione EPSU di Spinaroni)**

N.B. Nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assestimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del CGPS - spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa.

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

### Strumentazione

- assestimetro profondo - quota bottom 372,85 m da p.c.
- assestimetro 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)

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

Le principali caratteristiche della strumentazione sono attualmente costituite da una coppia di assestimetri (superficiale e profondo) messi in opera nel settembre 1994 e dai seguenti nuovi piezometri installati nel dicembre 2011 (Figura 11B).

Sigla	Profondità fondo foro (da p.c.)	Tipo Piezometro	Tratto Filtrante
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.

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. 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 pozzetti piezometrici, a partire da metà luglio 2011, sono stati definitivamente sigillati i tre vecchi tubi piezometrici (Figura 12B). Nel dicembre 2011 sono entrati in funzione i cinque nuovi pozzi piezometrici descritti nella precedente tabella.

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 assestimetrica anche se con frequenza ridotta (Figura 17B). 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.

### **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.

Nei grafici allegati (Figure 15B e 16B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. 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.

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

Per tutti circa i 23 anni di misure fatte, le due curve assestimetriche (Figure 13B e 14B) mostrano andamenti molto simili, con minimi scostamenti tra loro e con un trend costante di compattazione del terreno. Ciò sembrerebbe indicare una compattazione prevalentemente superficiale, che interessa grosso modo i primi 220 m di terreno. La velocità di compattazione è di circa 2 mm/anno per entrambi gli assestimetri e per tutto l'intervallo di tempo considerato. Presso la stazione *EPSU* è stato installato nel 2002 anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a -13.9 mm/anno. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestimetrica), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 220 m). Inoltre, l'esame delle curve CGPS e assestimetrica profonda non mostra particolari tratti di somiglianza, come si può osservare nel grafico allegato (Figura 18B).

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura di tale grafico:

- il confronto delle due curve è stato fatto per lo stesso periodo di osservazione (2002-2017), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestometro di circa 8 anni più



lunga;

- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da rendere l'andamento coerente quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

### **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 12B 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 (Figure 15B e 16B). 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. 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 +4 m.

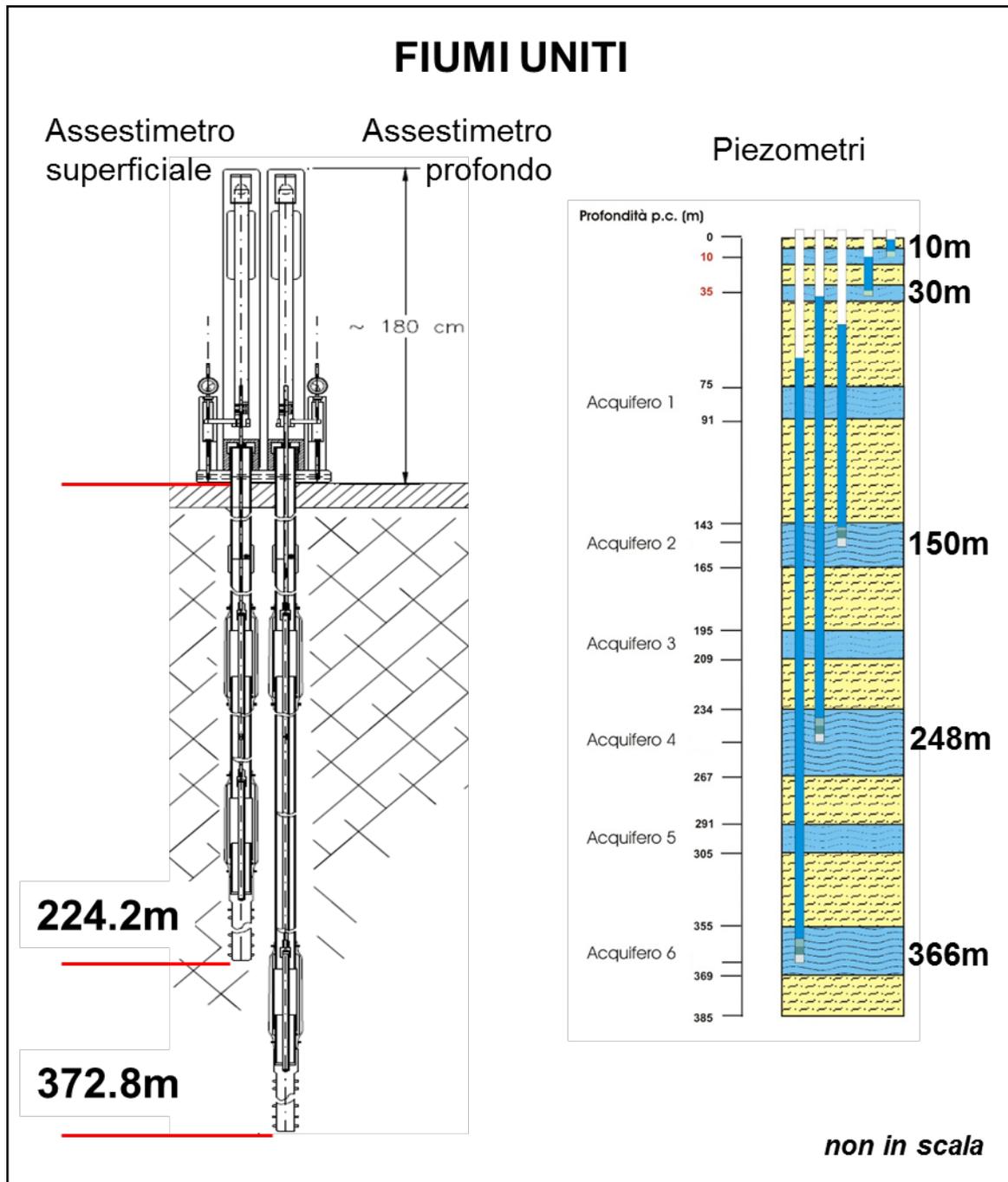


Figura 11B - Schema della stazione EPSU di Fiumi Uniti. Le profondità dei piezometri sono riferite alla quota centrale del tratto filtrante

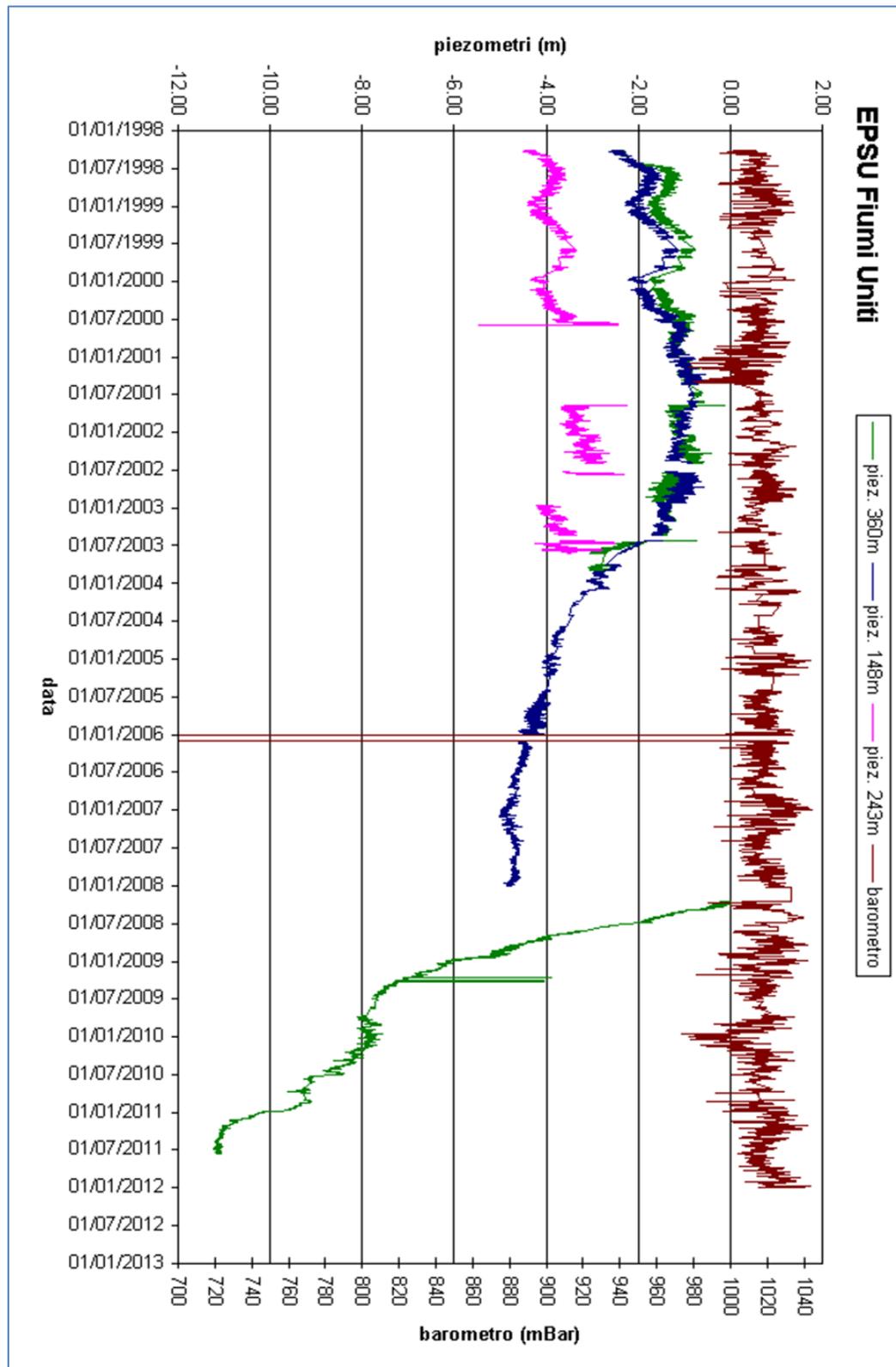


Figura 12B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure della strumentazione piezometrica-barometrica attiva sino al 2011

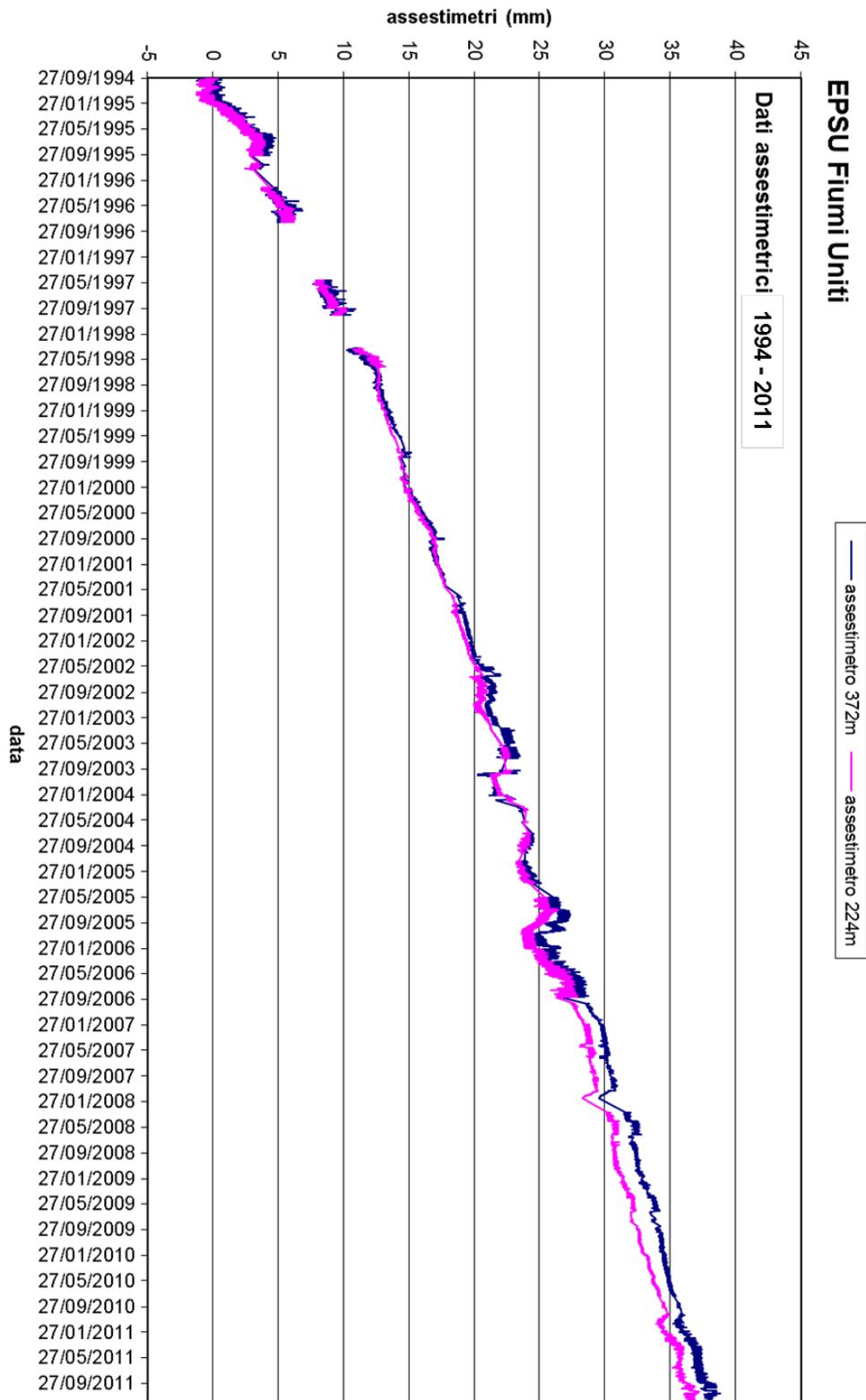


Figura 13B - Curva di compattazione degli assestimetri della stazione *EPSU* di Fiumi Uniti (dati 1994-2011)

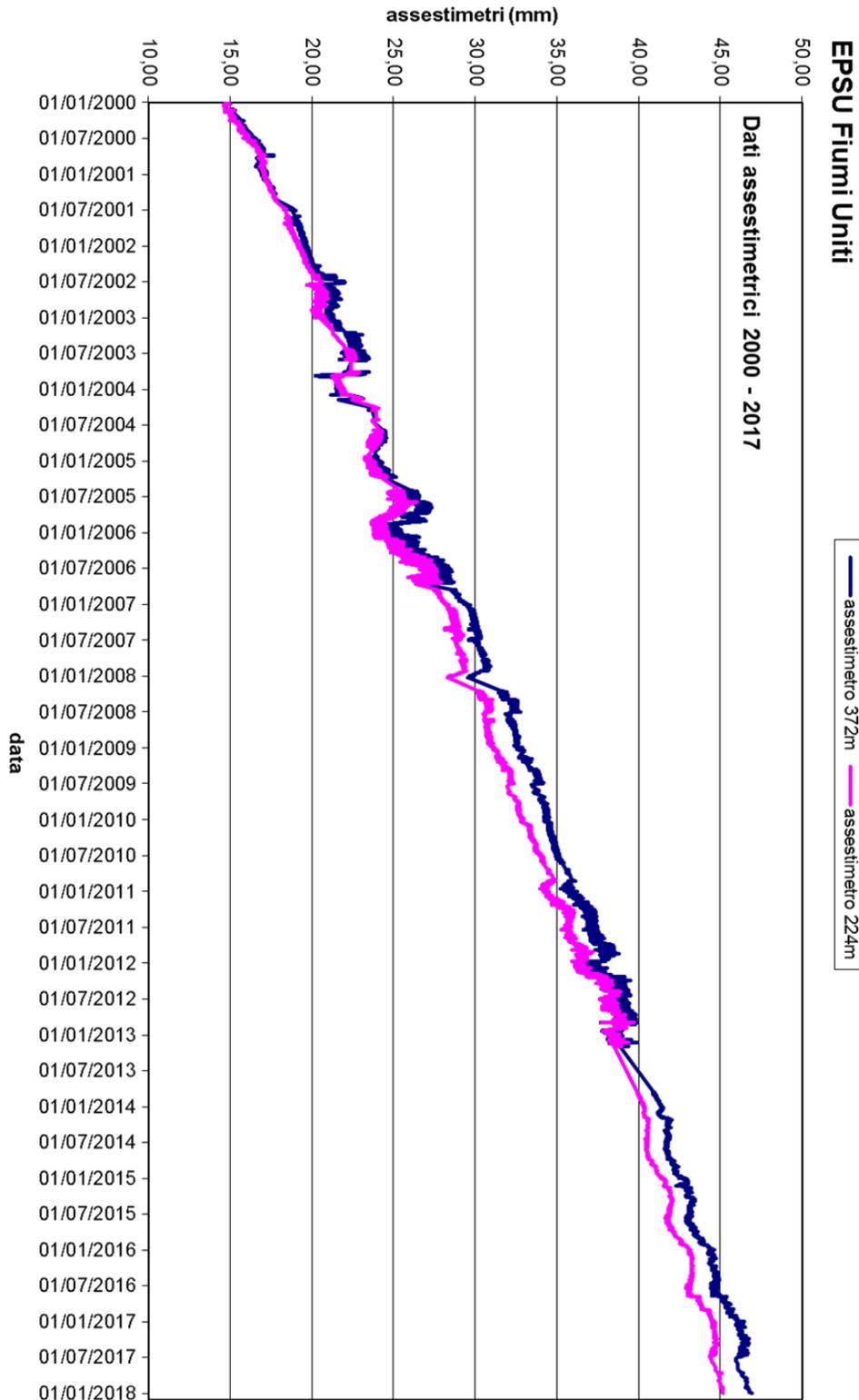
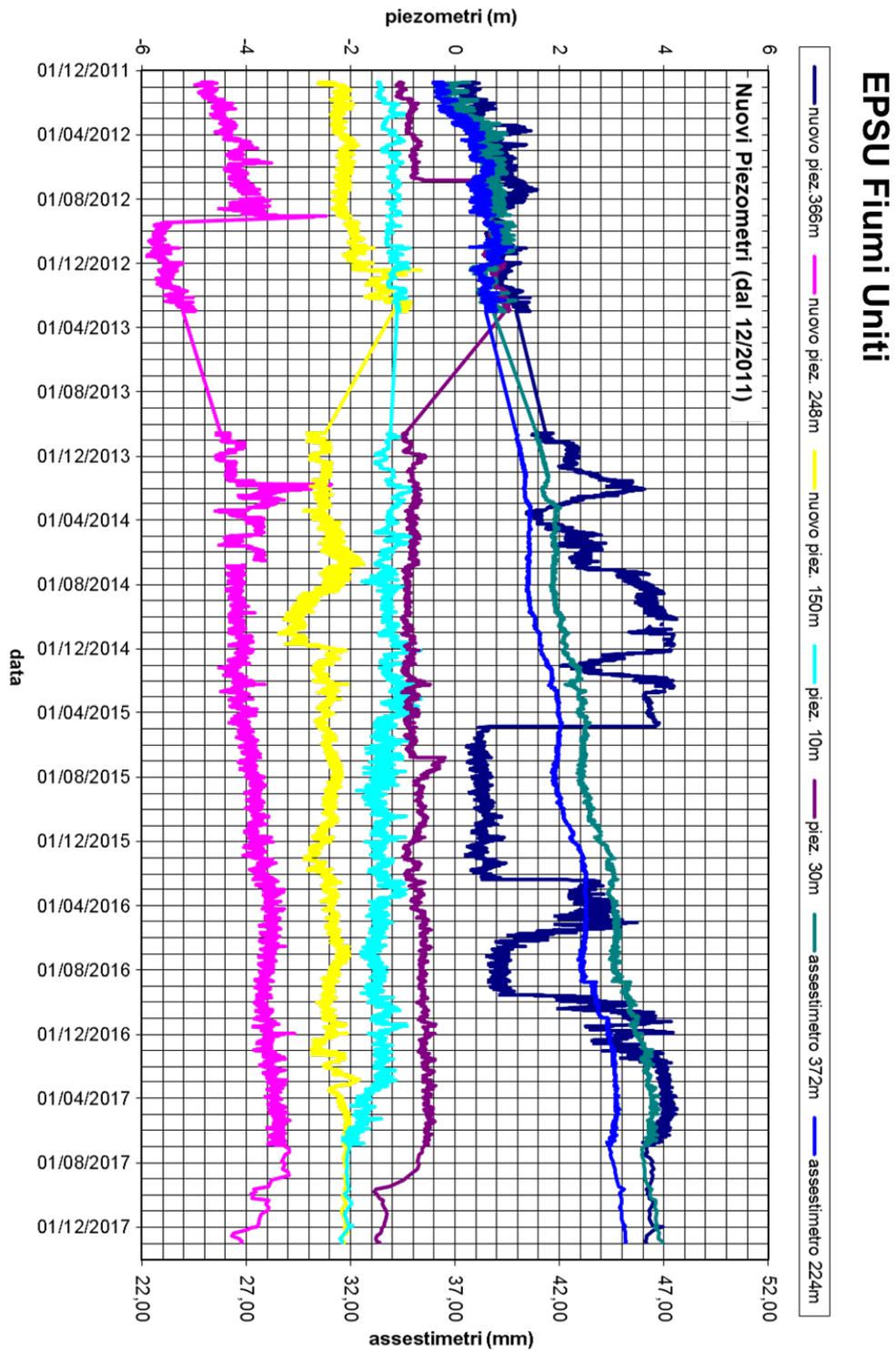


Figura 14B - Curva di compattazione degli assestimetri della stazione EPSU di Fiumi Uniti (dati 2000-2017)

Valori positivi = abbassamento; Valori negativi = sollevamento



**EPSU Fiumi Uniti**

Figura 15B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche e assestometriche dal 2011 al 2017

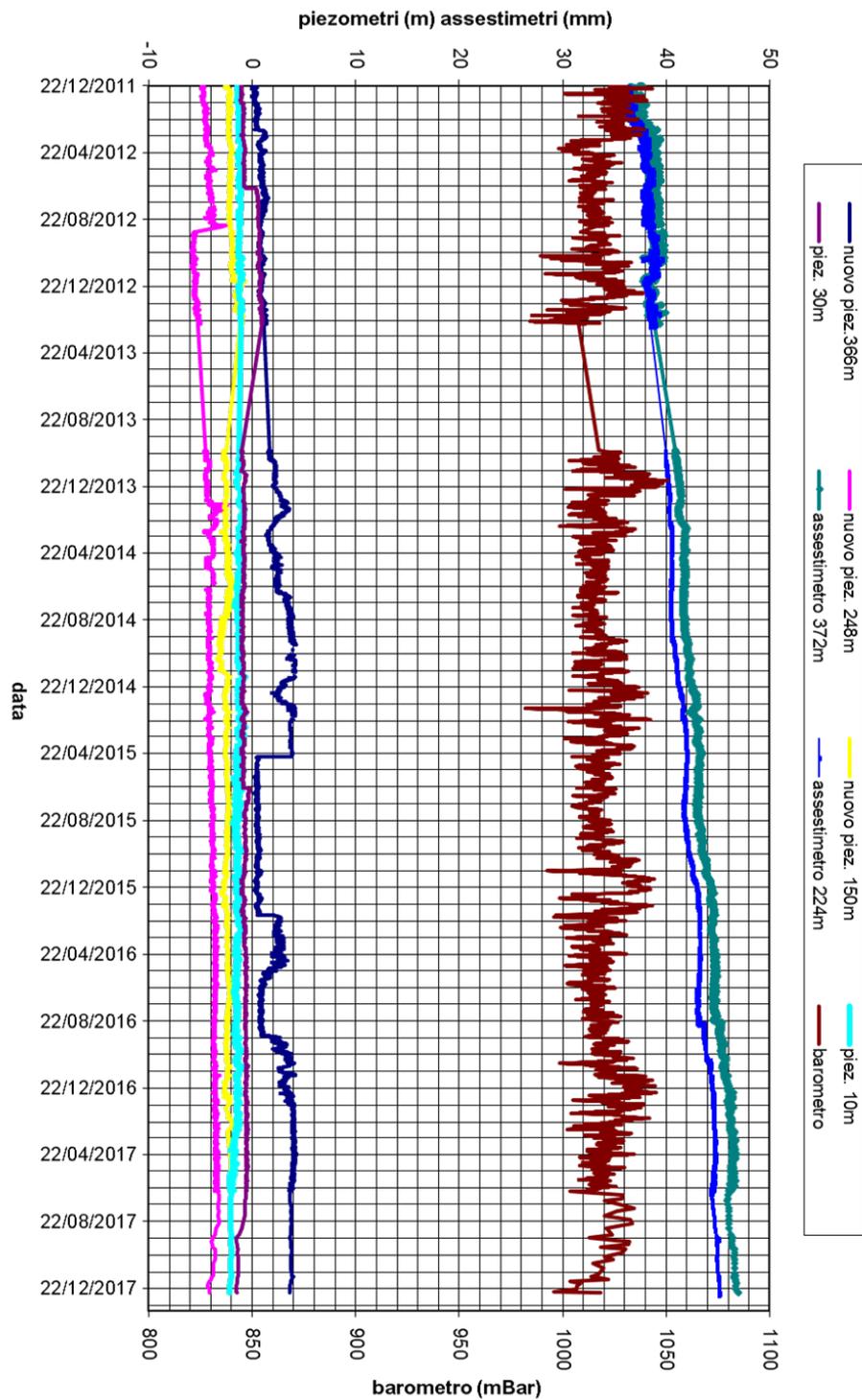


Figura 16B – Stazione *EPSU* Fiumi Uniti: misure piezometriche e barometriche dal 2011 al 2017



EPSU Fiumi Uniti Piezometri profondi ultimi 6 mesi di acquisizione

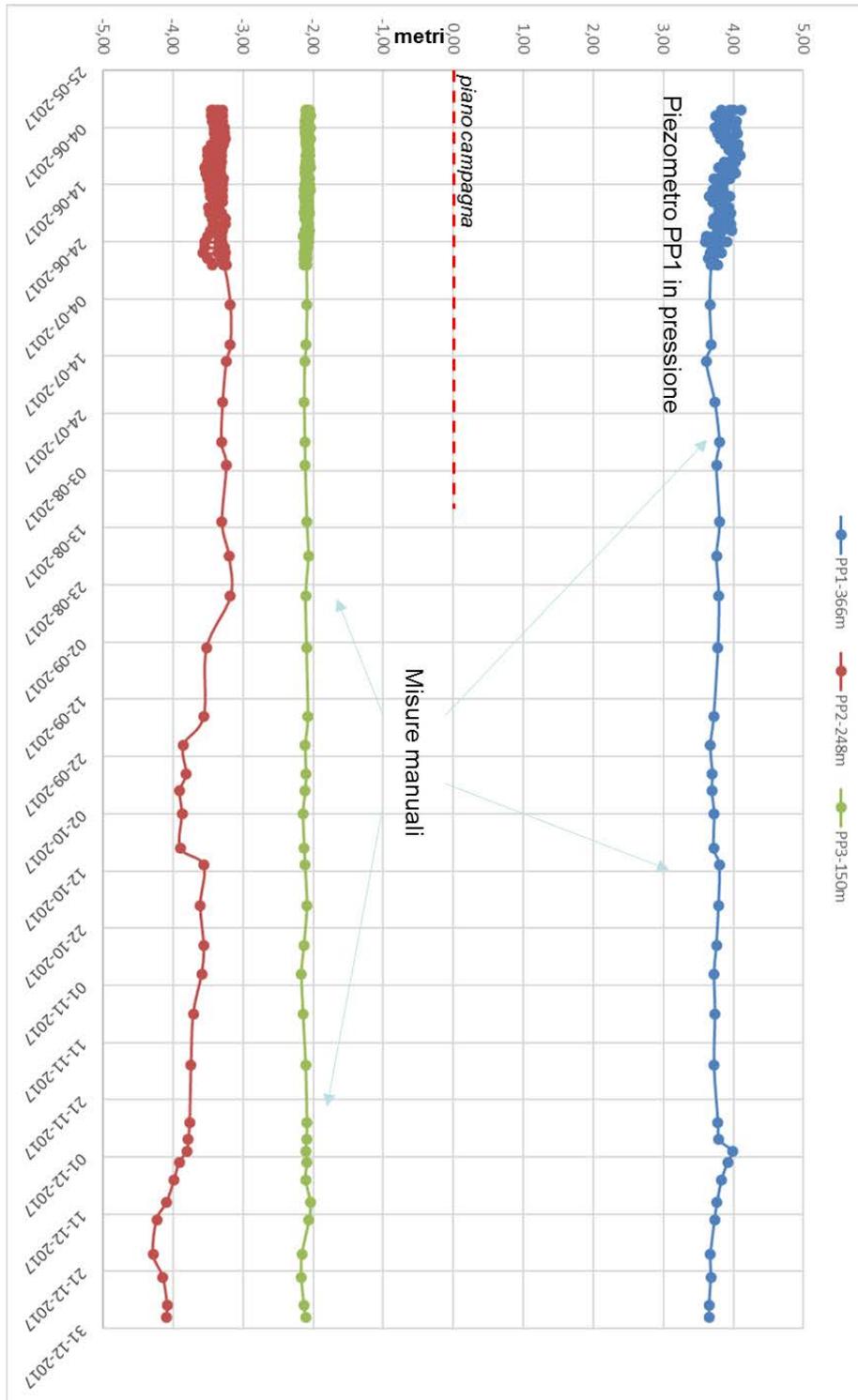
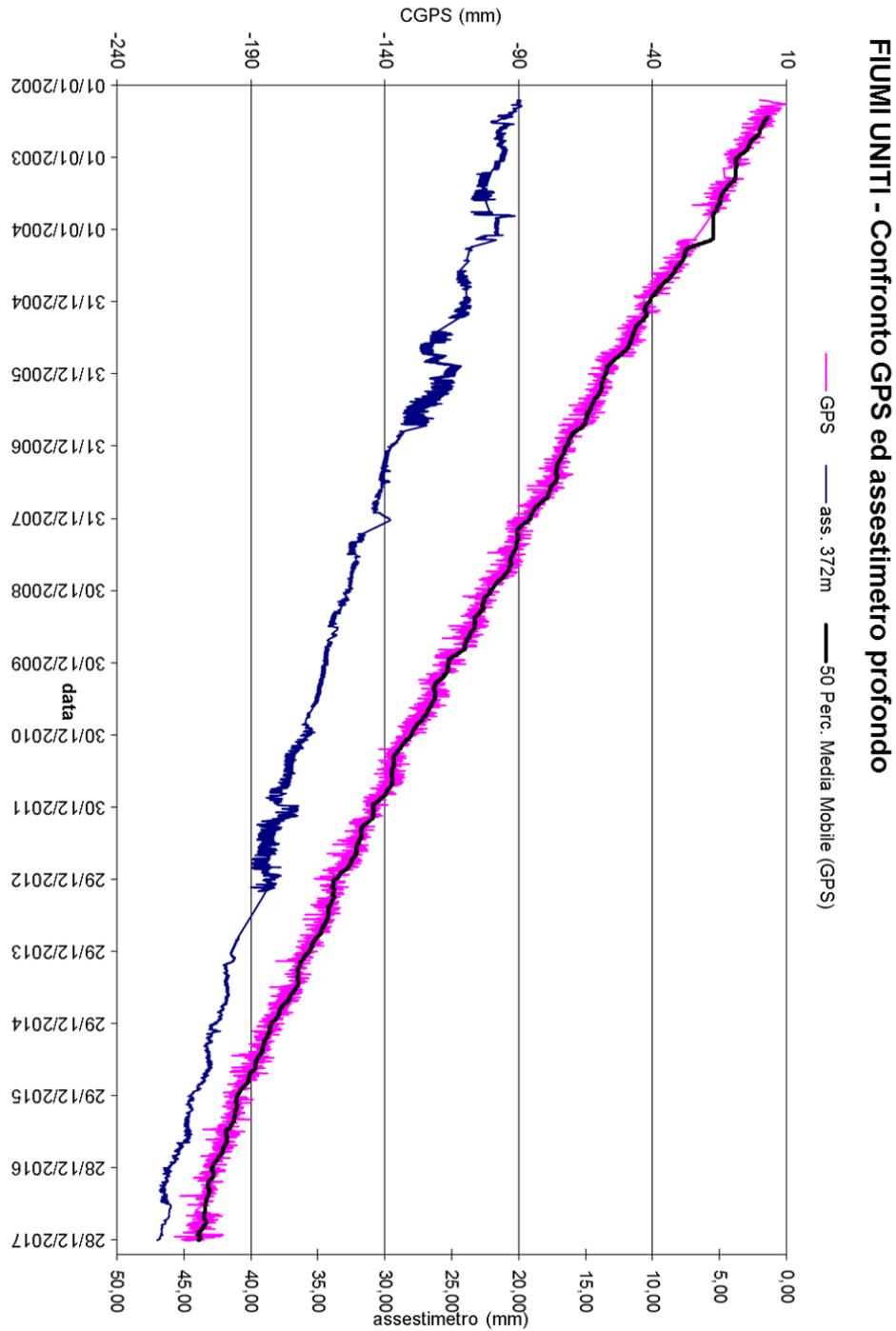


Figura 17B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: letture manuali del 2° semestre 2017



**Figura 18B: Confronto fra misure da CGPS vs. misure di compattazione (sbestimetro profondo della stazione EPSU di Fiumi Uniti)**

*N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assettimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del CGPS - spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa.*



## 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 compattazione dei terreni superficiali sembra assumere un andamento costante nel tempo con una tendenza all'attenuazione. Negli ultimi 4 anni, infatti, si sono registrati valori in leggera diminuzione (da 0.1 a 0.5 mm/a) per tutti gli assestimetri, sino ad arrivare ad i valori del 31/12/2017, riportati nella tabella riassuntiva più avanti.

### Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di circa 19 anni (dato ad agosto 2017), durante i quali l'assestimetro più profondo ha registrato una compattazione 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 compattazione totale è stata pari a 18,20 mm (dato riferito ad agosto non a dicembre 2017) per una velocità media di abbassamento di circa 0,9 mm/a. Un analogo *trend* nelle misure si rileva anche per l'assestimetro più superficiale, che, però, ha registrato una compattazione totale nettamente più ridotta (5,82 mm complessivi, corrispondenti a circa 0,3 mm/a). L'andamento della velocità di compattazione 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: uno iniziale sino alla fine del 2011 di circa 1mm/anno ed uno degli ultimi 5 anni, con un valore di velocità di circa 0,5mm/anno. Buona è la corre-

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2018</p>	<p>Page - 66 - of 67</p>
---	--	--------------------------

lazione tra la curva assestimetrica e quella del *CGPS*. I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

### **Spinaroni**

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 20 anni di osservazioni durante i quali si è registrata una compattazione di 49,23 mm (circa 2,5 mm/a) 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'assestimetro mostra due andamenti di velocità di compattazione. Il primo sino alla fine del 2007 di circa 4,1mm/anno; il secondo a partire approssimativamente dal 2008 ad oggi, caratterizzato da una velocità di 0,9 mm/a. La correlazione dell'andamento nel tempo delle curve *CGPS* e assestimetrica non è molto elevata; il *CGPS* sembra mostrare un trend d'abbassamento abbastanza regolare anche se influenzato dalla stagionalità. 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 (circa 23 anni) che non nelle due stazioni sopracitate. Il valore attuale – dicembre 2017 - della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestimetro più profondo è di 46,97 mm, mentre per quello superficiale detto valore è di 45,18 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 23 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione simile e dell'ordine di circa 2 mm/anno. La compattazione però è per la maggior parte localizzata nella porzione di terreno indagata dallo strumento più superficiale (0-220 m circa).

Le registrazioni delle curve *CGPS* e assestimetrica profonda mostrano poi andamenti dei cicli di compattazione ed espansione del terreno non molto simili tra loro; la correlazione tra le due curve sembra essere più elevata negli ultimi anni di registrazione.

Nella tabella che segue sia la compattazione complessiva del terreno, sia la relativa velocità media annua sono state valutate sulla base della misura assestimetrica fatta al 31/12/2017

e di tutto il periodo (i.e. anni) di monitoraggio. In questo caso non si è fatta, quindi, alcuna regressione dei valori della curva assestimetrica. Tale procedimento potrebbe dare, pertanto, risultati molto simili ma non perfettamente uguali a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici.

Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
<b>Smarlacca</b>	19,3 (agosto '17)	18,2	0,9	5,8	0,3
<b>Spinaroni</b>	20,13	49,23	2,5	n.i.	n.i.
<b>Fiumi Uniti</b>	23,3	46,97	2,0	45,2	1,9

n.i. = non installato