

Campo di PORTO CORSINI MARE

Aggiornamento al 31/12/16

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 1).

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

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

- a) 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;
- b) 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 MSm³ producibili in 16 anni con un picco di produzione giornaliera di 200 kSm³/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'isosubsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 2,5 km verso costa.

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 2 - of 56
---	--	------------------

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 MSm^3 , GOIP revisione studio statico del marzo 2007 pari a 600 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 MSm^3 in 16 anni (Figura 3) 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 MSm^3 al 2016 pur restando il GOIP del campo invariato rispetto al modello 2007 (600 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.*¹].

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'isosubsidenza 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 MSm³, ovvero ad un valore pari al volume cumulativo di gas già prodotto dicembre 2016 (Figura 3).

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 pari a 5,4 cm al 2020, mentre la distanza minima della linea d'isosubsidenza di 2 cm dalla costa è di circa 17 km (Figura 6).

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas, d'acqua e della produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/2016 che è ferma a 485 MSm³, 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 5 sono confrontati i profili di pressione calcolati con i modelli Eclipse 2016 con le pressioni statiche misurate nei due pozzi. Le pressioni calcolate sono in buon accordo con quelle misurate.

¹ 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 7th Int. Symp. on Land Subsidence, P. R. China, 23-28 Oct. 2005.

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 4 - of 56
---	--	------------------

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), viene rilevata da oltre un decennio con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle *“Linee Guida per lo Studio 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 2014, 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 1100 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 110 km di sviluppo lineare.

Le operazioni si sono svolte nel periodo compreso tra giugno e ottobre 2014 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell’ente certificatore.

Si ritiene, inoltre, opportuno sottolineare 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 omo-

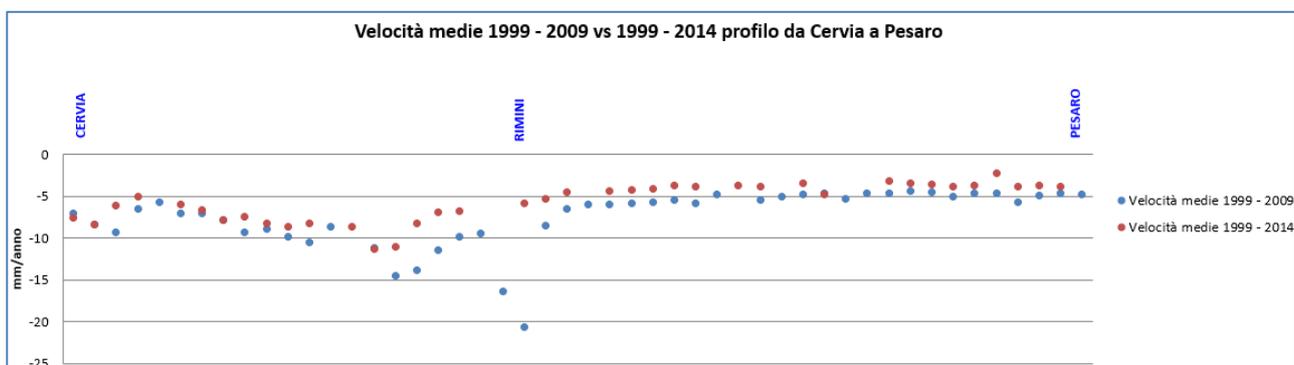


genei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pesara.

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, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, successivamente 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.

I valori di velocità media d'abbassamento del suolo, stimati con regressione lineare e relativi ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportati in Figura A sia per il periodo 1999-2009, sia per quello 1999-2014. Il confronto fra le misure di tali periodi mostra che negli ultimi anni la velocità di abbassamento del suolo è generalmente in diminuzione; tale diminuzione è mediamente di circa 2 mm/a e solo per pochi capisaldi supera detto valore.

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



Si deve osservare che i dati di livellazione, misurati sul singolo caposaldo, non sono di solito sufficienti per caratterizzare la distribuzione areale della subsidenza. Le misure sul singolo caposaldo, infatti, possono essere talvolta alterate da “disturbi” accidentali intervenuti nel tempo sul manufatto 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^2 di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più

² 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.

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, anche se gli attuali valori di velocità di subsidenza sono più contenuti e, come già detto in precedenza, 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) ha valori di V_a di poco superiori a 10 mm/a (11,3 mm/anno come valore massimo).

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2017) potranno eventualmente meglio definire tale trend d'abbassamento, anche se non si possono escludere cedimenti locali dovuti a instabilità dei capisaldi stessi che saranno, comunque, oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

Il confronto con i dati CGPS della stazione che insiste sull'area in esame (Rubicone, la cui velocità media di subsidenza, stimata con regressione lineare e relativa allo stesso periodo della campagna di livellazione, è pari a 1,5 mm/a) mostra valori che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità e considerato che si tratta di misurazioni spazialmente non coincidenti, sono assolutamente compatibili. Infatti, i valori di velocità media, valutati mediante regressione lineare, sui due capisaldi (02602504 e 02603300) più prossimi alla stazione CGPS sono rispettivamente pari a 0,7 mm/a e 3,1 mm/a.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2016) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 7).

Le attività di monitoraggio sono state potenziate negli ultimi anni mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore. 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) e 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 Bonaccia-NW (settembre 2015) e, infine, di Clara NW (marzo 2016).

Le serie storiche delle misure CGPS acquisite nelle stazioni messe in opera nel periodo 2014 - 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; negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche 3 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 (Appendice 2).

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 2014 e in fase di certificazione fino al 2015, 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 31/12/2016 (Figura 8), 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 31/12/2014

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	16,57	23,37	-3,9	16,58	23,56	-3,82	-0,01	-0,19	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 misurato.

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

In generale:

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

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese 5.2, 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.

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 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 totale³ misurata dal CGPS pari a -3,8 mm/a (Figura 8 e Figura 9), sostanzialmente in linea con il valore riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-3,9 mm/a al 2015).

³ 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.

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico integrato (PCMS1,2 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 10, l'evoluzione temporale della subsidenza simulata dal modello integrato (linea blu) risulta ben in accordo con 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 11 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 12 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.



Figura 1 - Ubicazione del Campo di PCM

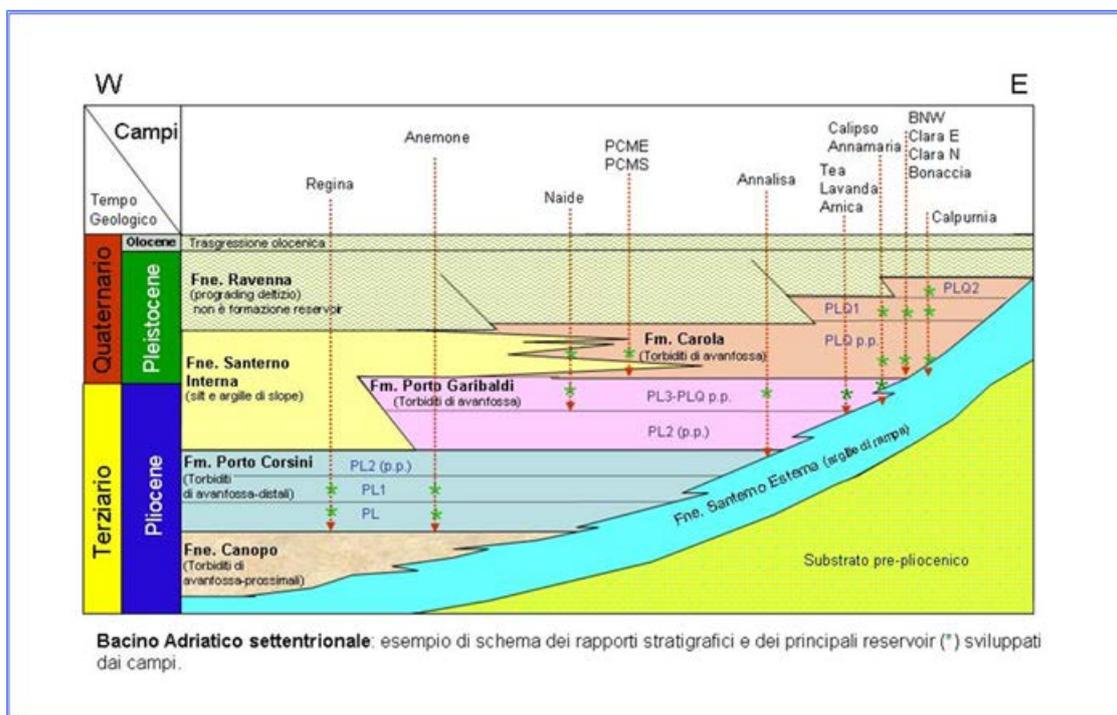
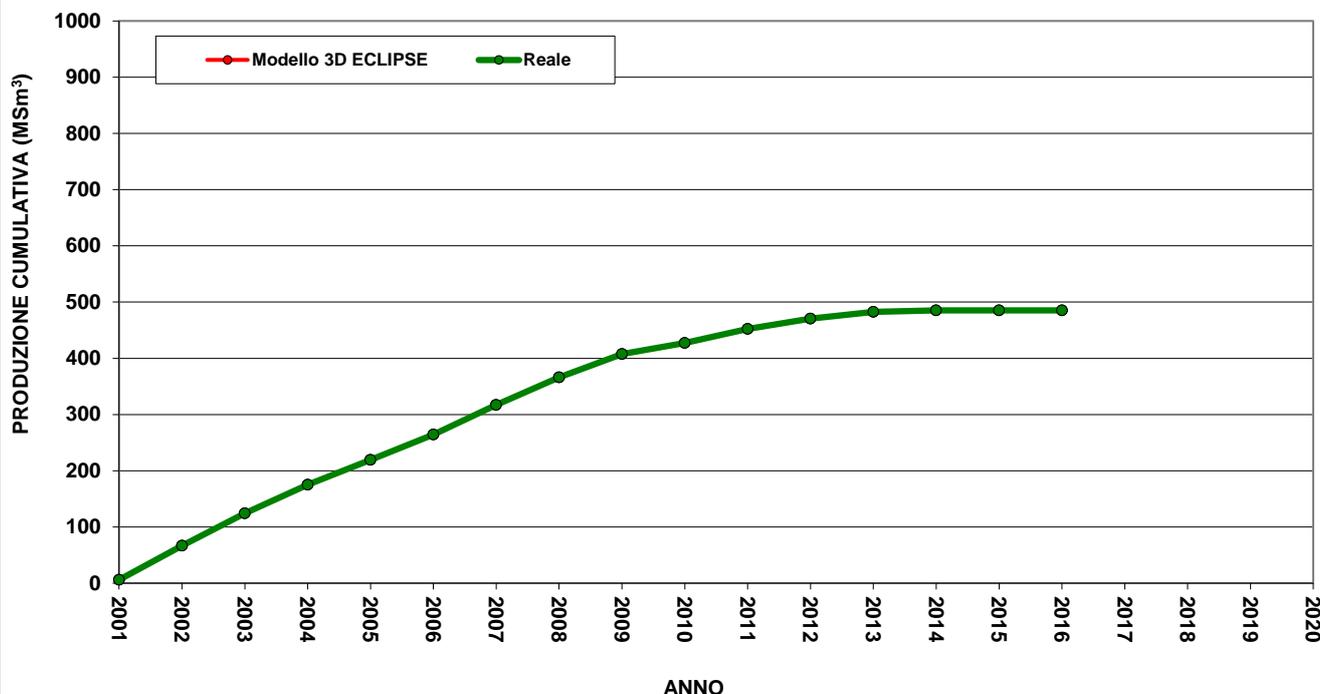


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI PCME (PCMS)					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
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					
2018					
2019					
2020					

CAMPO DI PCME (PCMS) - Produzione cumulativa



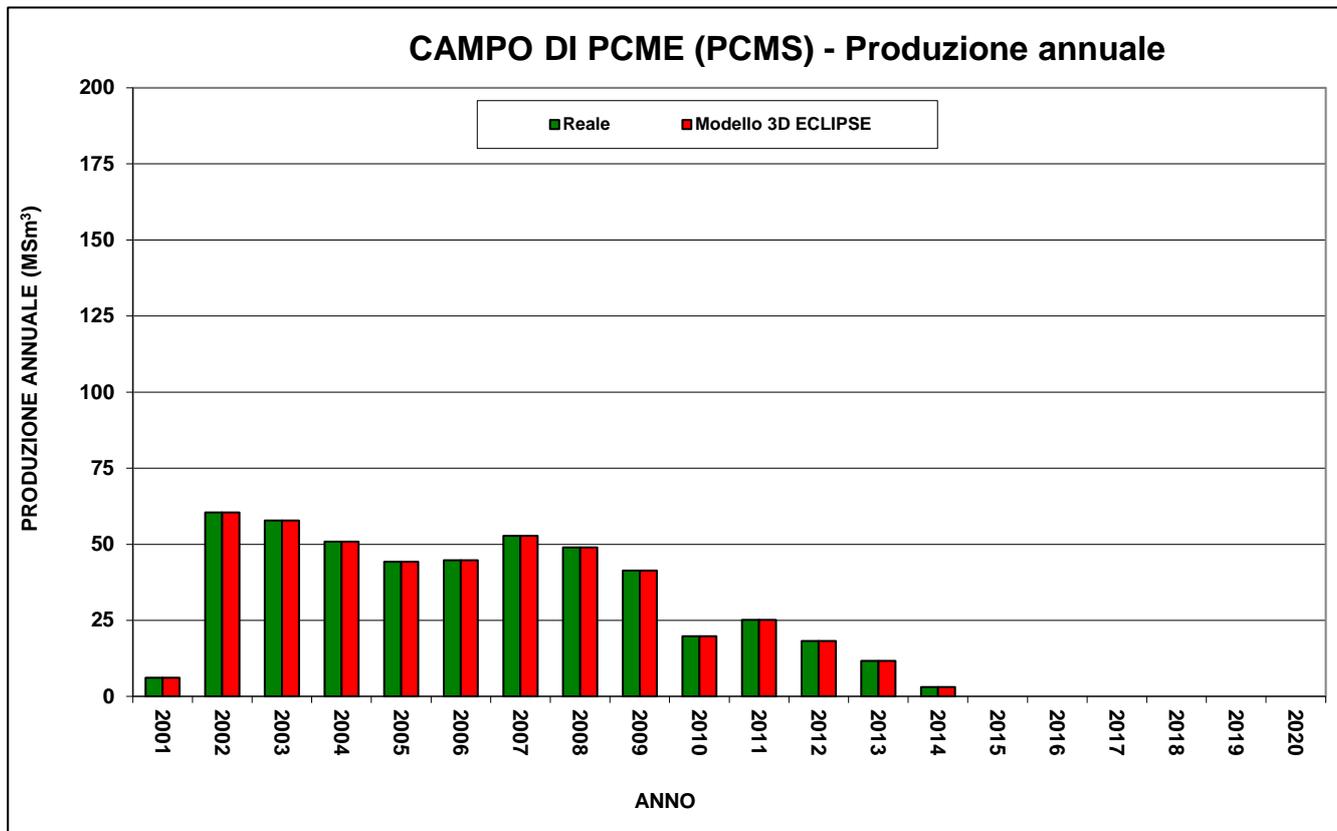


Figura 3 – Campo di Porto Corsini Mare: tabelle e grafici di produzione vs. modello Eclipse 2016

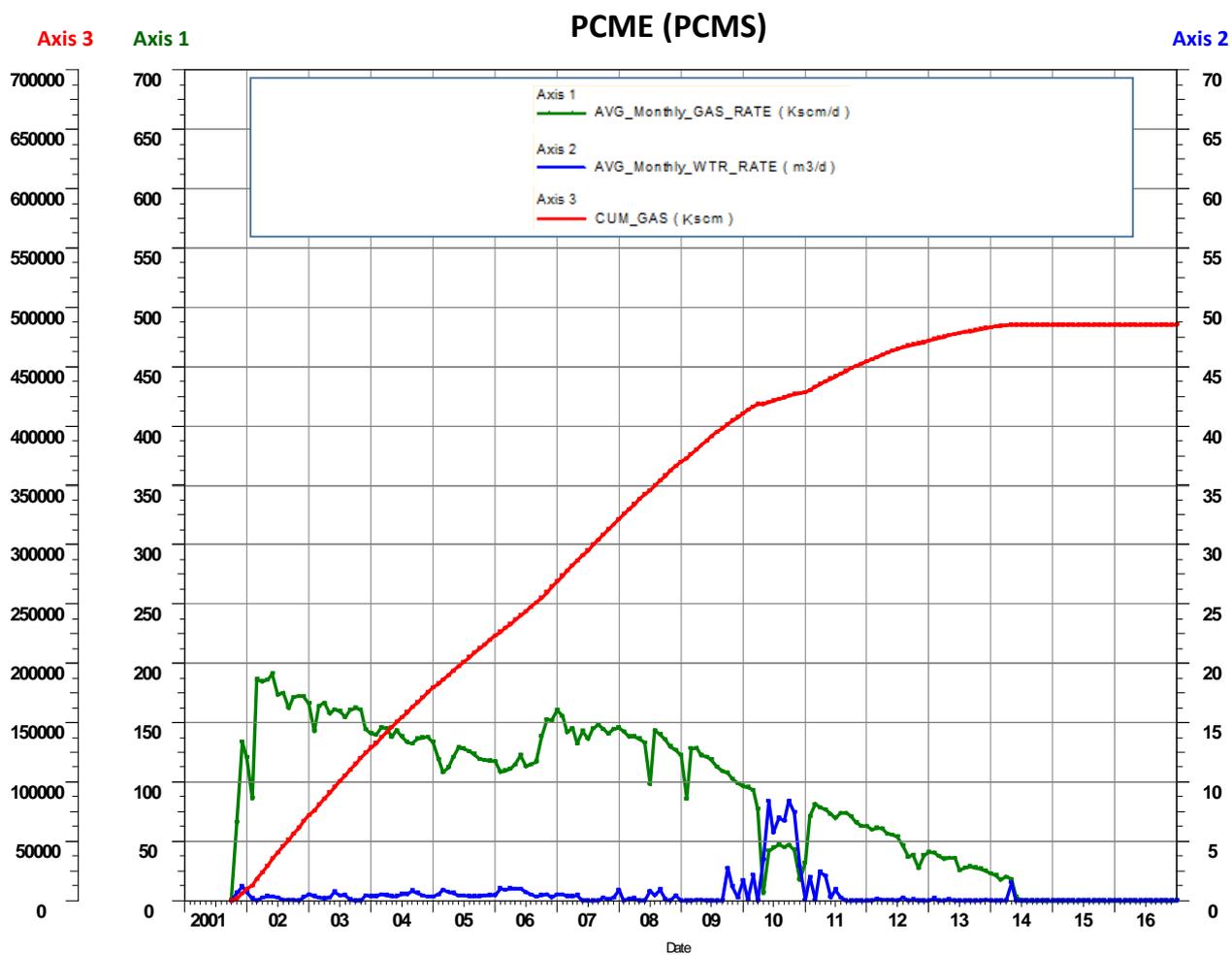


Figura 4 – Campo di Porto Corsini Mare: grafico della produzione storica



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

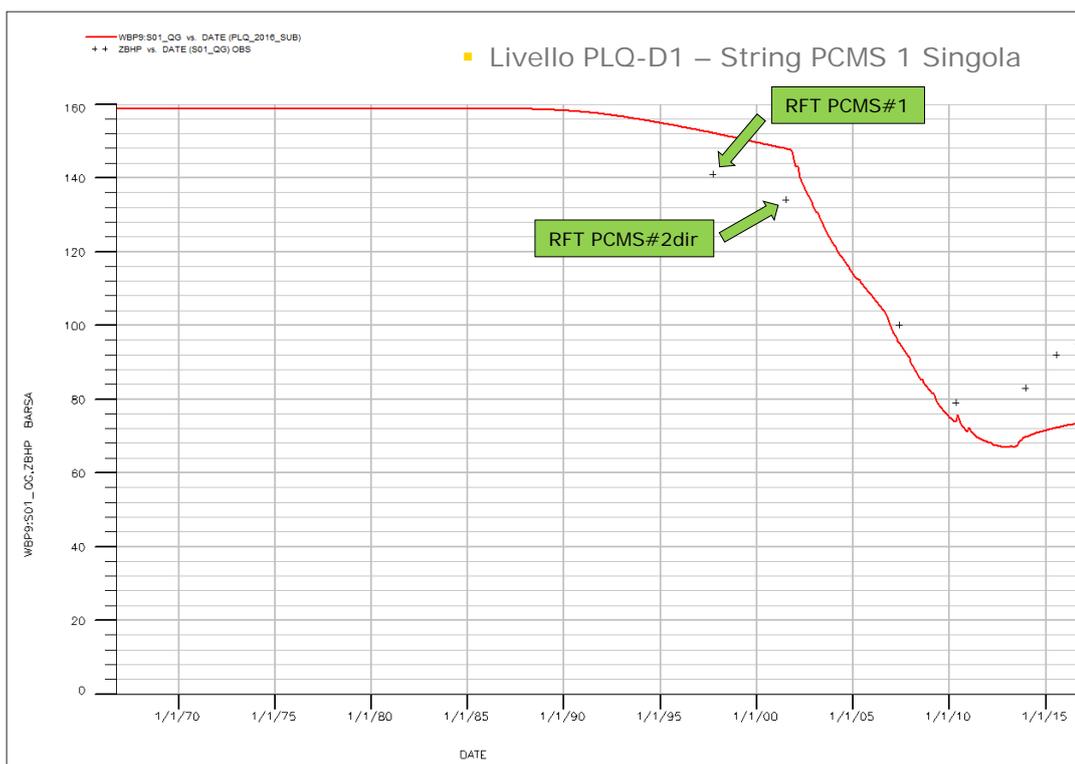


Figura 5 – Campo di Porto Corsini Mare: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (livello PLQ-D1)



Figura 6 – Campo di Porto Corsini Mare: curve d'isosubsidenza per lo scenario al 2020

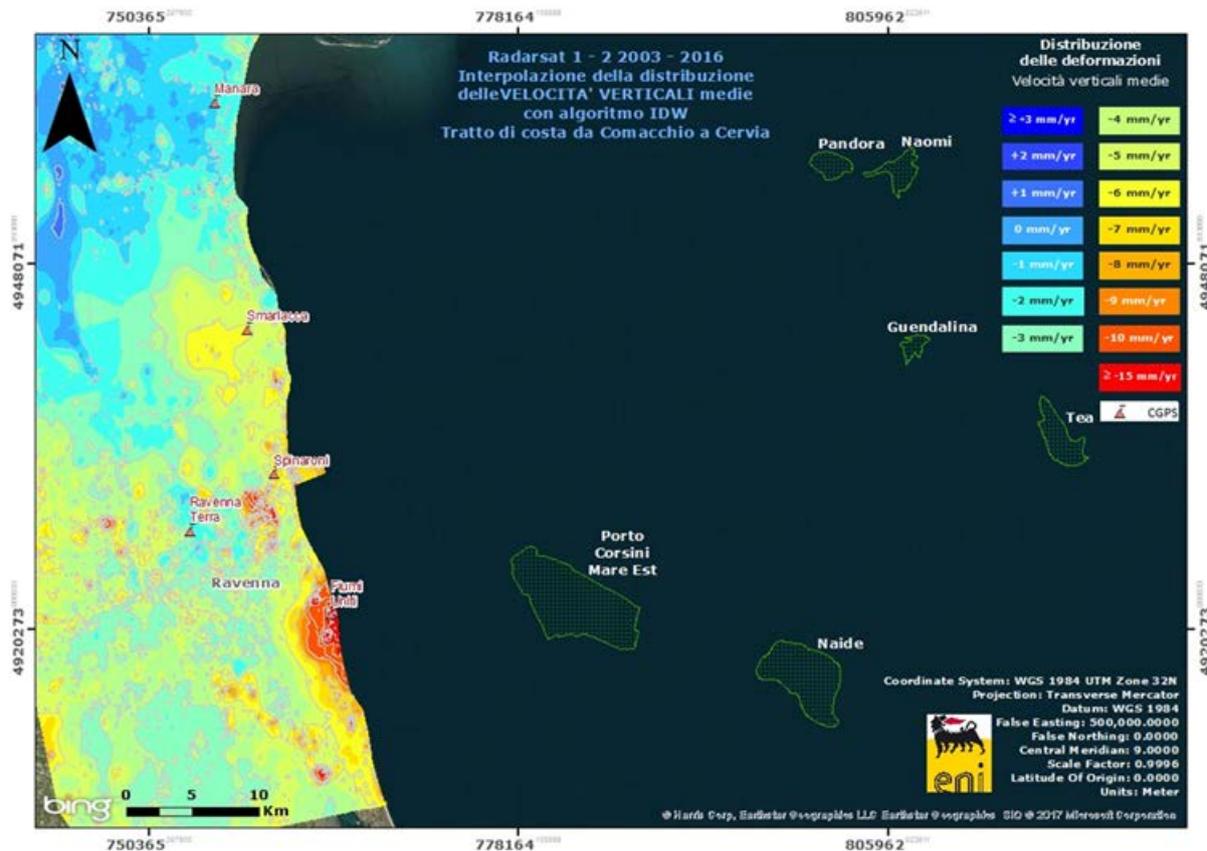
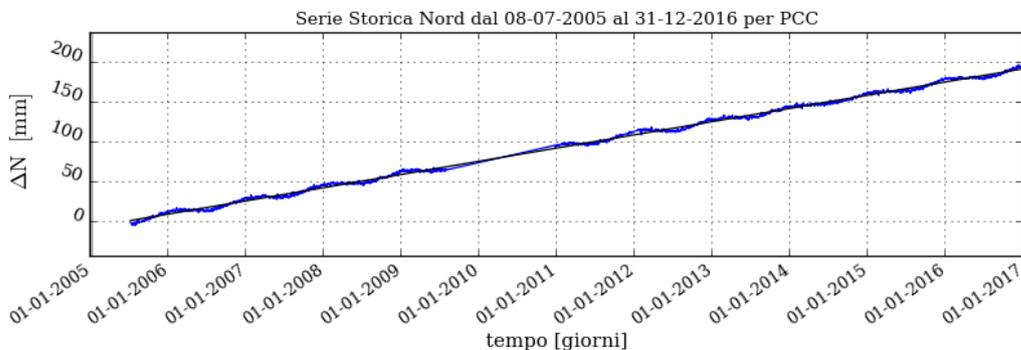


Figura 7 - Analisi dati SAR dal 2003 al 2016 - campo di Porto Corsini Mare

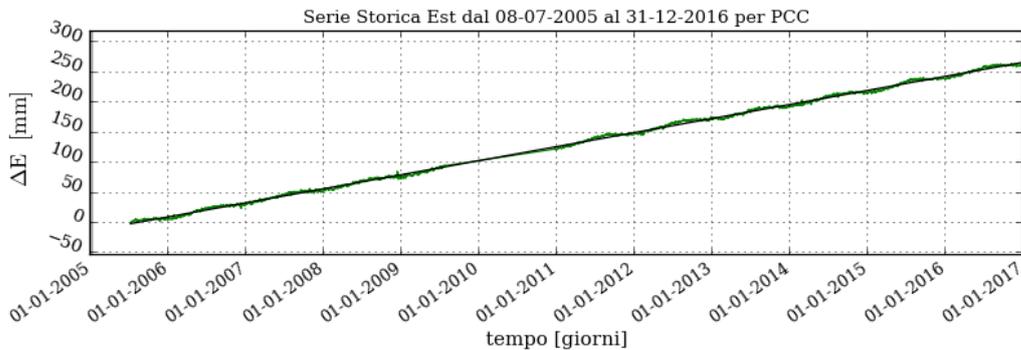


Serie storica spostamenti IGb08 RETE PCC



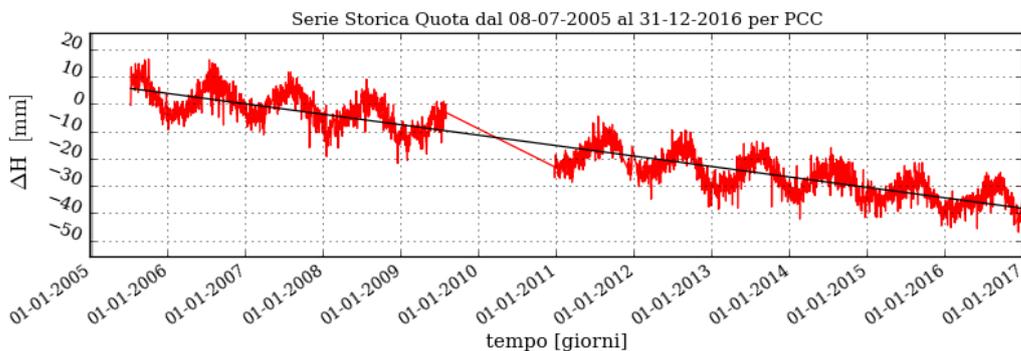
$Vel_n = 16.57 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_n = 2.52$ mm
 $\chi^2 / DOF = 38.89$

— Nord
— Regressione lineare



$Vel_e = 23.33 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_e = 2.6$ mm
 $\chi^2 / DOF = 65.12$

— Est
— Regressione lineare



$Vel_h = -3.82 \pm 0.02$ mm/y
 $WRMS_h = 5.05$ mm
 $\chi^2 / DOF = 13.21$

— Quota
— Regressione lineare

Figura 8 - Campo di Porto Corsini Mare: serie storiche plano-altimetriche CGPS di PCC



CAMPO	Inizio produzione	Fine Produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2016	Max Subsidenza prevista - scenario di riferimento	Ultimo aggiornamento studio	CGPS		
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2016	TREND rispetto @ dic. 2015
ANEMONE	1978	2018	100%	-36cm al 2018	2015	giu-07	-4,7	invariato
ANNALISA	2000	2023	93%	-10cm al 2027	2014	ott-07	-4,1	invariato
ANNAMARIA B	2009	2039	66%	-51cm al 2040	2013	gen-10	-108,6	aumento
BARBARA-NW	1999	2040	71%	-76cm al 2024	2013	gen-08	-29,6	invariato
BONACCIA	1999	2035	65%	-423cm al 2033	2014	dic-07	-76,2	diminuzione
BONACCIA NW	2015					set-15	n.d.	n.d.
CALIPSO	2002	2026	82%	-33cm al 2021	2013	nov-07	-15	diminuzione
CALPURNIA	2000	2017	100%	-54cm al 2021	2013	gen-07	-2	diminuzione
CLARA EST	2000	2030	44%	-56cm al 2026	2013	nov-07	-13,5	invariato
CLARA NW	2015					mar-16	n.d.	n.d.
CLARA NORD	2000	2020	82%	-68cm al 2021	2013	nov-07	-23,6	invariato
ELETTRA	2014	2026	57%	-18cm al 2065	2013	lug-14	-23,6	n.d.
FAUZIA	2014	2024	53%	-11cm al 2060	2013	set-14	-5,5	n.d.
GUENDALINA	2011	2023	86%	-3cm al 2023	2015	ago-11	-5,4	diminuzione
NAIDE	2005	2022	88%	-8cm al 2023	2013	giu-05	-3,45	invariato
NAOMI-PANDORA	2001	2037	43%	-3cm al 2068	2013	giu-02	-1,5	invariato
PCC (PCMS 1,2)	2001	2014	100%	-6,8cm al 2017	2016	lug-05	-3,8	invariato
REGINA	1997	2023	91%	-139cm al 2044	2013	giu-07	-25,5	diminuzione
TEA-LAVANDA-ARNICA	2007	2018	101%	-5cm al 2018	2015	nov-07	-4,3	invariato

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

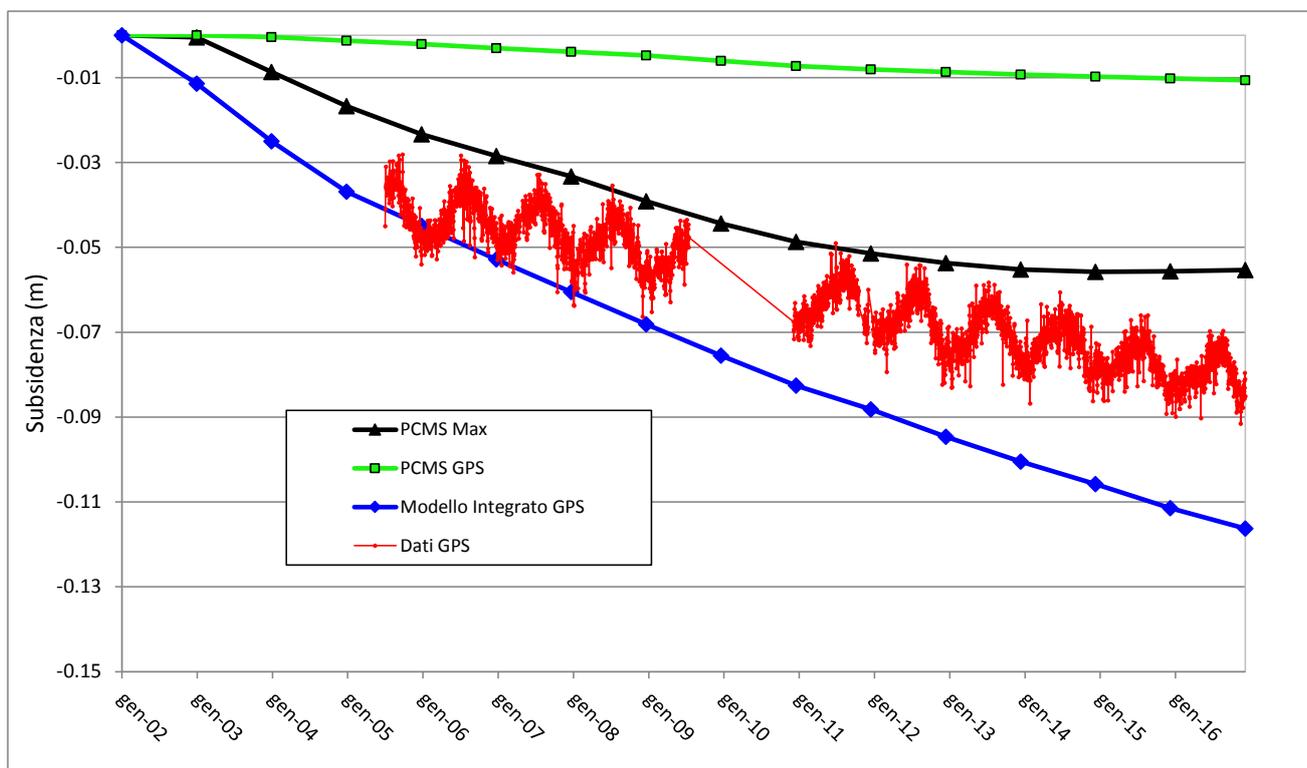


Figura 10 – Campo di Porto Corsini Mare: CGPS (agg. 31 dic. 2016) vs. modello di subsidenza (in corrispondenza della p.ma)



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 Cervia			SIA	
PROFONDITA' FONDALE	24 m			ULTIMO AGGIORNAMENTO	
LITOLOGIA	sabbie fini			STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"
FORMAZIONE RESERVOIR	Carola			RISERVE (MSm3)	457
ZONA MINERARIA	PLO			MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO
PROFONDITA' RESERVOIR	1400 (TVDSS)			MAX SUBS AL CENTRO (cm)	4,5 (dopo 10 anni)
TIPO DI PIATTAFORMA	Monotubolare			MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	2,5 (dopo 10 anni)
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi legg. deformate			ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2012	
				6,8 (dopo 16 anni dall'inizio della produzione)	
				2,8 al 2016 (distanza minima dalla costa 17 Km al 2016)	
				STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	PCMS1	A.C1.AG	D.M @mag01	@ 31 dic. 2016	
	PCMS2	PORTO CORSINI MARE			
DATA SCADENZA CONCESSIONI		14/09/2015 (PCMS1)			
		26/05/2016 (PCMS2)			
N. POZZI (MSm3)		1 + 1		LIVELLAZIONI	
RISERVE TECNICHE		457		ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014.	
A VITA INTERA (MSm3)		485		I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2014) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM	
START UP PRODUZIONE	nov-01			IL PROSSIMO RILIEVO DELLA "DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017	
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2016		NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI	
GAS PRODOTTO (MSm3)		485		MARKERS	
% RISERVE PRODOTTE		100%		NON PRESCRITTI	
				CGPS	
				OPERATIVO DAL 2005	
				SAR	
				ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2016 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	

Figura 11 - Scheda di sintesi dati campo



Figura 12 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2016

L'analisi dei dati SAR ha interessato complessivamente tre data-set (Fig. 1A), suddivisi geograficamente in:

1. *Area di Ravenna da Porto Tolle a Cervia*
2. *Area di Rimini da Cervia a Cattolica*
3. *Area di Ancona da Cattolica a Civitanova Marche.*

In tali aree, che presentano una piccola zona di sovrapposizione sufficiente a garantire continuità nei dati, sono ubicate le seguenti stazioni CGPS della rete Eni:

1. *Area di Ravenna: Manara, Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti*
2. *Area di Rimini: Rubicone*
3. *Area di Ancona: Fano e Falconara.*



Fig. 1A - Mappa calibrazione dati SAR

La calibrazione dei dati SAR è stata fatta con le misure CGPS acquisite nelle stazioni poste all'interno delle aree analizzate, partendo 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 è impiegata la misura della velocità verticale di spostamento del suolo dell'area SAR più a nord (area ravennate), utilizzando in particolare le misure della stazione di Smarlacca. I dati acquisiti a Fiumi Uniti, a Spinaroni e in tutte le altre stazioni sono stati impiegati esclusivamente per la verifica dei risultati ottenuti.

Per la valutazione delle velocità verticali di spostamento del suolo sulla base dei dati CGPS si è impiegata 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 rispetto 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 $-3,22 \pm 0,42$ mm/a. Dato che la corrispondente velocità media ottenuta dalle misure del CGPS di Smarlacca è di $-6,37 \pm 0,01$ mm/a, si ha uno scostamento fra le due misure di $-3,15 \pm 0,43$ mm/a. Ai valori di velocità media della componente verticale, determinata con il monitoraggio SAR, si è applicata, pertanto, una correzione pari a $-3,15 \pm 0,43$ mm/a. Si sono poi confrontati tali dati SAR con le misure dei CGPS di Manara, Fiumi Uniti e Spinaroni 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 Fig. 2A sono rappresentati i dati SAR per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Comacchio a Cervia ottenuti a valle del processo di calibrazione. Tali dati sono stati ottenuti per interpolazione con un algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) mediante Tool ArcGis Spatial Analyst®.

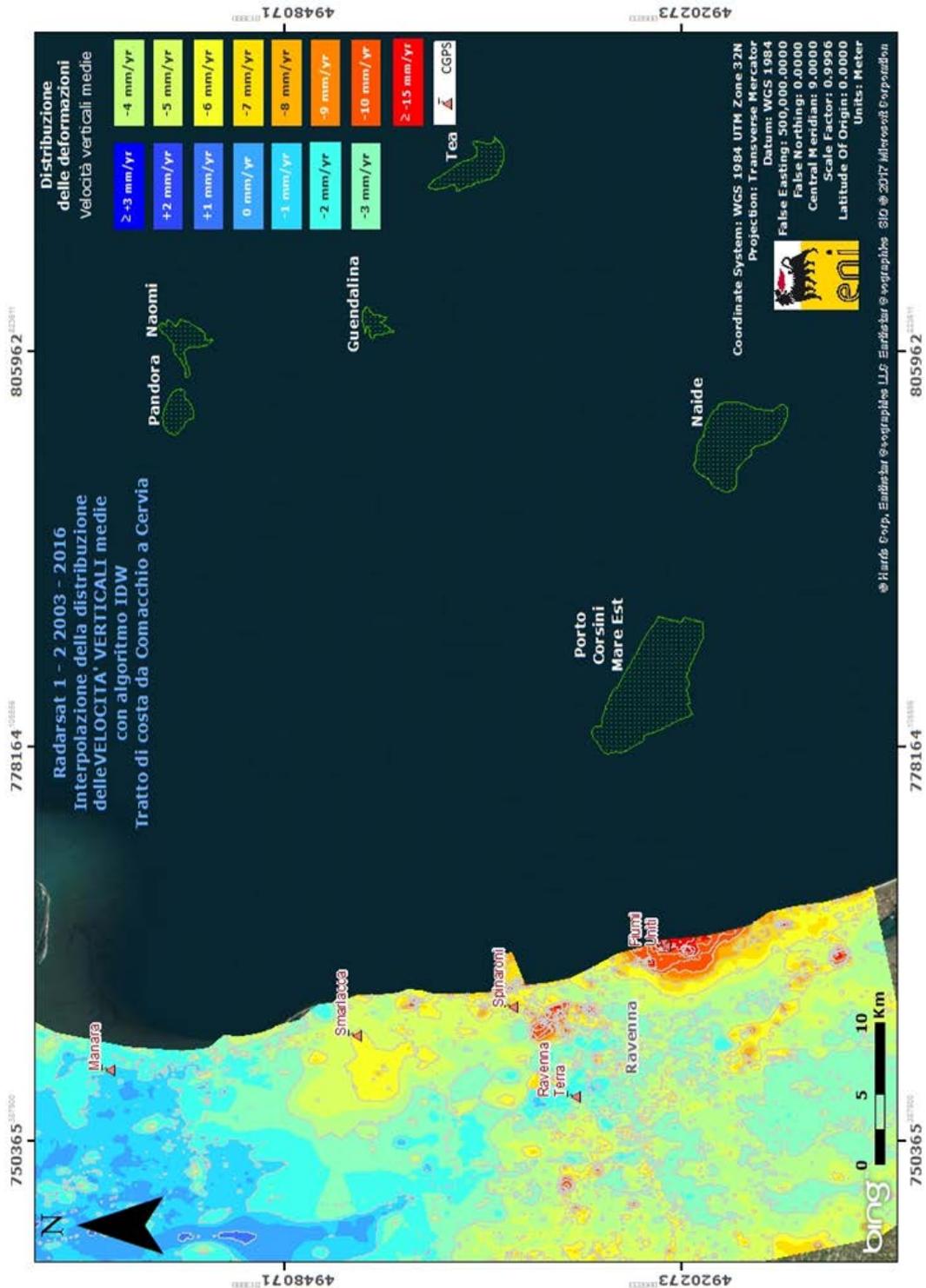


Fig. 2A - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Comacchio a Cervia

A differenza di quanto fatto negli anni precedenti, gli altri data set acquisiti (area di Rimini e area di Ancona, vedi Fig. 1A) sono stati analizzati separatamente da quello dell'area Ravennate, poichè si è osservato un buon accordo fra le misure SAR e quelle registrate dalle stazioni CGPS site all'interno di ciascuna delle 2 aree sopracitate. Inoltre, con il consolidarsi della serie storica di misure SAR (circa 14 anni di dati) si è notato come la calibrazione delle aree di Rimini e Ancona - fatta a partire da quella di Ravenna e impiegando un valore di calibrazione ottenuto come media delle componenti verticali delle velocità di spostamento del suolo nelle zone di sovrapposizione tra le diverse aree - introduca un errore sistematico. Tale errore, che consiste in uno spostamento verticale fittizio ed è probabilmente causato anche alla propagazione della varianza, non può essere ignorato e, pertanto, sconsiglia l'applicazione della procedura di calibrazioni "a catena" fatta nel passato.

Per l'area di Rimini, analizzata congiuntamente a quella di Ancona-Fermo, il procedimento seguito per la mosaicatura e calibrazione del dato SAR è illustrato sinteticamente nello schema esemplificativo di Fig. 3A.

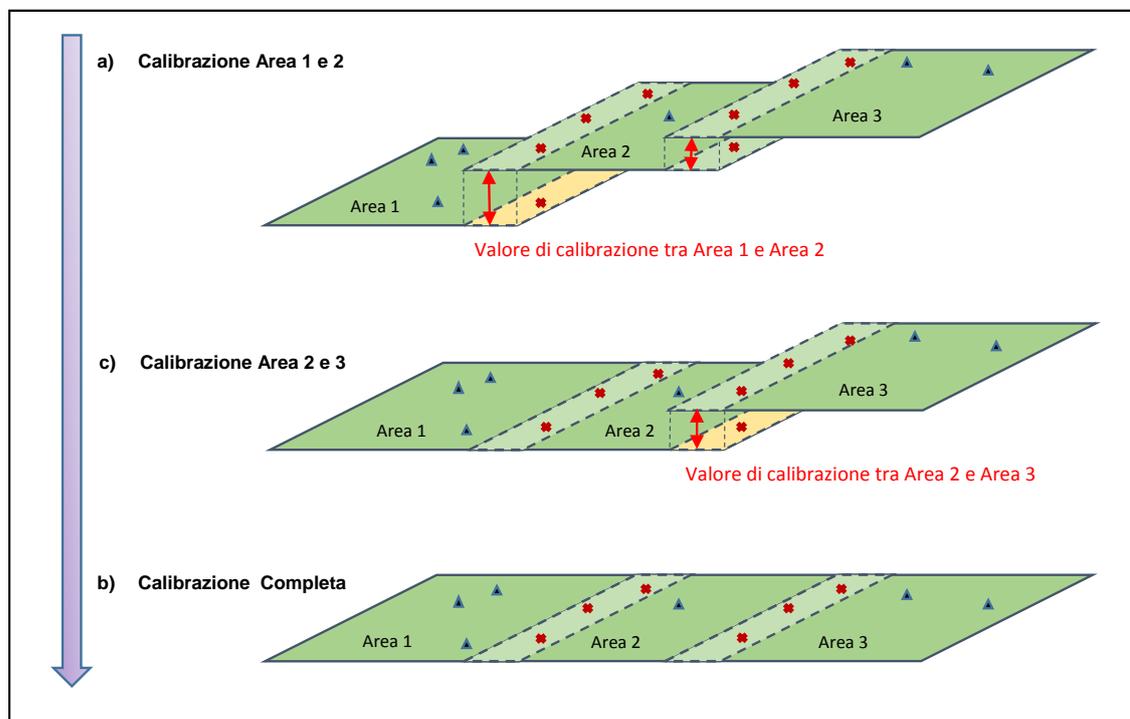


Fig. 3A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

L'analisi dell'area SAR di Ancona evidenzia che le velocità verticali di spostamento del suolo registrate dalle stazioni CGPS di Fano e Falconara sono allineate con quelle misurate dal SAR: la differenza è inferiore al millimetro. Si noti che il confronto è stato fatto per una zona di circa 300 m intorno a ogni stazione, e che le velocità dei dati SAR sono una media delle misure relative ai permanent scatterer (PS) che ricadono all'interno di tale zona.

Data l'ottima concordanza fra i dati CGPS e quelli SAR si è deciso, quindi, di non calibrare questi ultimi.

Si sono poi confrontate le velocità verticali di spostamento del suolo misurate dai PS nella zona di sovrapposizione tra l'area di Ancona e quella di Rimini (Fig. 3A). Per quanto osservato in precedenza (non calibrazione dato SAR vs. CGPS in quanto trascurabile) la mosaicatura/calibrazione è stata fatta in modo diretto senza alcun delta tra le due zone sovrapposte.

A valle del processo di mosaicatura/calibrazione si è esaminato l'andamento della differenza di velocità verticali tra misure SAR e dati CGPS per l'area di Rimini (Stazione S.S.U. di Rubicone, vedi Fig. 1A). Nella zona situata nell'intorno della stazione CGPS di Rubicone - installata nel dicembre 2007 - i data-set SAR (area SAR di Rimini), mostrano un rallentamento della velocità di subsidenza a partire dal 2008 (analisi dettagliata presentata nel 2013). La differenza fra le stime di tale velocità ottenute rispettivamente con le misure CGPS e quelle SAR è di 1.96 ± 0.67 mm/a. Al solito, la velocità media SAR è stata calcolata considerando i PS compresi in un intorno di 300 metri dalla stazione.

In Fig. 4A è visualizzata l'immagine ottenuta per interpolazione dei dati calibrati relativi alle aree di Ancona-Fano e Rimini. Per tale operazione si è impiegato l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) mediante Tool ArcGis Spatial Analyst®.

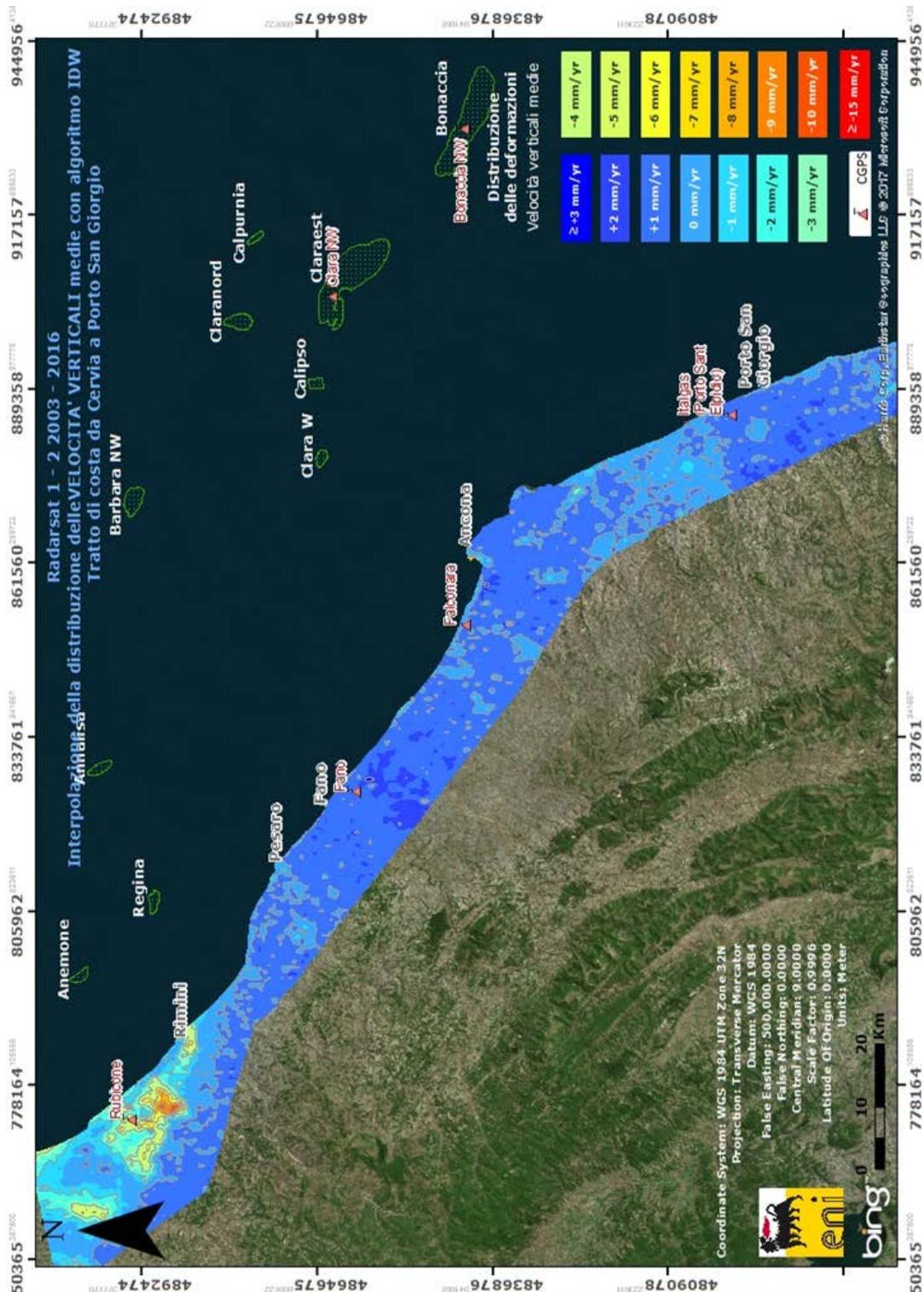


Fig. 4A- Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Cervia a Porto San Giorgio

Confronto dati SAR 2003 – 2015 vs 2003 – 2016

Un confronto diretto tra i dati 2003 – 2015 e i dati 2003 – 2016 sull'intero tratto di costa da Comacchio a Porto San Giorgio non è possibile in quanto le analisi 2016 dei dati SAR sono state effettuate con procedura differente rispetto all'anno precedente.

E' possibile però effettuare un confronto per quanto riguarda l'area di Ravenna e l'area di Fermo-Ancona.

Come mostrano le immagini di Fig. 5A e Fig. 6A, non si notano delle differenze importanti, il valore modale si attesta intorno a -3,5 mm. L'unica area con valori di differenza che sono in media dell'ordine di -7 mm, è situata a sud della città di Ravenna. Questa anomalia è, però, molto probabilmente causata da una mancanza di dati in tale area per la scarsa coerenza del segnale SAR. Ciò ha prodotto un artefatto numerico, privo di significato fisico, nelle relative mappe d'interpolazione.

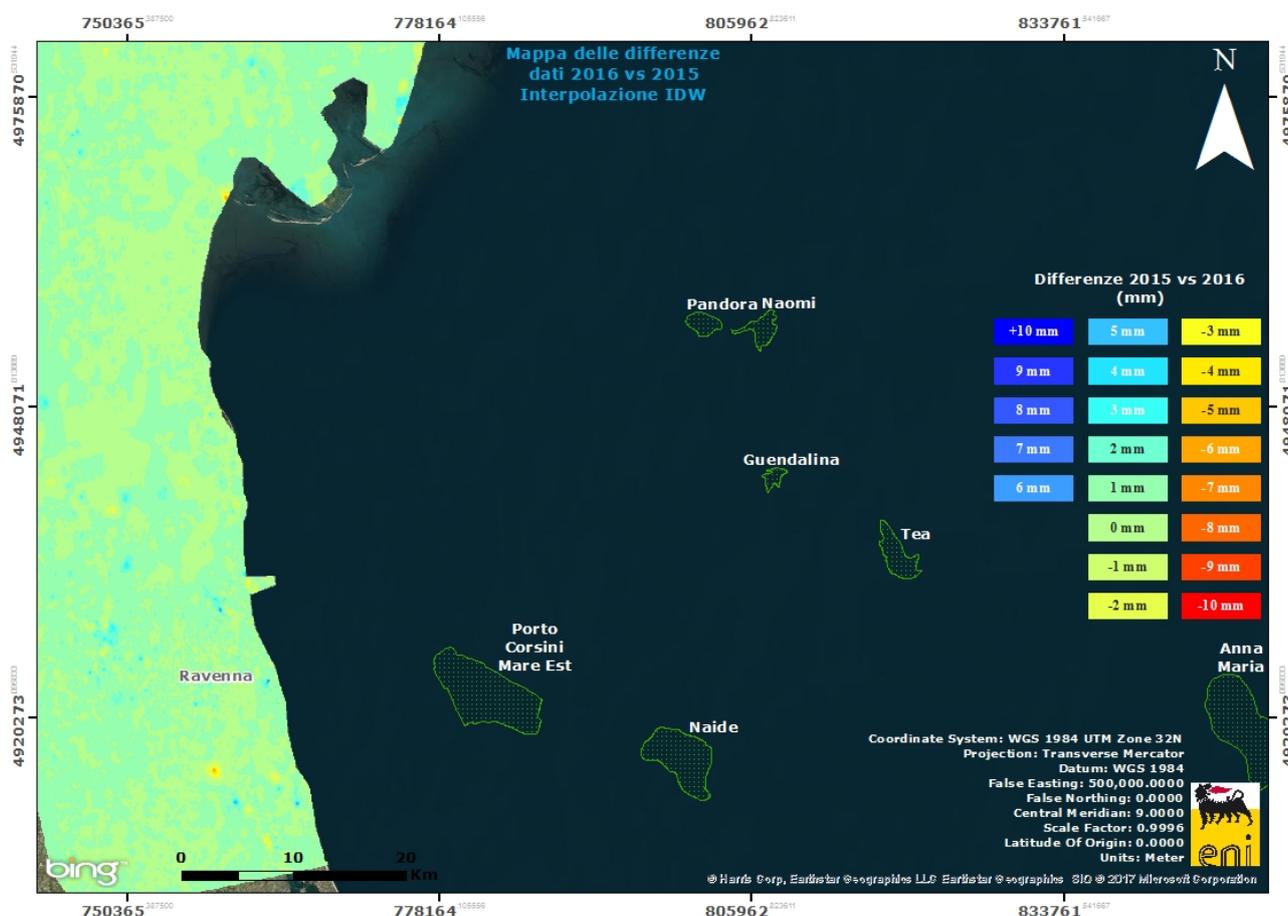


Fig. 5A – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Comacchio a Cervia

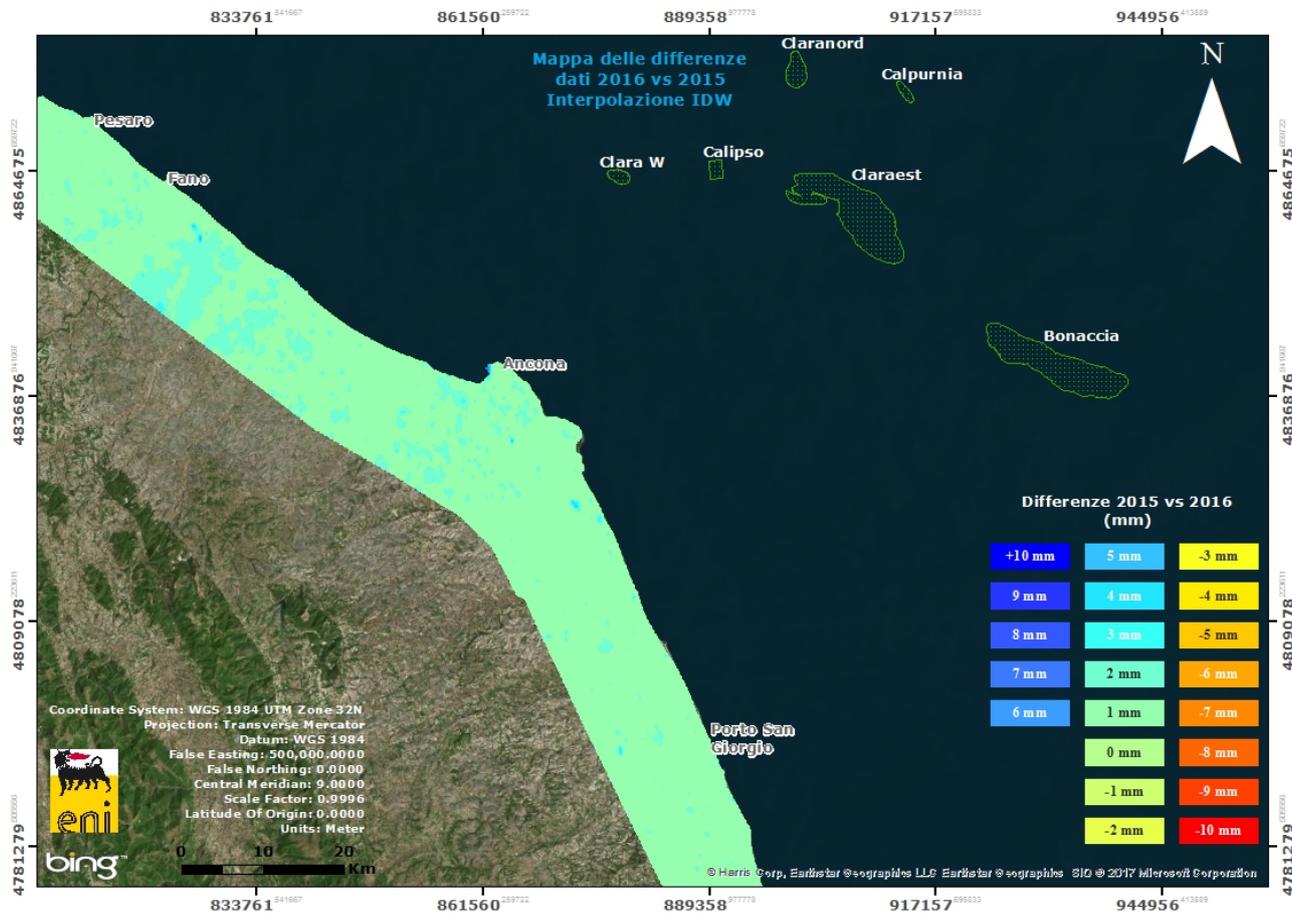


Fig. 6A - Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Fano a Porto San Giorgio

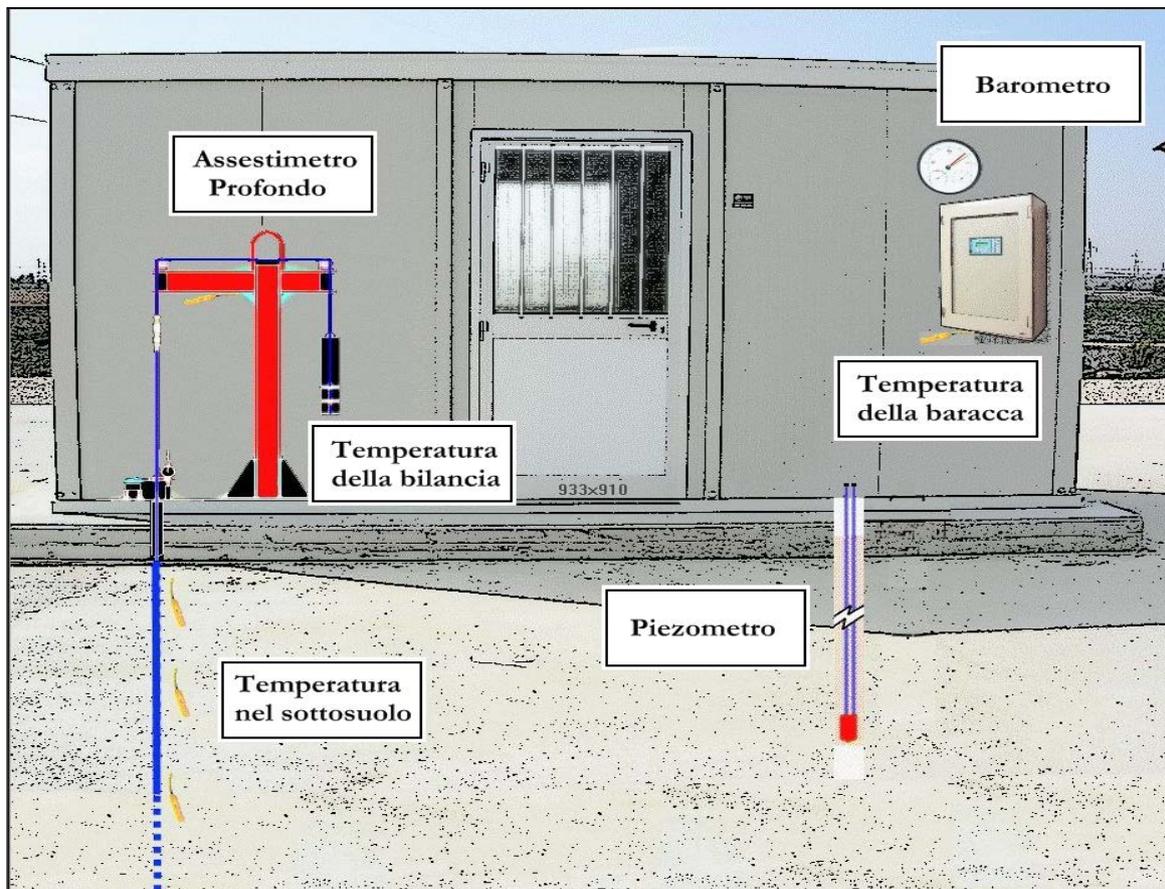


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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

Località'	Pozzo	Strumentazione	Profondità' (da P.C.)	Data d'installazione
Smarlacca		Assestimetro profondo	334 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

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 32 - of 56
--	--	-------------------

Per ciascuna stazione EPSU si allegano:

1. scheda che evidenzia sinteticamente le principali caratteristiche;
2. grafico con tutti i dati registrati;
3. file in formato excel con tutte le misure.

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

- assestimetro profondo - quota bottom 334,1 m da p.c.
- assestimetro superficiale – quota bottom 29,5 m da p.c.
- piezometro- quota cella 150,8 m da p.c.

Questa stazione di misura è composta da una doppia verticale assestimetrica: l'assestimetro profondo (33,15 metri d'asta di misura) e l'assestimetro superficiale (29,5 metri d'asta di misura). L'installazione è avvenuta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 ottobre 1997; il sistema è stato completato nel mese di novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori di misura ("misura di zero").

All'interno del foro assestimetrico è stato installato 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 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.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 334,15 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna; quello più superficiale 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 quel-

la dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori 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'assestometro profondo un salto (corrispondente a una compattazione) di 2,7 mm in corrispondenza di un periodo di 72 giorni; tale evento compare, anche se 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. Una compattazione nello stesso periodo è comunque rilevata anche dal CGPS, nel grafico di confronto, infatti, le due curve mostrano le medesime modulazioni nello stesso periodo 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 assestometri sono tornati a registrare il solito trend a velocità costante. Per quanto riguarda i termometri installati lungo la verticale assestometrica, si segnala un guasto al sensore posto a quota -4 m, le cui misure si sono interrotte dal marzo 2013.

Le registrazioni di entrambi gli assestometri (superficiale e profondo) mostrano lo stesso trend di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti. Per entrambe le strumentazioni la velocità media di compattazione è, quindi, abbastanza simile, essendo risultata rispettivamente di ca. 0,3 mm/a (foro superficiale) e 1 mm/a (foro profondo). 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 -6,3 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (GPS e assestometrica), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area sia-

no in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 334 m).

Si è fatto, inoltre, un confronto fra le misure assestimetriche (per comodità si 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 assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente a 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'assestimetro, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.

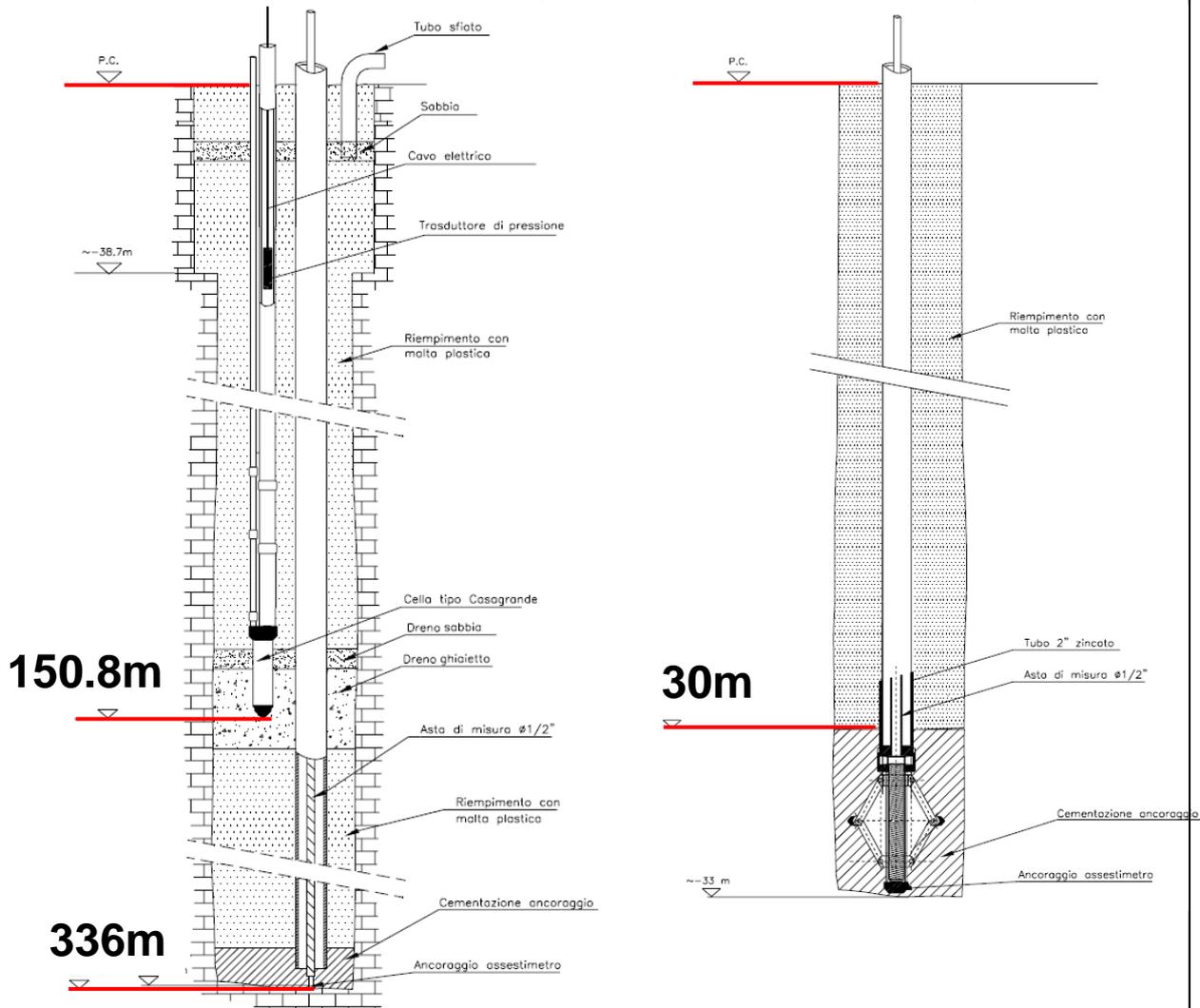


SMARLACCA

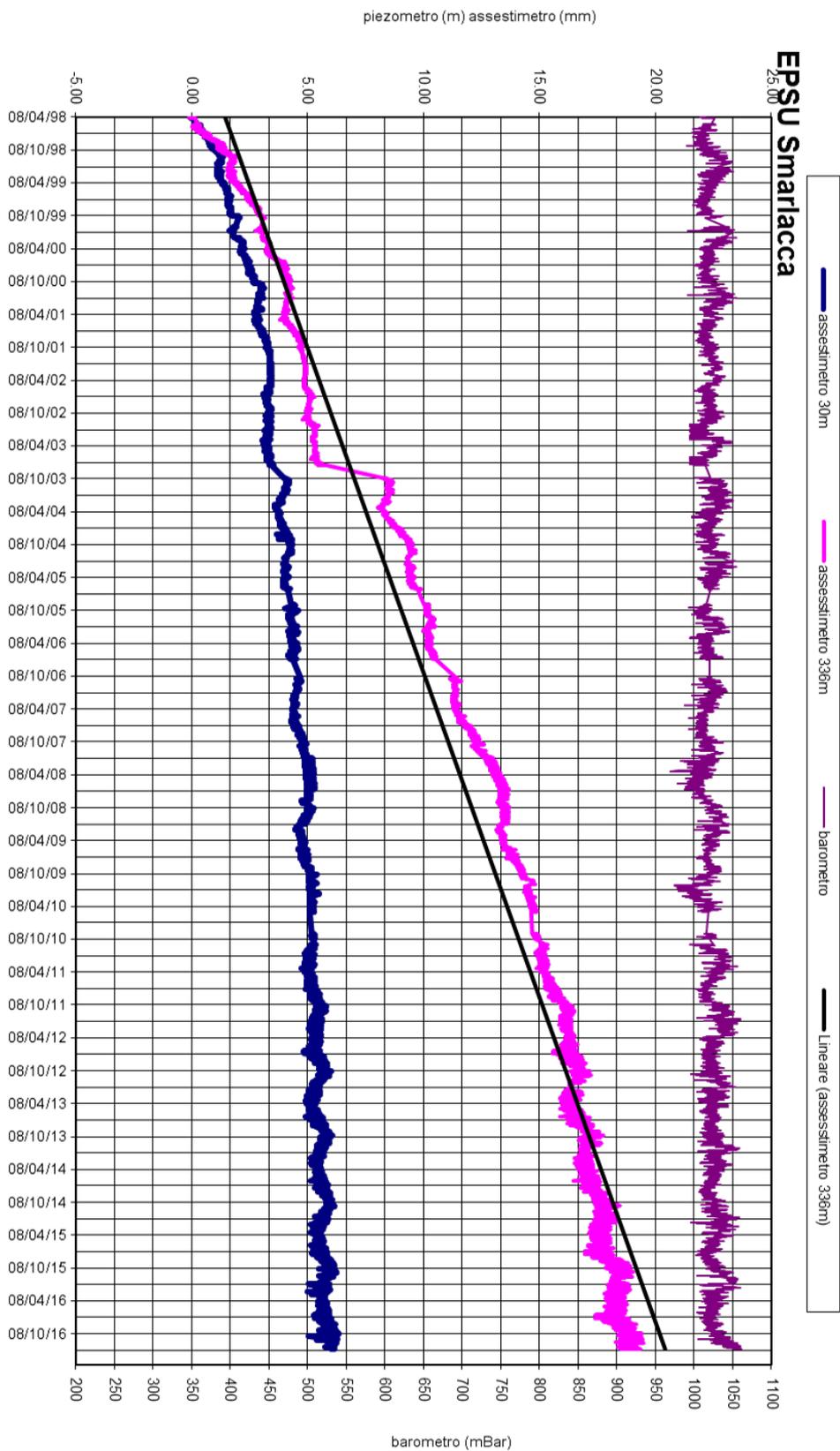
Piezometro

Assestimetro profondo

Assestimetro superficiale



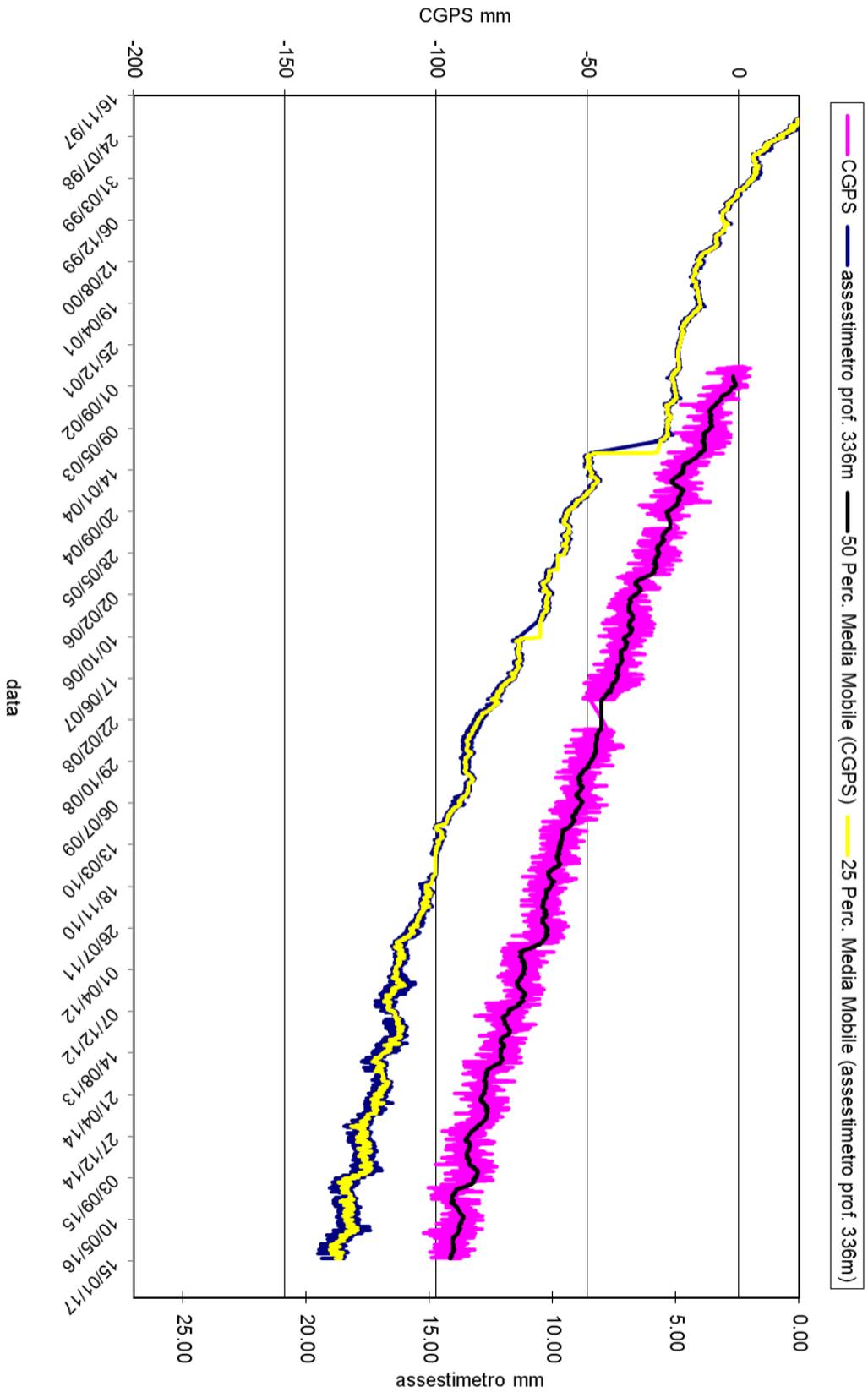
non in scala



L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
 valori positivi = abbassamento
 valori negativi = sollevamento



SMARLACCA - Confronto GPS ed assestimento profondo



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

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 39 - of 56
---	--	-------------------

Stazione EPSU di Spinaroni - (installata novembre 1997)

Strumentazione

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

L'installazione della verticale assestimetrica è stata fatta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 settembre 1997; il 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 black-out 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 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 ritardato il trasduttore di spo-

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 40 - of 56
---	--	-------------------

stamento, 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 registrazione 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 influenza sulla significatività della serie storica registrata.

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, valori 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 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 l'assestimetro ha, infatti, 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 con un trend più veloce di quello del periodo precedente l'anomalia sopracitata. Dopo la metà 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 19 anni di osservazioni. In questi anni si è registrata una compattazione totale di 48,8 mm corrispondente a una velocità me-

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 41 - of 56
---	--	-------------------

dia annua di 2,5 mm/a, che mantiene, dopo il primo anno di assestamento, un andamento abbastanza regolare nel tempo a (parte l'anomalia sopra segnalata). Nella 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 circa -7,4 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (GPS 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).

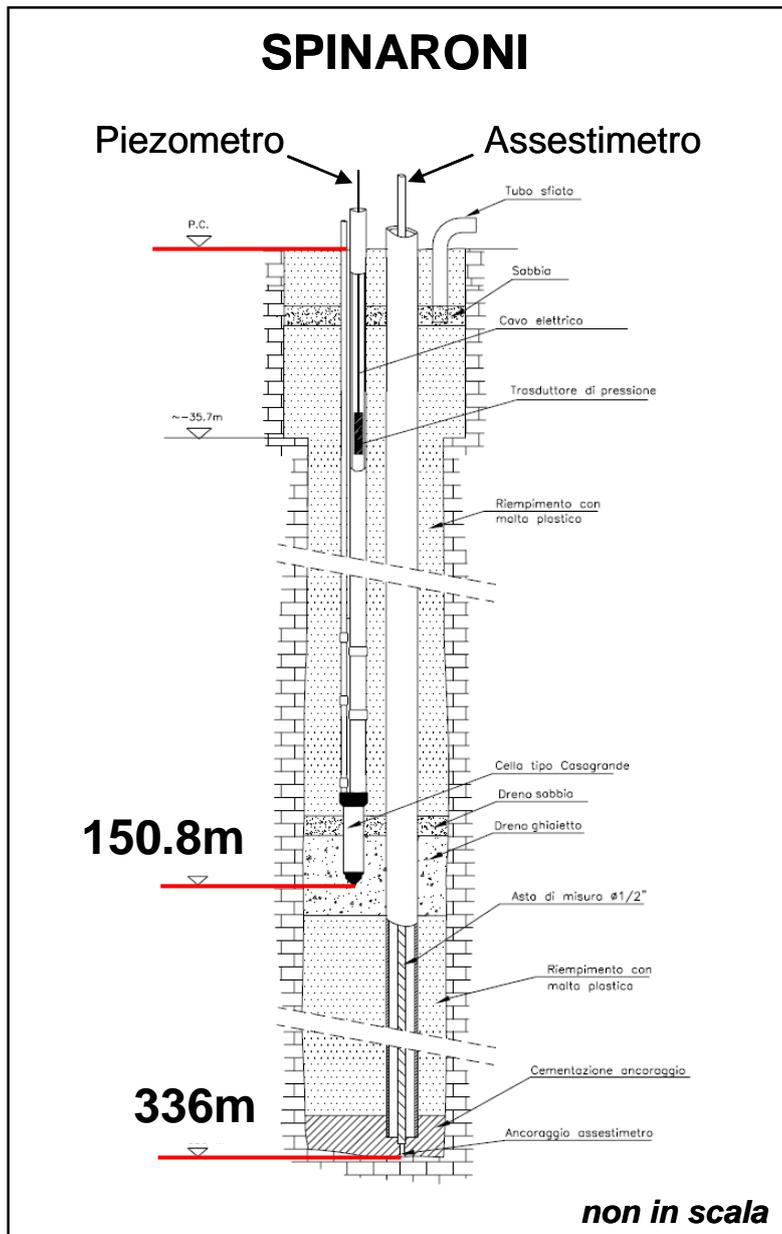
La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica CGPS e assestimetrica) non è molto elevata come mostrato nel grafico allegato; le misure CGPS presentano un andamento più regolare con una dinamica legata alla stagionalità. Nel periodo tra inizio ottobre 2003 sino a oltre la metà del 2004, la curva CGPS mostra, però, oscillazioni molto simili a quelle registrate dell'assestimetro nello stesso periodo, avvalorando l'ipotesi che possano essere reali e non "artefatti strumentali" i movimenti "anomali" cui si è detto in precedenza.

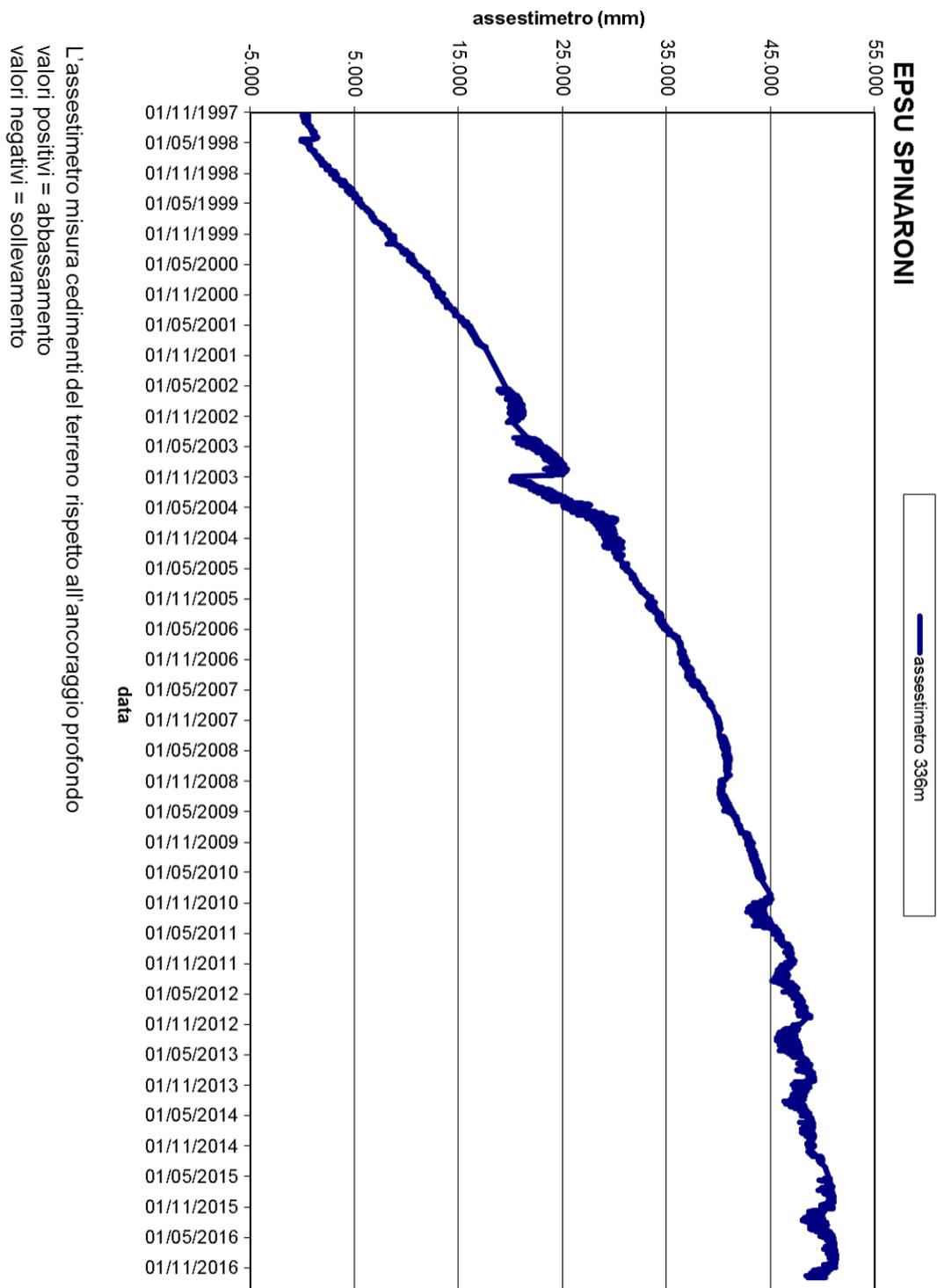
Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico:

- 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

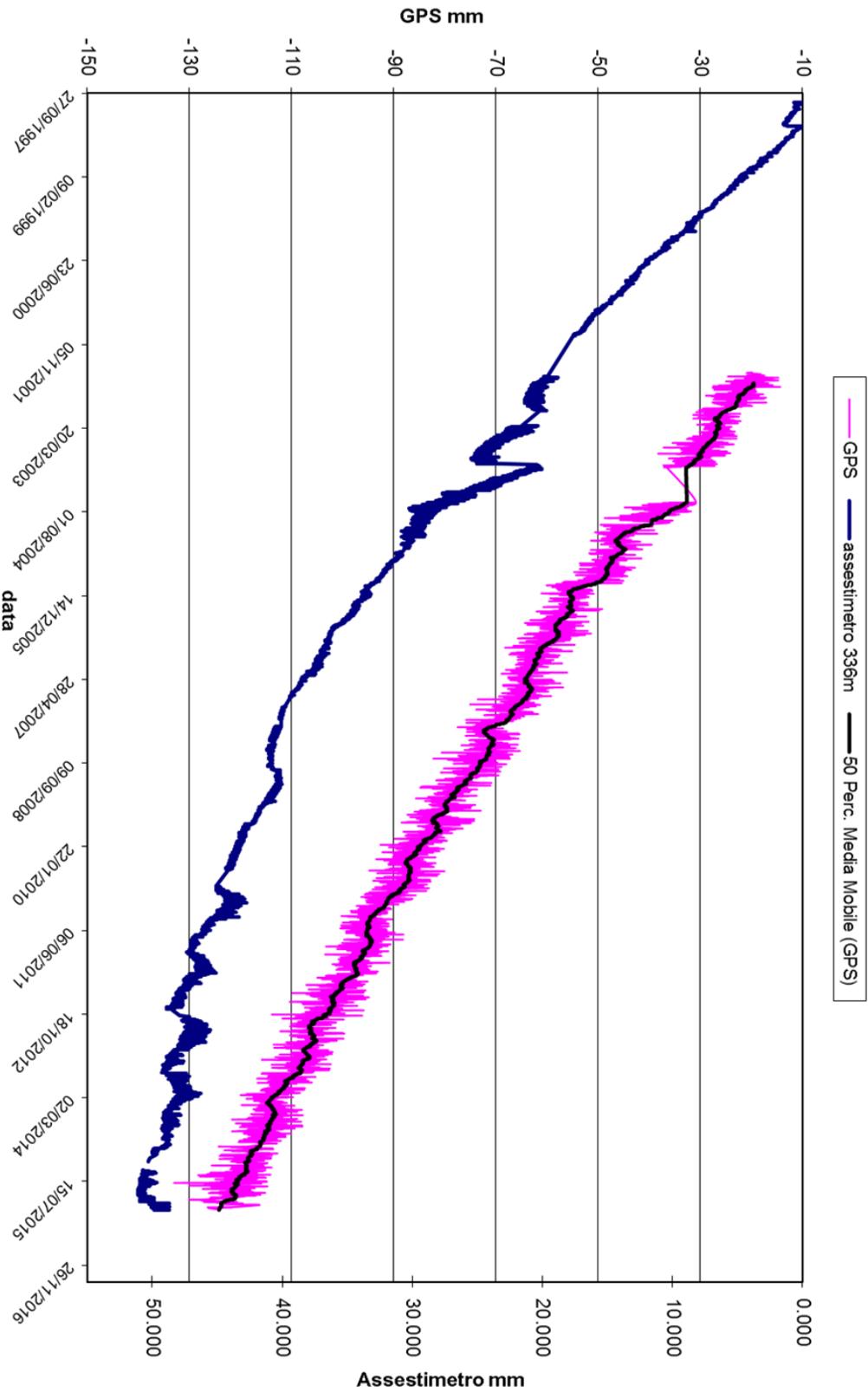
Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e pertanto di scarsa utilità. Anche per questa stazione, analogamente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







SPINARONI - Confronto GPS ed assestimetro profondo



Nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva GPS 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 GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa)

Stazione EPSU di Fiumi Uniti (installata settembre 1994)

Strumentazione

- assestometro profondo - quota bottom 372,85 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)

Nel dicembre 2011 presso l'area Fiumi Uniti sono stati aggiunti i seguenti nuovi piezometri:

Sigla	Profondità (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.

Questa stazione assestimetrica è stata completata nel settembre 1994.

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.

 eni spa	Campo di PORTO CORSINI MARE settembre 2017	Page - 46 - of 56
---	--	-------------------

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 dal luglio 2011 sono stati definitivamente sigillati i 3 vecchi tubi piezometrici. Nel dicembre 2011 sono entrati in funzione i tre 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 ri-scalato 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 dicembre 2016 la registrazione dei dati è stata poi regolare.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestometro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 372,85 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna; 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 (p.c.).

Nei grafici allegati 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, valori 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 traduttori 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 22,3 anni di misure fatte, le due curve assestimetriche 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/a 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 -14,2 mm/a. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (GPS 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).

L'esame delle curve CGPS e assestimetrica profonda non rivela, poi, particolari tratti di sovrapposizione fra le stesse, come si può osservare nel grafico allegato.

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 (2002-2015), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestimetro 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).

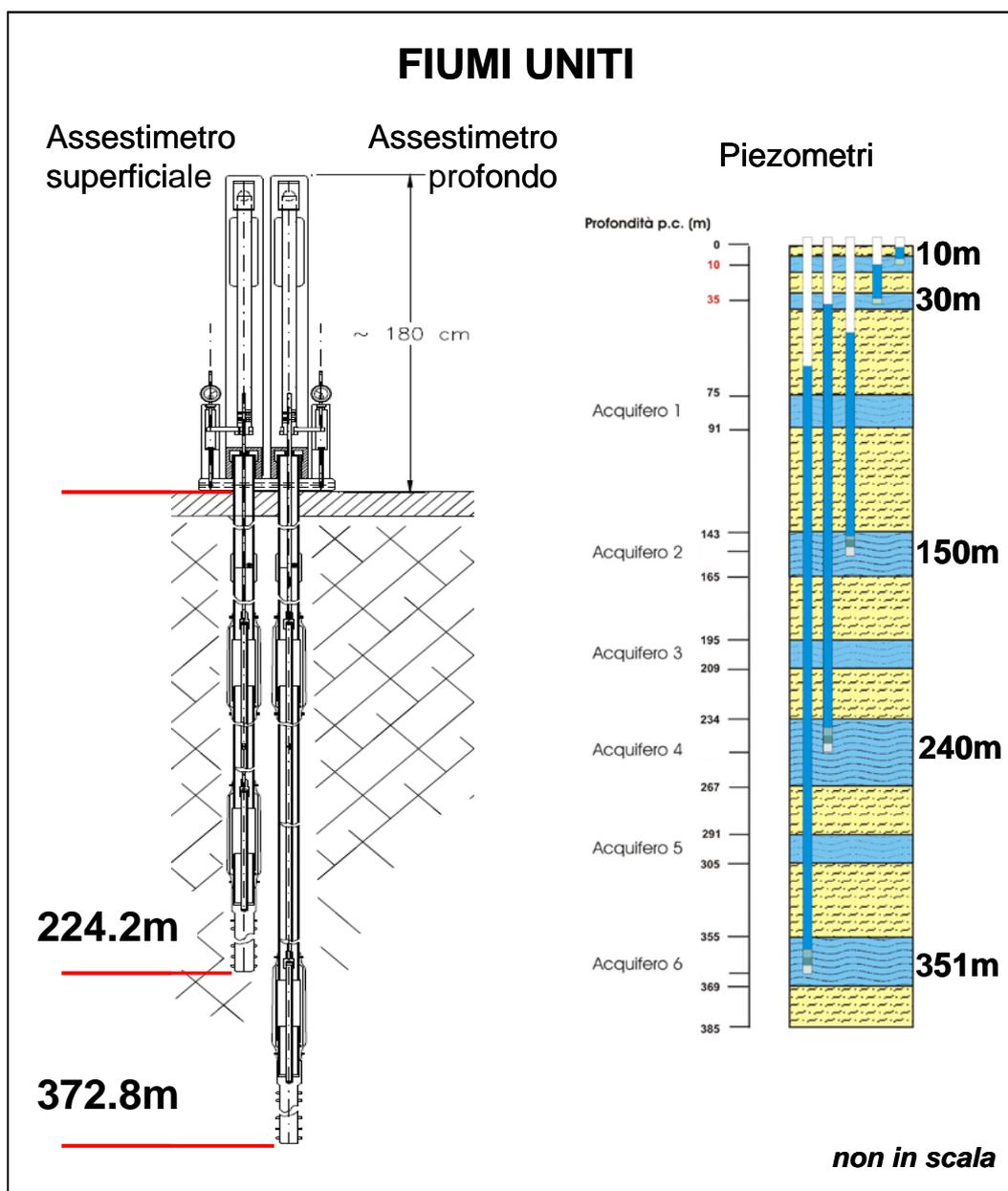
Analisi dei dati piezometrici

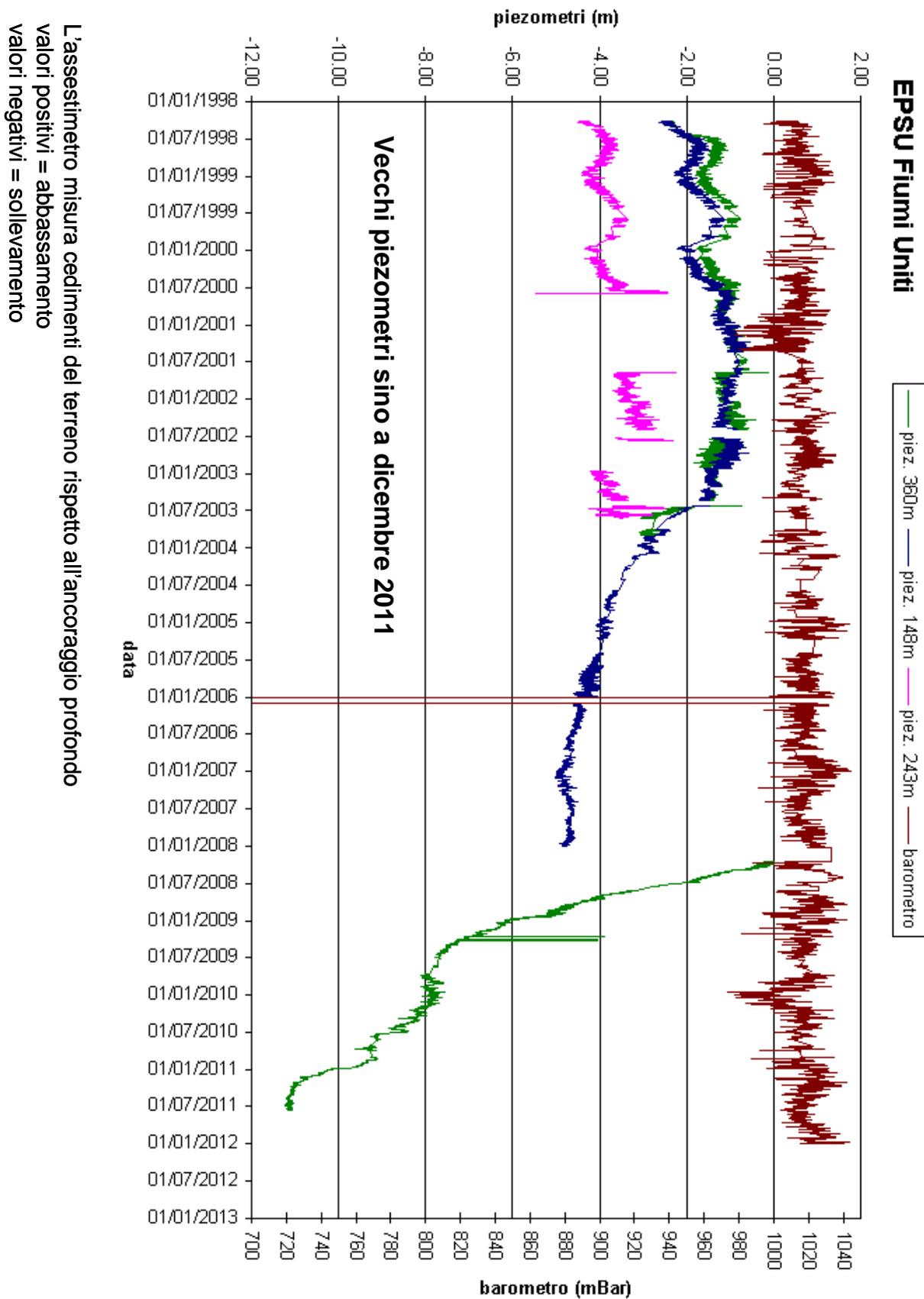
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre verticali piezometriche che, però, nel corso del tempo si sono guastate. Per un lungo periodo di tempo, quindi, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezometro più profondo, ritenuto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



Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici.

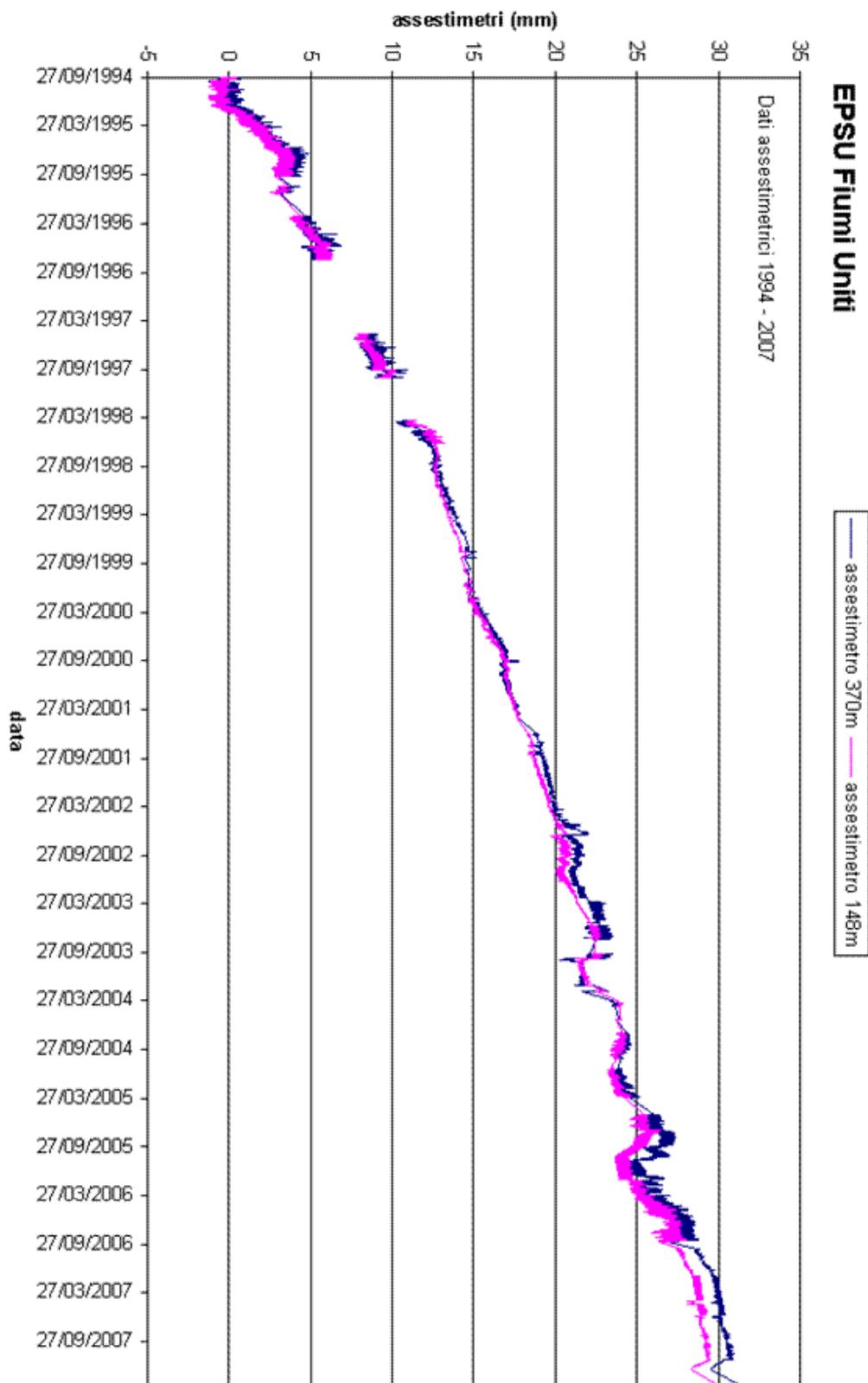
A dicembre 2016 si sono fatti gli ultimi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.

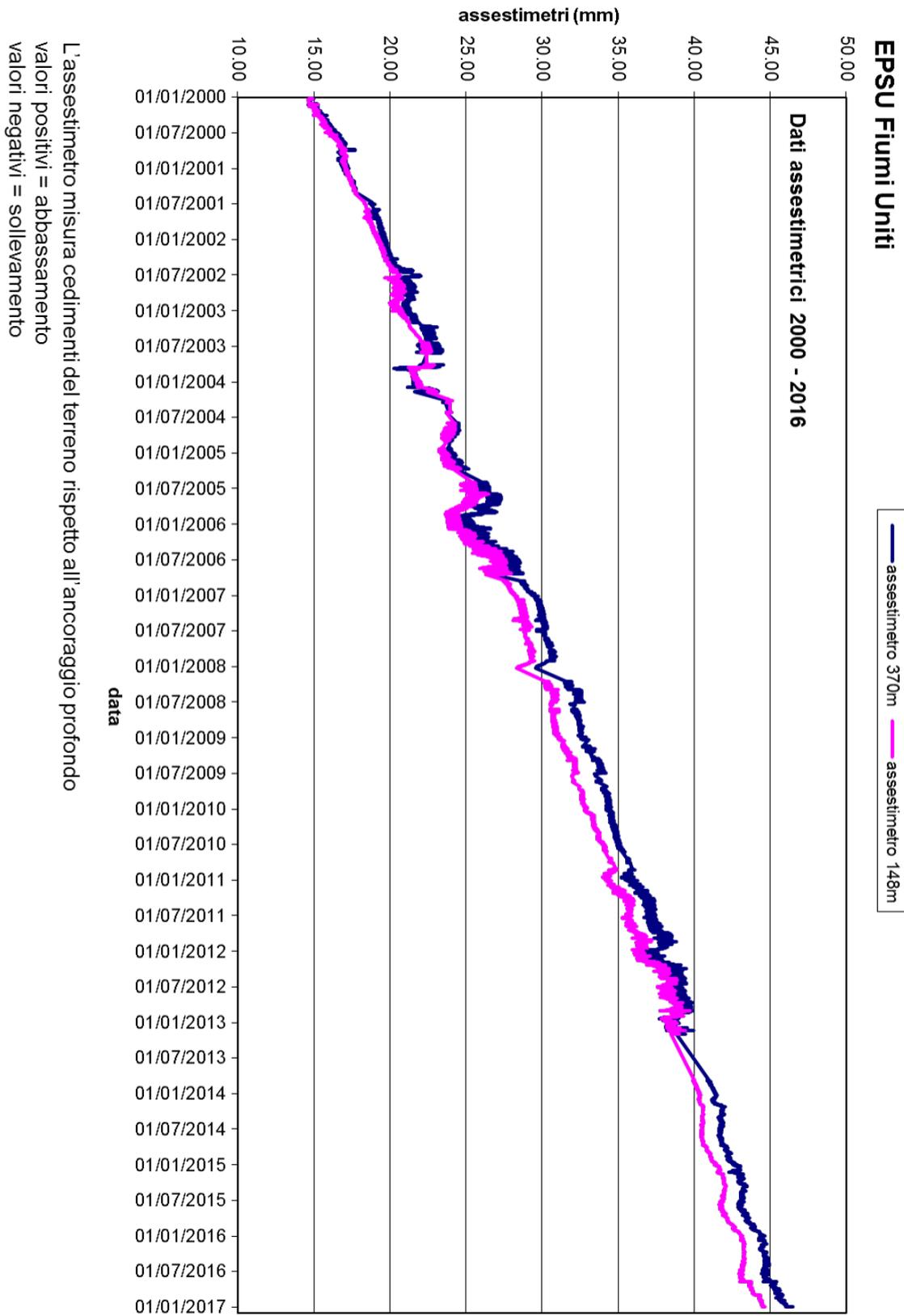


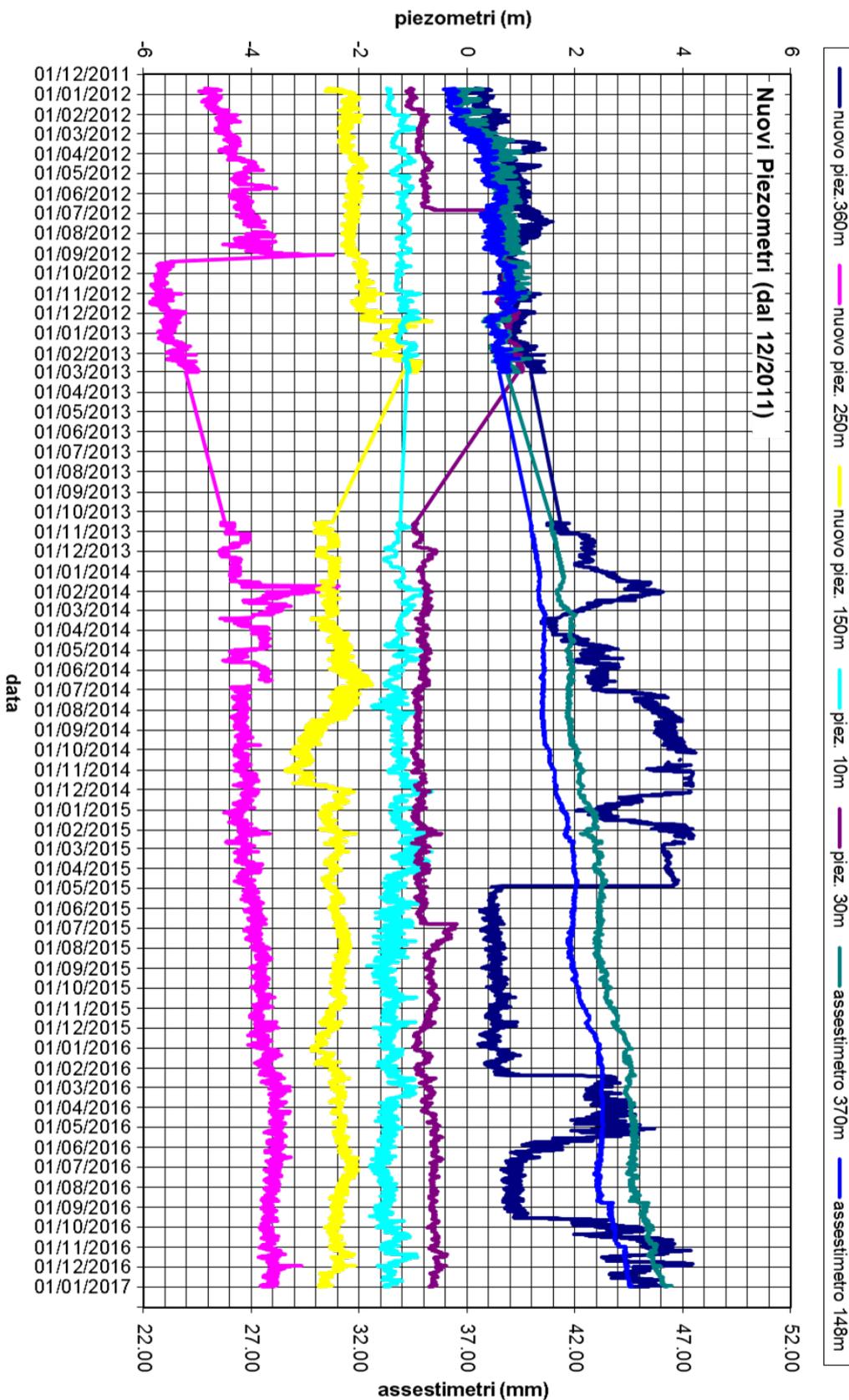


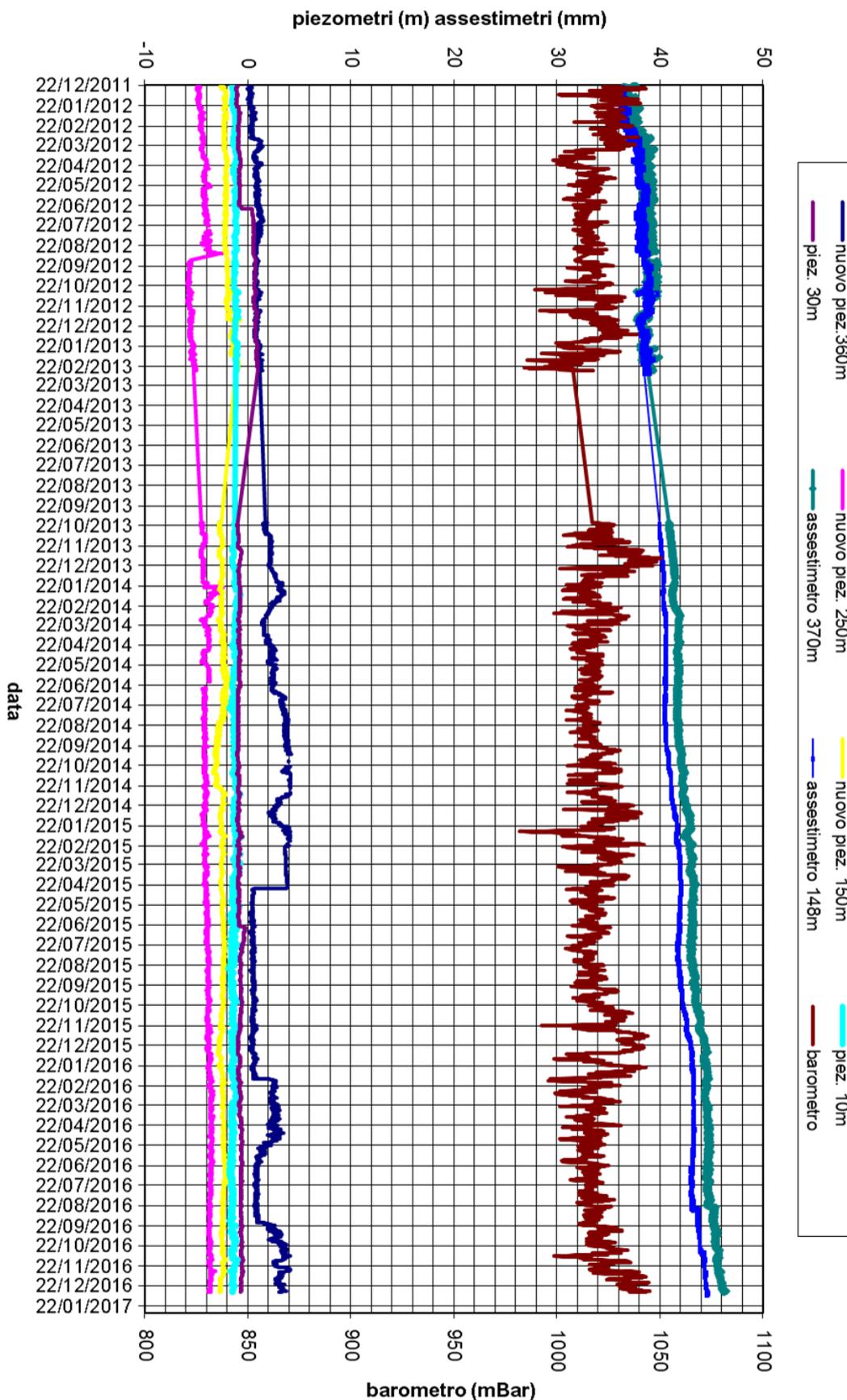


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento



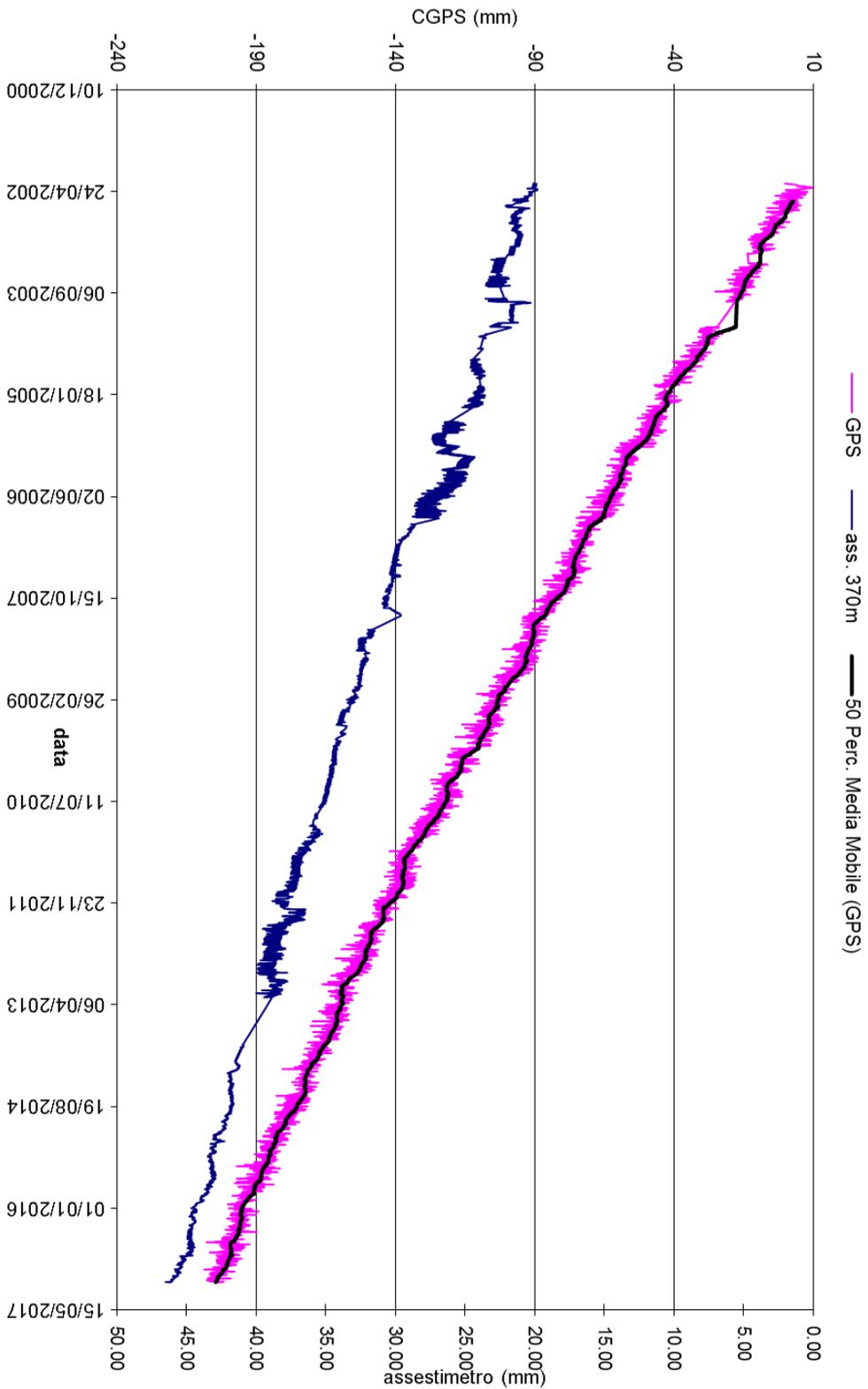








FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assestimetro profondo



Nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva GPS 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 GPS (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 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 assestometriche 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.

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 velocità che tende lievemente a diminuire. Negli ultimi 4 anni, infatti, si sono registrati per tutti gli assestimetri valori di detta velocità leggermente decrescenti (da 0,1 a 0,5 mm/a) rispetto al passato.

Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di circa 18,7 anni, durante i quali l'assestometro più profondo ha registrato una compactazione 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 19,0 mm (mediamente ca. 1,0 mm/a).

Un analogo trend nelle misure si rileva anche per l'assestometro più superficiale, che, però, ha registrato una compactazione totale nettamente più ridotta (6,1 mm complessivi, corrispondenti mediamente a circa 0,3 mm/a).

Buona è la correlazione tra la curva assestometrica e quella del CGPS.

Spinaroni

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 19,1 anni di osservazioni durante i quali si è registrata una compactazione di 48,8 mm (mediamente 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.

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 che non nelle due stazioni sopracitate.

Il valore attuale – dicembre 2016 - della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 46,2 mm, mentre per quello superficiale detto valore è di ca. 44,6 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 22,3 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione praticamente simili e dell'ordine di circa 2 mm/a.

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

Nella seguente tabella sia la compattazione complessiva del terreno, sia la relativa velocità media annua sono state valutate sulla base della misura assestimetrica ottenuta al 31/12/2016 e degli anni complessivi 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.

Stazione	Anni d'osservazione	Assestometro profondo		Assestometro superficiale	
		Compattazione complessiva (mm)	Velocità (mm/a)	Compattazione complessiva (mm)	Velocità (mm/a)
Smarlacca	18,7	19,0	1,0	6,1	0,3
Spinaroni	19,1	48,8	2,6	-	-
Fiumi Uniti	22,3	46,3	2,1	44,6	2,0