

Campo di PORTO CORSINI MARE

Aggiornamento al 31/12/15

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)	14/09/15 Presentata, in data 30 settembre 2013, istanza di proroga	Eni	Eni	100%	Emilia- Romagna
P.to Corsini ma- re (PCMS-2)	26/05/16 Presentata, in data 25 giugno 2014, istanza di proroga	Eni	Eni	100%	

I livelli mineralizzati, scoperti nel 1997 dal pozzo PCMS-1, presentano caratteristiche di eterogeneità e 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:

- 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 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.

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 kSm³/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 MSm³, GOIP revisione studio statico del marzo 2007 pari a 600 MSm³*). 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 MSm³ in 16 anni (Figura 3) per effetto di una graduale chiusura dei pozzi causata all'alta percentuale d'acqua prodotta.

Nel febbraio 2012 è stato fatto un nuovo aggiornamento del 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 mostra un incremento del 21% delle riserve valutate, pari a 515 MSm³ al 2016, pur restando il GOIP del campo invariato rispetto al modello 2007 (600 MSm³). La percentuale di gas prodotto al 12/2015 rispetto alle riserve previste da modello è pari al 94% (Figura 3).

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas, d'acqua e della produzione cumulativa di gas al 31/12/2015 (485 MSm³); tale valore è rimasto invariato essendo stati

chiusi entrambi i pozzi (PCMS 1 e PCMS2) rispettivamente al 24 giugno 2013 e al 31 marzo 2014.

Nella Figura 5 sono confrontati i profili di pressione calcolati con i modelli Eclipse 2012 con le pressioni statiche misurate nei due pozzi. Le pressioni calcolate sono in buon accordo con quelle misurate.

L'aggiornamento del modello dinamico di giacimento ha comportato 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 realizzato 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].

Lo 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 (Figura 6). Nel corso del 2016 si aggiorneranno il modello dinamico di giacimento e, a seguire, quello geomeccanico.

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 dei Fenomeni di Subsidenza nell'Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas"* emesse dal Dip. DMMMSA dell'Università di Padova nel 2007.

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.

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

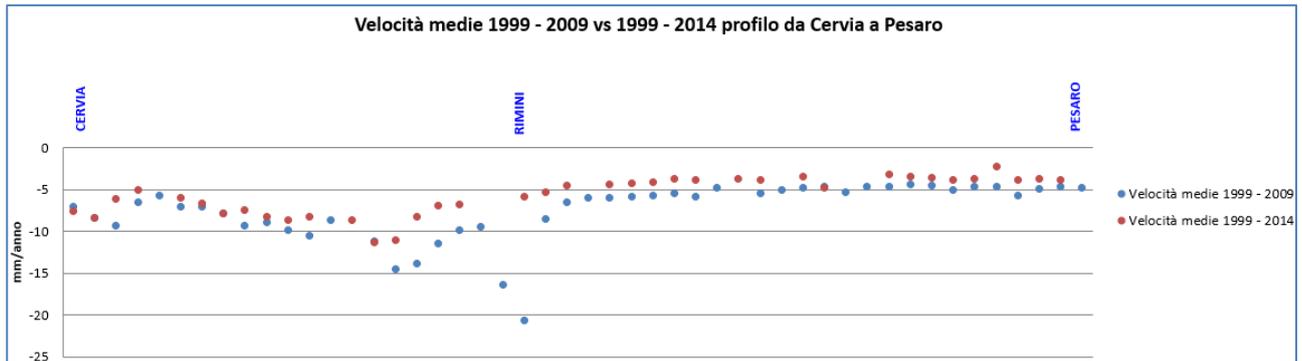
Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2014, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, successivamente a partire dal 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, che



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 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).

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

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) hanno valori di V_a di poco superiori a 10 mm/a (11,3 mm/anno come valore massimo).

Le campagne future 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 tra 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.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2015) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 7).

Le attività di monitoraggio sono state integrate negli ultimi anni con le misure di un numero crescente di stazioni CGPS installate nelle piattaforme offshore. Dal 2007, infatti, sono state installate stazioni CGPS sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), Anemone B (agosto 2007), Annalisa (ottobre 2007), Calipso, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007); Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), Clara W (ottobre 2010) Guendalina (agosto 2011); le stazioni CGPS di Naide e PCC risultano, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. Nel 2014, sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra, Fauzia e Barbara E, e infine, nel 2015, è stata installata la stazione Bonaccia-NW. Le serie storiche delle stazioni installate nel 2014 e 2015, sono ovviamente 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 (Satelli-

te 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 2); 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.

Analogamente a quanto avviene per la livellazione, anche i dati del monitoraggio CGPS sono di validati da un ente esterno. Attualmente quest'attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, facoltà di Fisica.

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 31/12/2015 (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 in 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 può essere considerata sufficientemente attendibile 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 -3,9 mm/a (Figura 8 e Figura 9), sostanzialmente in linea con il valore riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-4,0 mm/a al 2013).

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.

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.

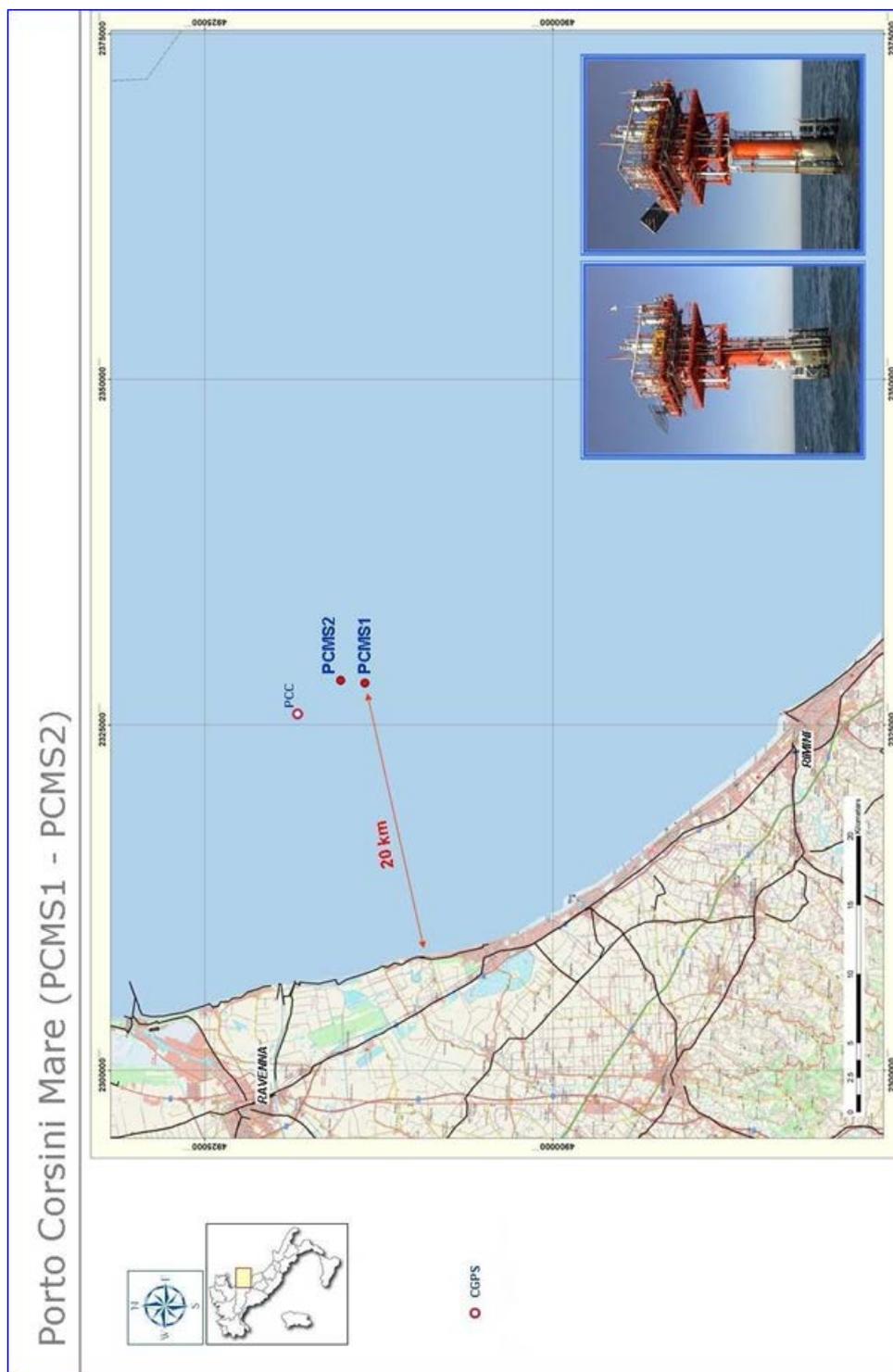
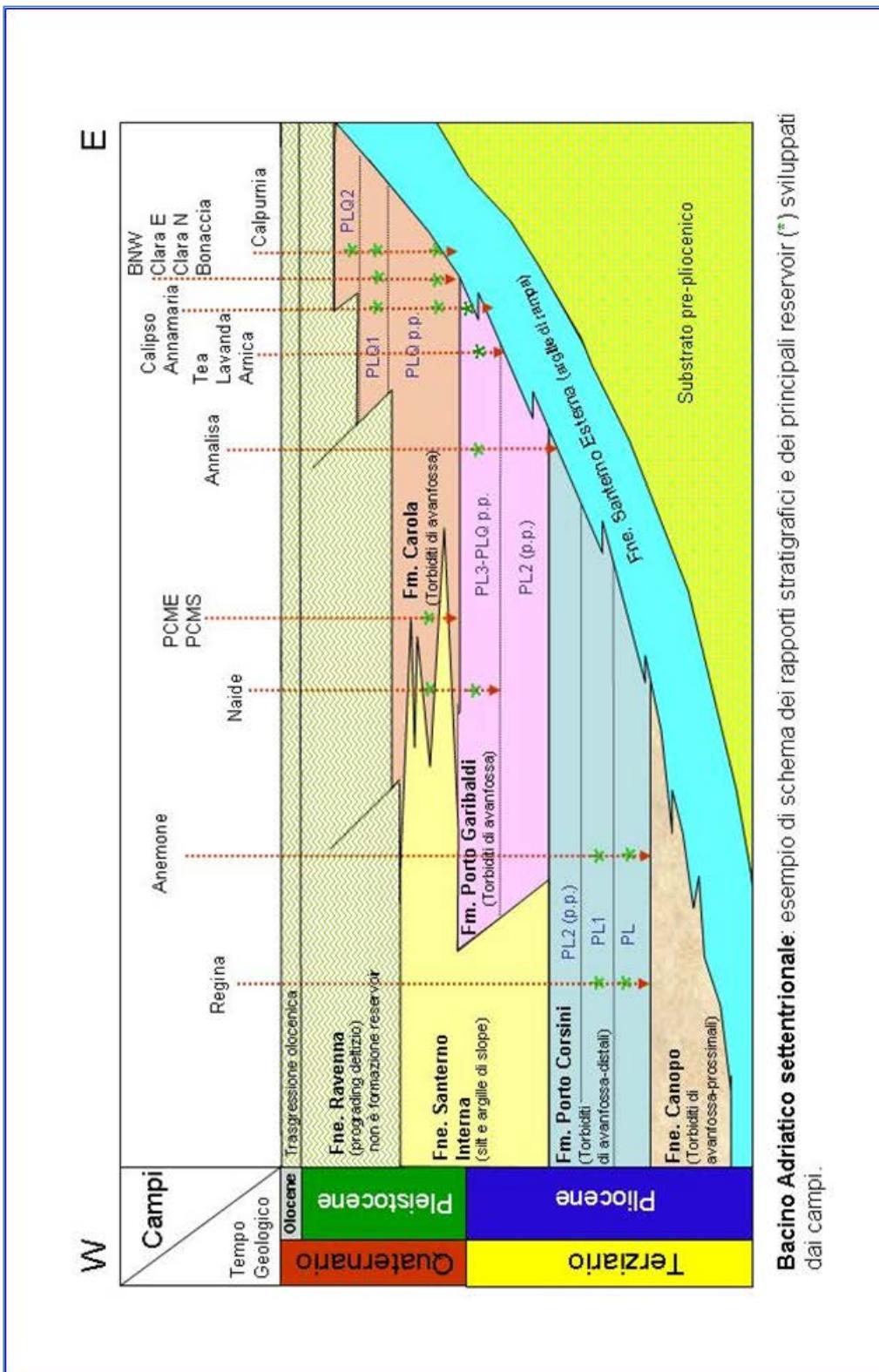


Figura 1 - Ubicazione del Campo di PCM

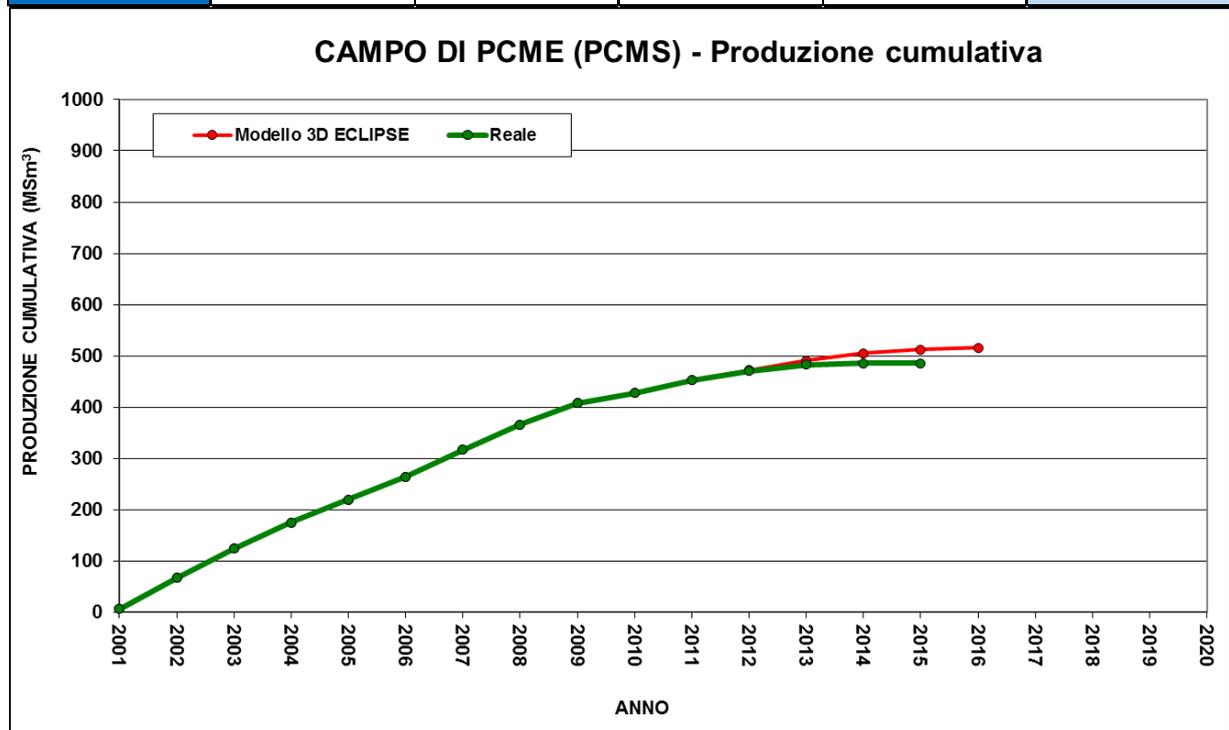


Bacino Adriatico settentrionale: esempio di schema dei rapporti stratigrafici e dei principali reservoir (*) sviluppati dai campi.

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	13%
2003	58	58	124	124	24%
2004	51	51	175	175	34%
2005	44	44	220	220	43%
2006	45	45	264	264	51%
2007	53	53	317	317	62%
2008	49	49	366	366	71%
2009	41	41	407	407	79%
2010	20	20	427	427	83%
2011	25	25	452	452	88%
2012	18	20	471	472	91%
2013	12	18	482	490	94%
2014	3	15	485	505	94%
2015	0	7	485	512	94%
2016		3		515	
2017					
2018					
2019					
2020					



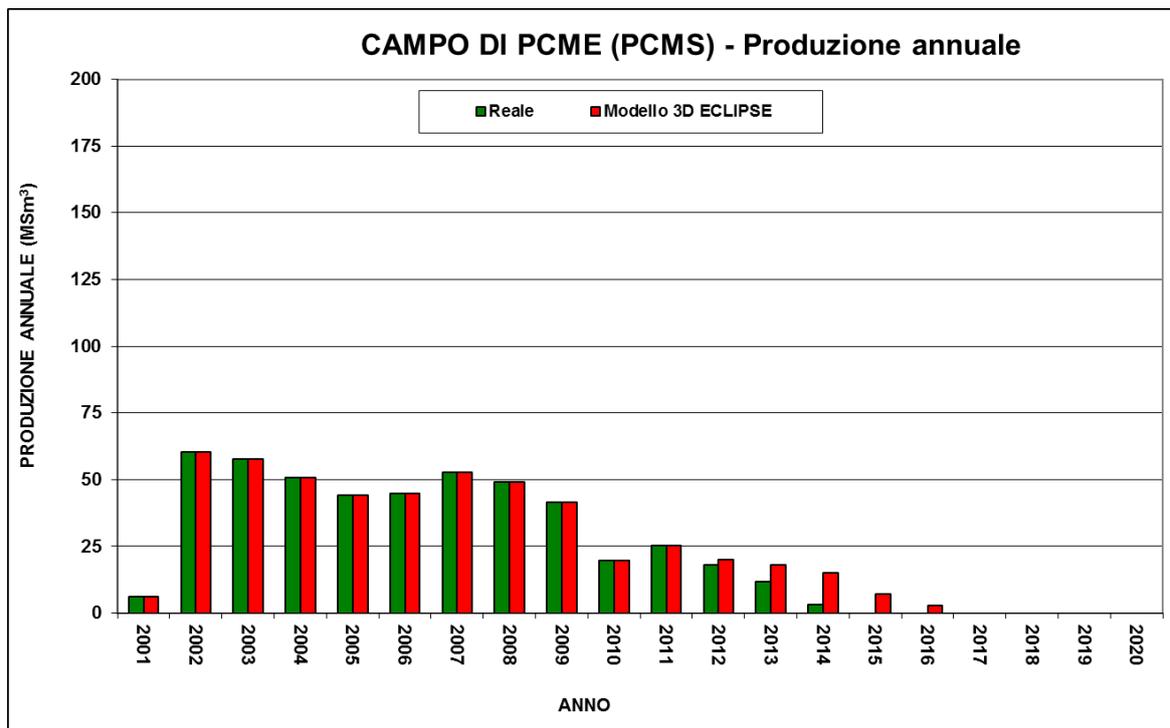


Figura 3 – Campo di Porto Corsini Mare: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse

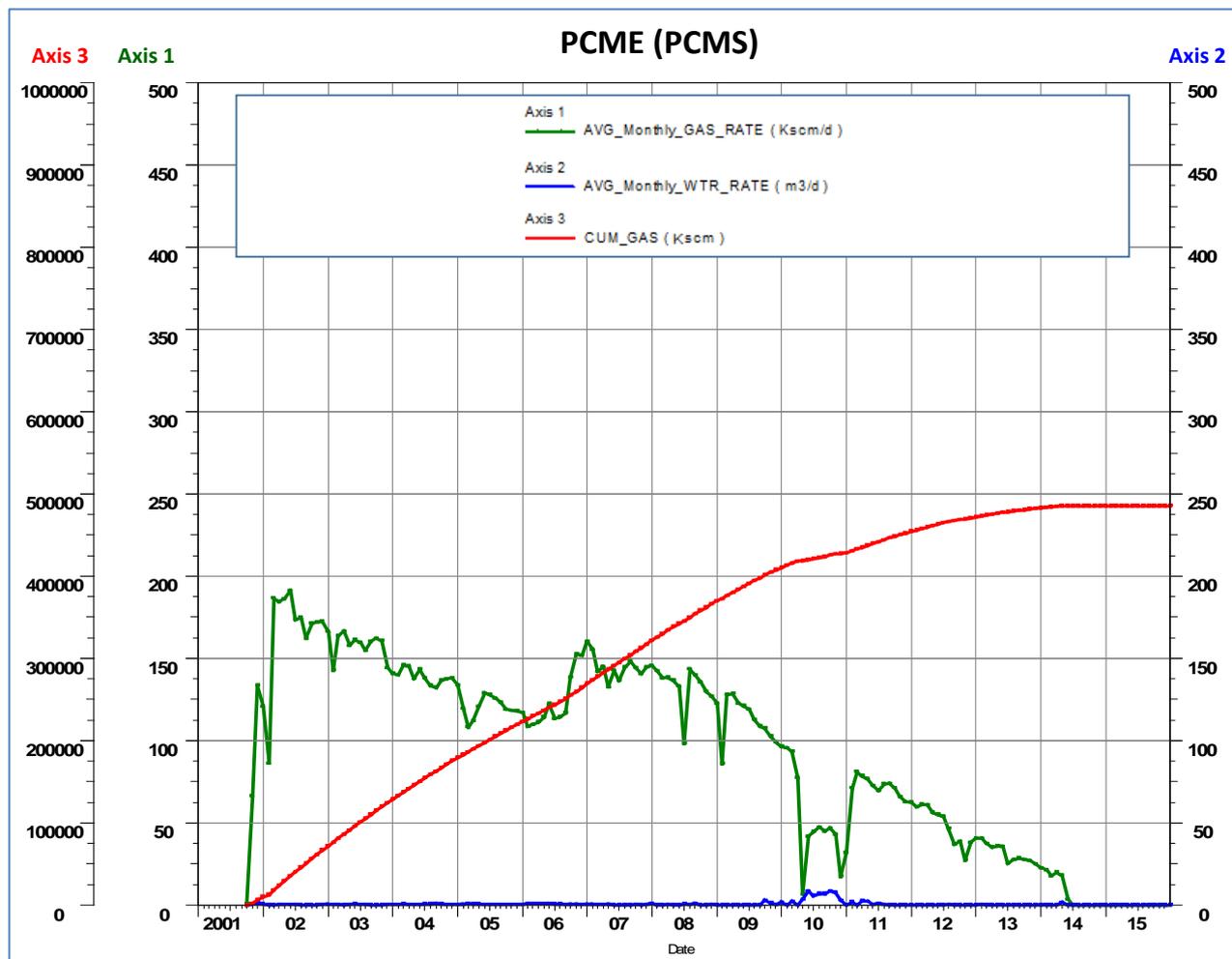


Figura 4 – Campo di Porto Corsini Mare: grafico della produzione storica



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

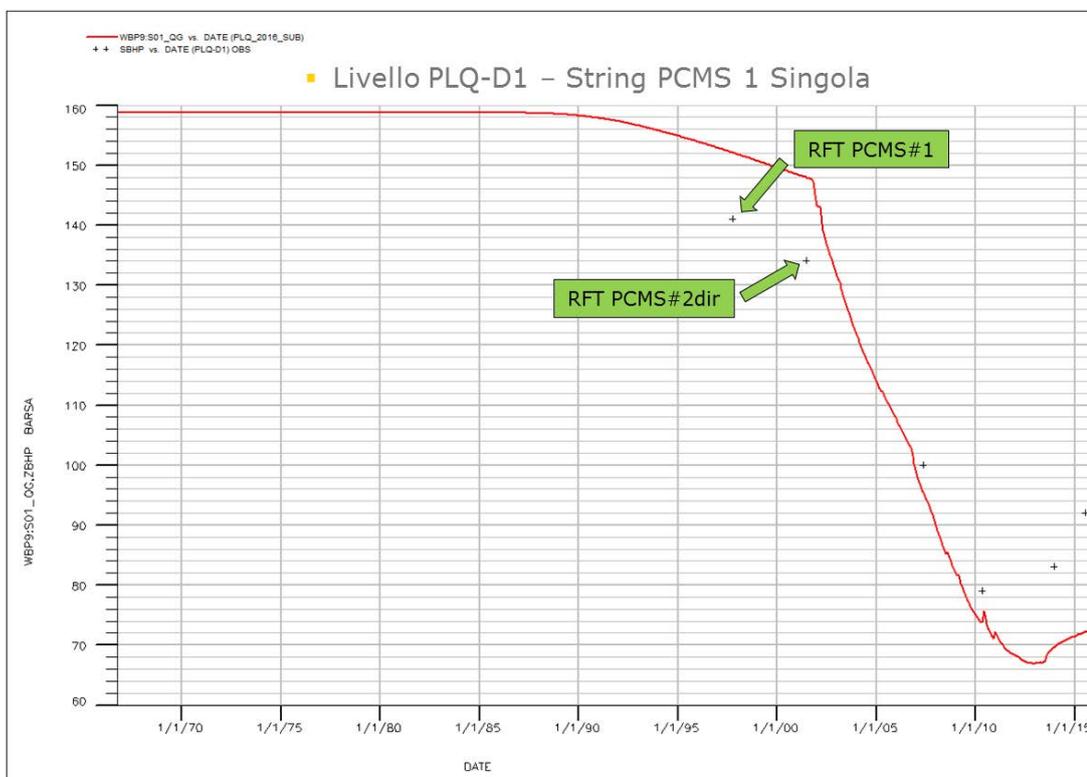


Figura 5 – Campo di Porto Corsini Mare: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (livello PLQ-D1)

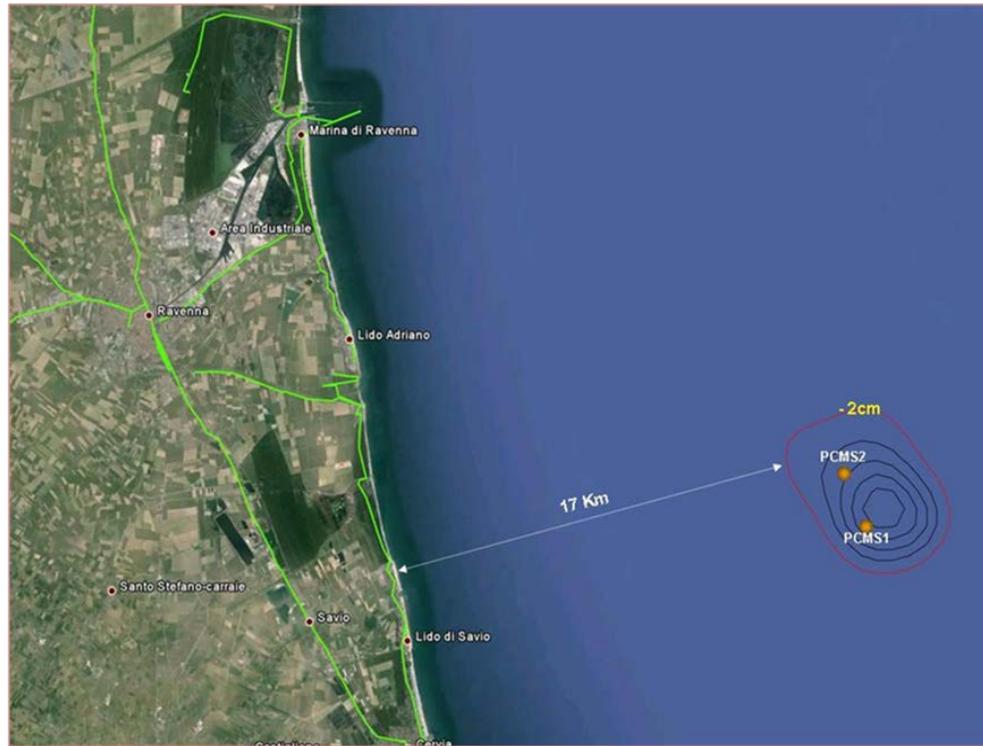


Figura 6 – Campo di Porto Corsini Mare: curve d’isosubsidenza per lo scenario al 2016

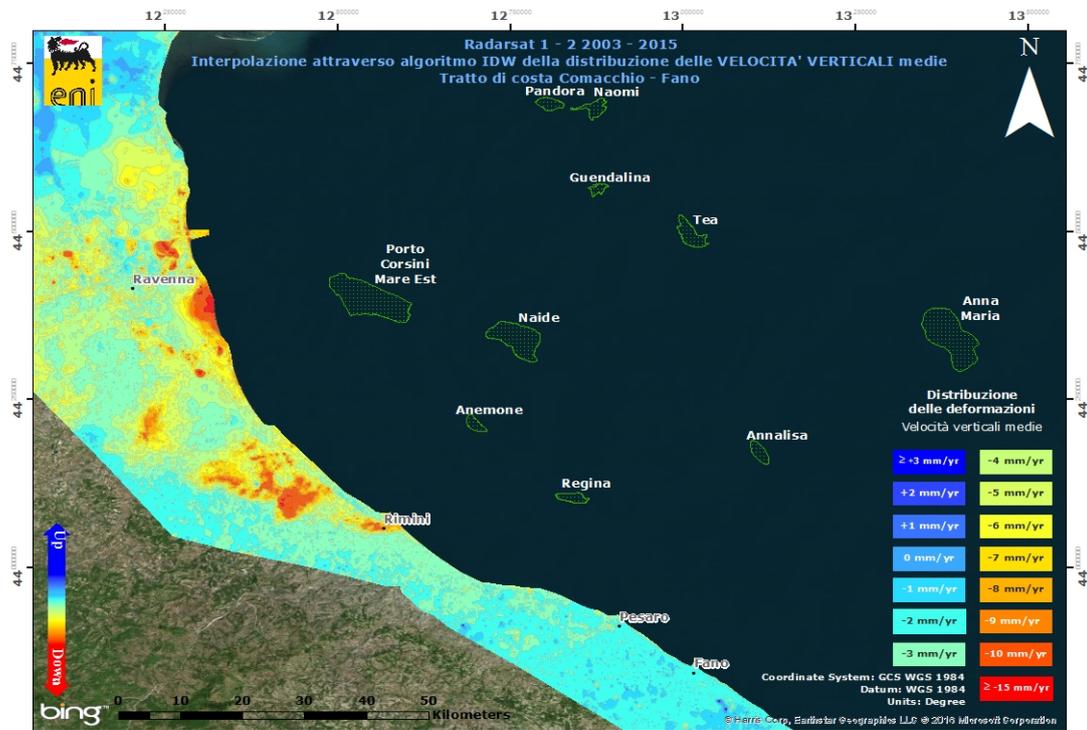
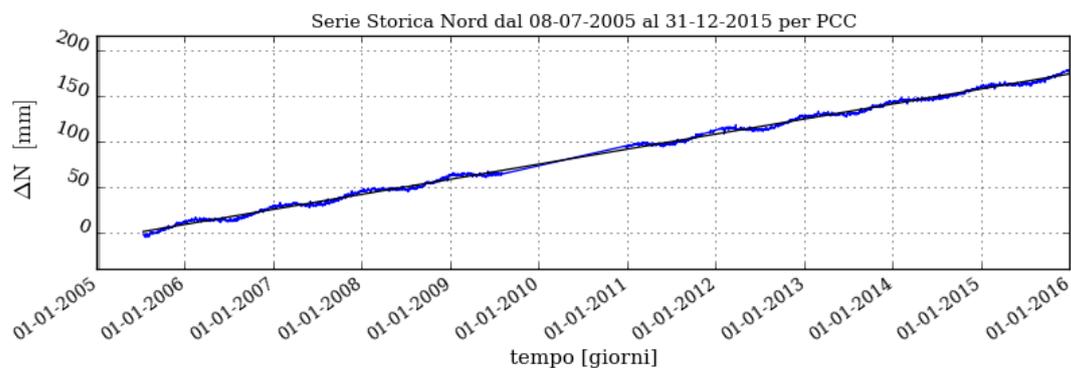


Figura 7 - Analisi dati SAR dal 2003 al 2015 - campo di Porto Corsini Mare

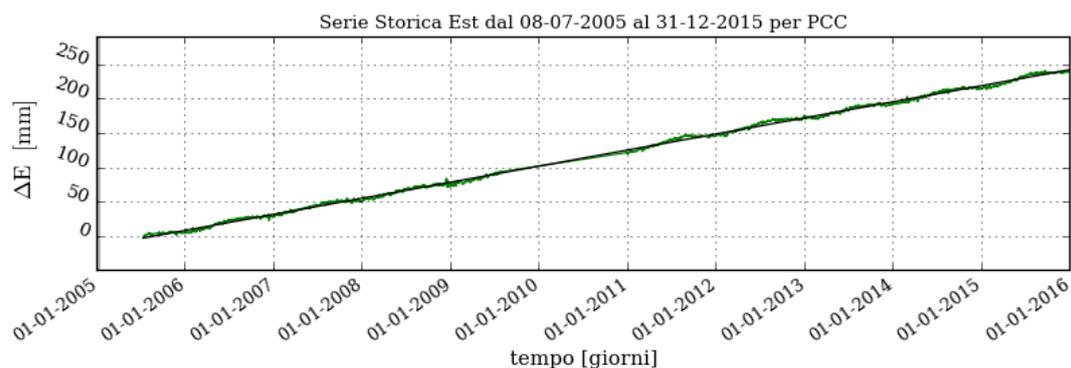


Serie storica spostamenti IGb08 RETE PCC



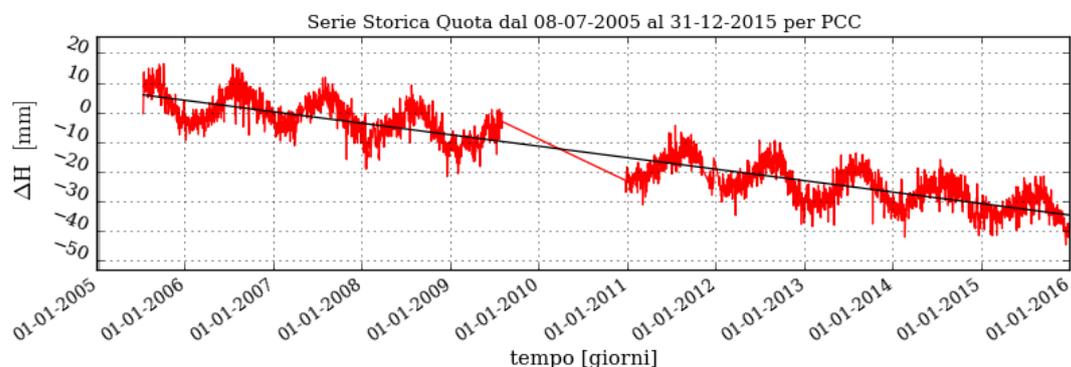
$Vel_n = 16.56 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_n = 2.53$ mm
 $\chi^2 / DOF = 39.82$

— Nord
— Regressione lineare



$Vel_e = 23.34 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_e = 2.6$ mm
 $\chi^2 / DOF = 65.8$

— Est
— Regressione lineare



$Vel_h = -3.88 \pm 0.03$ mm/y
 $WRMS_h = 5.11$ mm
 $\chi^2 / DOF = 13.7$

— 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.2015	Max Subsidenza prevista - scenario di riferimento	Ultimo aggiornamento studio	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2015	TREND rispetto a dic. 2014	mesi di registrazione
ANEMONE	1978	2018	99%	-39cm al 2048	2015	giu-07	-4,9	invariato	102
ANNALISA	2000	2023	89%	-10cm al 2027	2014	ott-07	-4,7	invariato	99
ANNAMARIA B	2009	2039	61%	-51cm al 2040	2013	gen-10	-100,3	aumento	72
BARBARA-NW	1999	2029	73%	-76cm al 2024	2013	gen-08	-29,8	aumento	96
BONACCIA	1999	2036	61%	-423cm al 2033	2014	dic-07	-79,3	diminuzione	97
BONACCIA NW	2015	2036	n.d.	-423cm al 2033		set-15	n.d.	n.d.	3
CALIPSO	2002	2020	97%	-33cm al 2021	2013	nov-07	-16,2	diminuzione	98
CALPURNIA	2000	2017	100%	-54cm al 2021	2013	giu-07	-3,1	diminuzione	102
CLARA EST	2000	2030	42%	-56cm al 2026	2013	nov-07	-13,5	invariato	98
CLARA NORD	2000	2020	82%	-68cm al 2021	2013	nov-07	-24	aumento	98
ELETTRA	2014	2026	37%	-18cm al 2065	2013	lug-14	-23,25	n.d.	17
FAUZIA	2014	2024	37%	-11cm al 2060	2013	set-14	-9	n.d.	15
GUENDALINA	2011	2023	69%	-3cm al 2023	2014	ago-11	-6,4	invariato	52
NAIDE	2005	2022	84%	-8cm al 2023	2013	giu-05	-3,6	diminuzione	126
NAOMI-PANDORA	2001	2037	37%	-3cm al 2068	2013	giu-02	-1,5	invariato	162
PCME (PMS)	2001	2016	94%	-6,8cm al 2017	2012	lug-05	-3,9	invariato	125
REGINA	1997	2023	91%	-139cm al 2044	2013	giu-07	-26,9	invariato	102
TEA-LAVANDA-ARNICA	2007	2018	98%	-5cm al 2018	2015	nov-07	-4,7	diminuzione	98

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

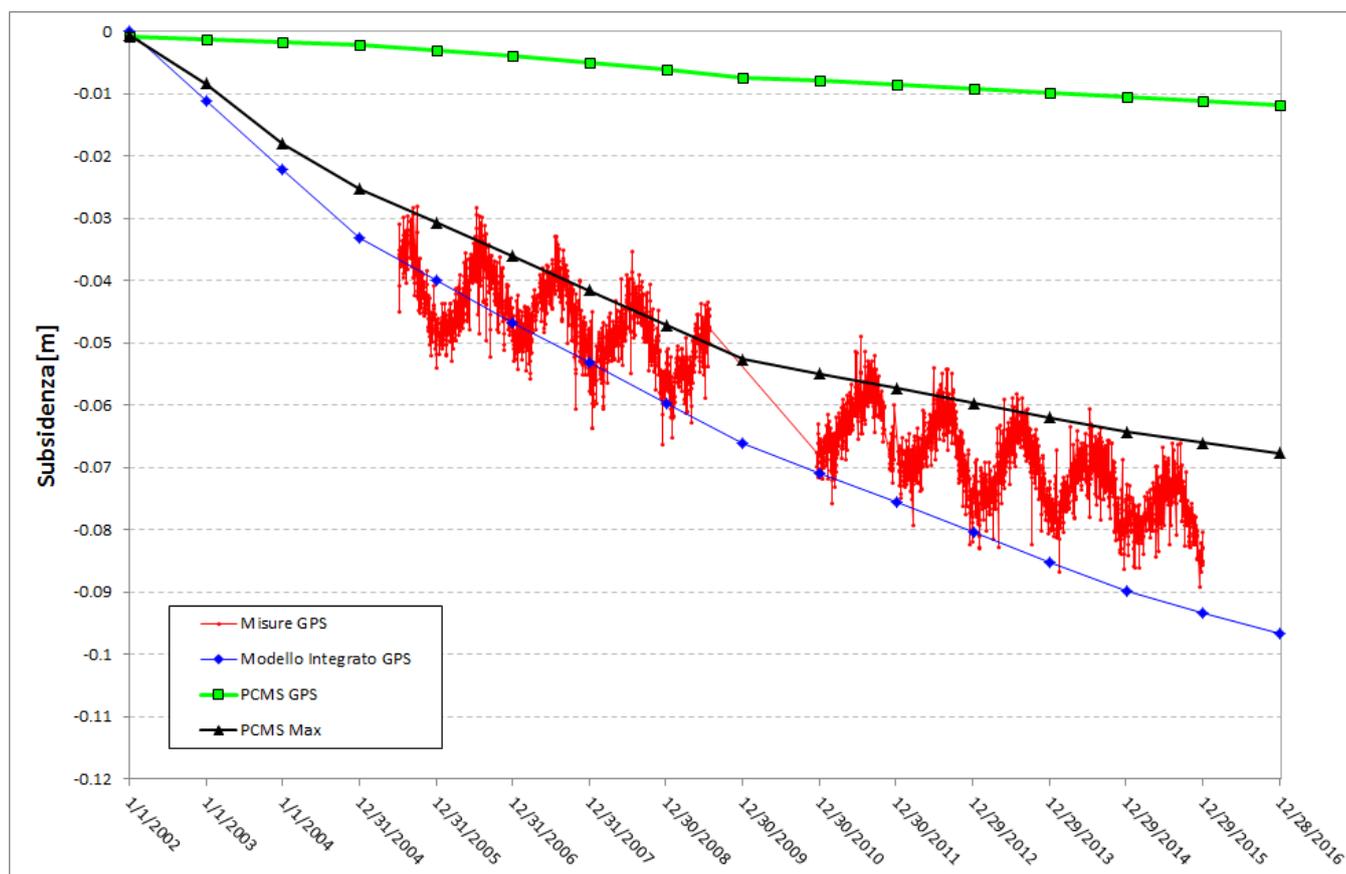


Figura 10 – Campo di Porto Corsini Mare: GPS (agg. 31 dic. 2015) vs. modello di subsidenza (in corrispondenza della p.ma)



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		
UTOLOGIA	sabbie fini	SIA	
FORMAZIONE RESERVOIR	Carola	ULTIMO AGGIORNAMENTO	
ZONA MINERARIA	PLQ	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"
PROFONDITA' RESERVOIR	1400 (TVDSS)	RISERVE (MSm3)	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "febbraio 2012"
TIPO DI PIATTAFORMA	Monotubolare	MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi legg. deformate	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	4,5 (dopo 10 anni)
		MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	2,5 (dopo 10 anni)
			2,8 km al 2016 (distanza minima dalla costa 17 Km al 2016)
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI			
CONCESSIONE	PCMS1 PCMS2	D.M @mag01	@ 31 dic.2015
DATA SCADENZA CONCESSIONI	A.C1.AG PORTO CORSINI MARE 14/09/2015 (PCMS1) 26/05/2016 (PCMS2)		
N. POZZI (MSm3)		1 + 1	1+1
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)		457	515
START UP PRODUZIONE	nov-01		
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2016	2016
GAS PRODOTTO (MSm3)			485
% RISERVE PRODOTTE			94%
		LIVELLAZIONI	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014. I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2011) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM. IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI
		MARKERS	NON PRESCRITTI
		CGPS	OPERATIVO DAL 2005
		SAR	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2015 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 2003-2015

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 componente verticale della velocità d'abbassamento 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.

L'analisi dei dati SAR non calibrati e acquisiti in un'area circolare (raggio di circa 150 m) intorno alla stazione CGPS di Smarlacca, ha consentito di stimare una velocità media d'abbassamento del suolo di -3,4 mm/a. Dato che la corrispondente velocità media ottenuta dalle misure del CGPS di Smarlacca è di -6,5 mm/a, si ha uno scostamento fra le due misure di -3,1 mm/a. Per tale motivo ai valori di velocità media della componente verticale, determinata con il monitoraggio SAR, stata applicata una correzione pari a -3,1 mm/a.

Si sono poi confrontati tali dati SAR con le misure dei CGPS di Manara, Smarlacca e Spinaroni considerando i punti SAR disponibili in un'area circolare (raggio pari a 200 m) intorno a tali stazioni. Il confronto ha mostrato differenze inferiori a 1 mm/a tra le misure CGPS e i dati SAR calibrati, confermando la bontà della calibrazione effettuata.

Analogamente a quanto effettuato anche negli anni precedenti, tutti gli altri data-set SAR (area di Rimini e area di Ancona, vedi Fig. 1A), acquisiti a sud di quello dell'area ravennate, sono stati calibrati confrontando tra loro le componenti verticali della velocità d'abbassamento del suolo nelle rispettive aree di sovrapposizione.

In una prima fase si sono confrontate le velocità dei punti in comune tra l'area di Ravenna (calibrata con il CGPS di Smarlacca) e quella di Rimini (non calibrata - Fig. 2A-a). Successivamente si sono calibrate le misure dell'area di Ancona (non calibrata) sulla base dei dati disponibili per le aree di Ravenna e Rimini (calibrate al passo precedente - Fig. 2A-b e 2A-c). In entrambi i casi le velocità medie verticali sono state corrette per un valore pari a circa -3 mm/a.

Per verificare la correttezza di tutto il processo, sono state poi confrontate le velocità medie calibrate dei punti SAR ricadenti in un raggio di 200 metri dalle postazioni CGPS di Fano e di Falconara (area di Ancona) con le velocità misurate dagli stessi CGPS, anche se queste ultime misure sono relative a periodi di tempo inferiori ai dati della serie storica SAR.

Poichè i valori medi di velocità misurati dai CGPS di Fano e Falconara sono entrambi inferiori al millimetro, la differenza riscontrata con le velocità calibrate dei punti SAR è stata inferiore a -2,5 mm/a, valore che, considerata anche la diversa scala temporale, ricade nel campo d'errore strumentale di entrambi i sistemi di misura.

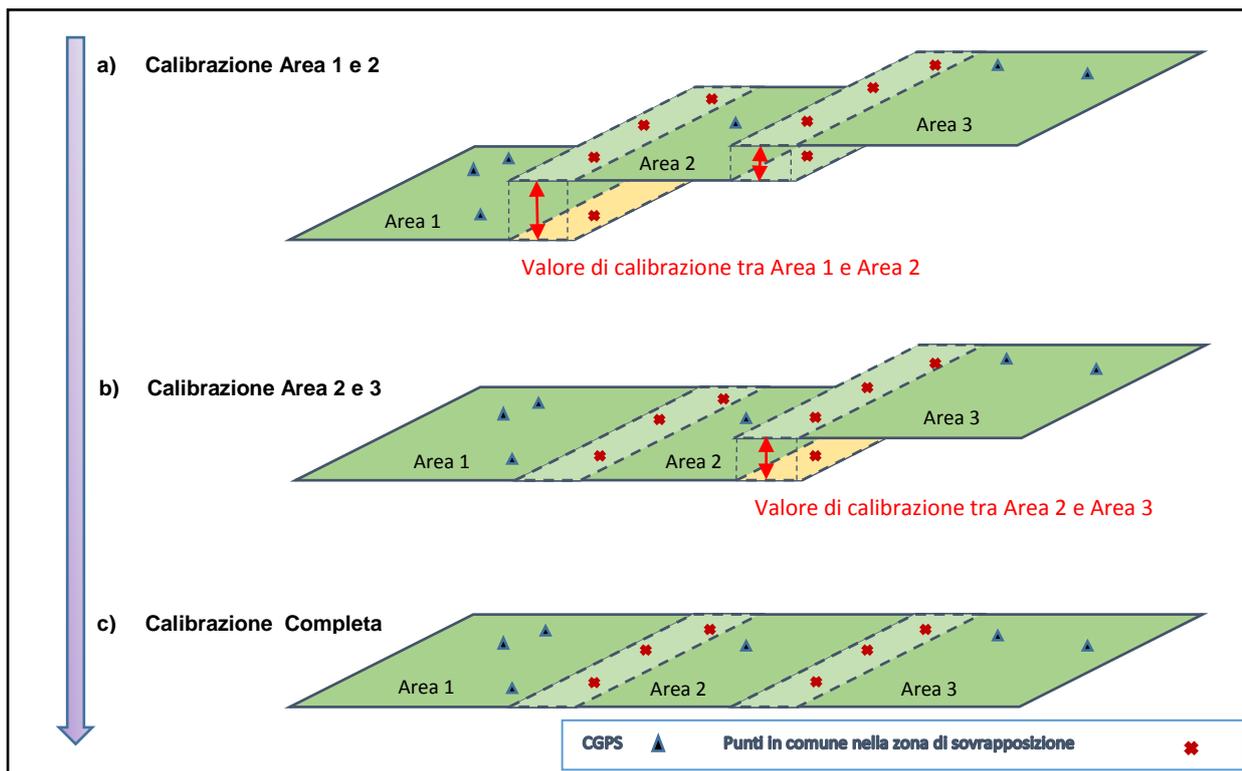


Fig. 2A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

In Fig. 3A e Fig. 4A si possono visualizzare i dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione, interpolati con un algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

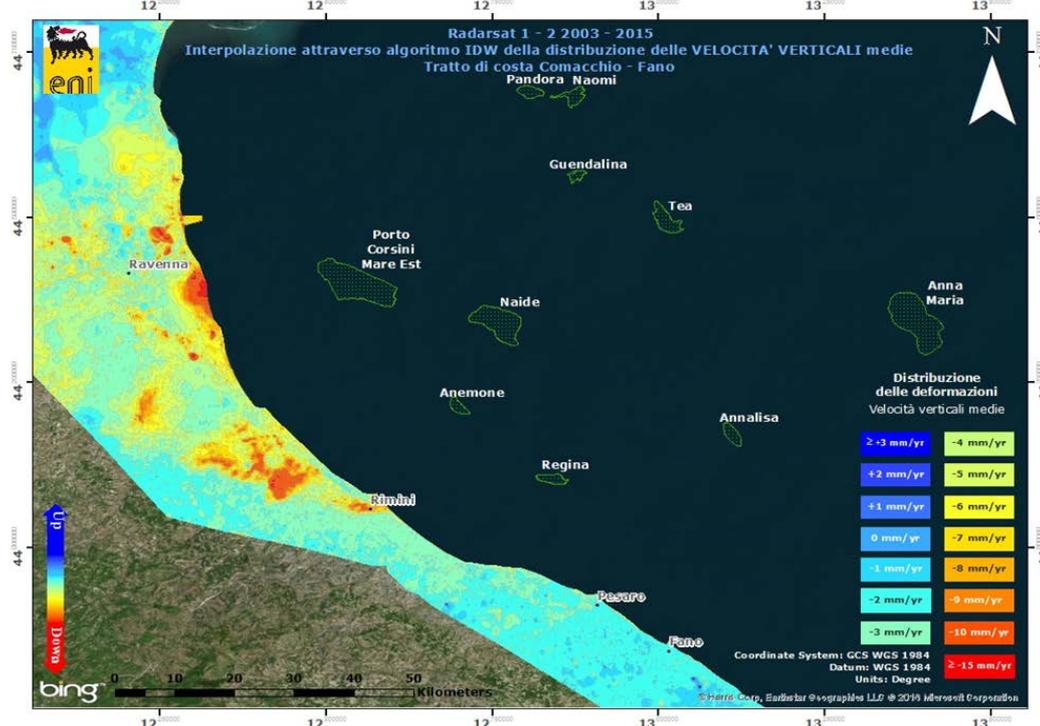


Fig. 3A – Mappa della distribuzione delle deformazioni (velocità verticali medie) dei dati Radarsat 1 – 2 (calibrati) per il tratto di costa da Comacchio a Fano: serie storica: 2003 – 2015

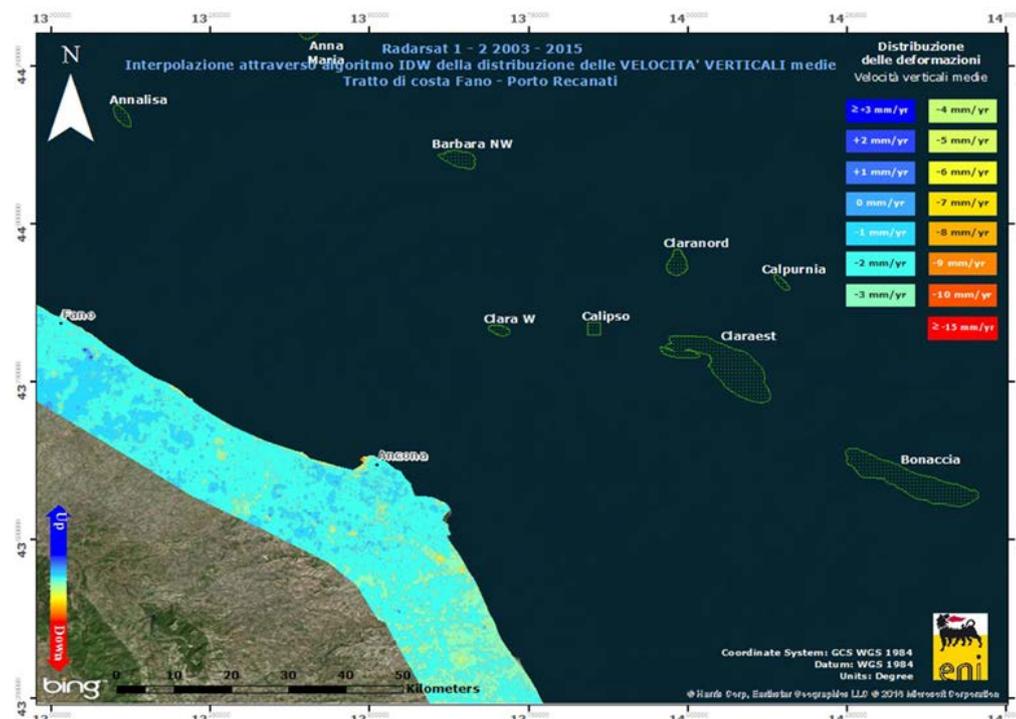


Fig. 4A – Mappa della distribuzione delle deformazioni (velocità verticali medie) dei dati Radarsat 1 – 2 (calibrati) per il tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015



Confronto dati SAR 2003 – 2014 vs 2003 – 2015

Per controllare il trend regionale delle aree in esame, si sono esaminate le differenze tra la mappa d'interpolazione dati derivati dal data-base 2003-2014 e quella d'interpolazione dati derivati dal data-base 2003-2015 (l'interpolazione dati è stata fatta con l'algoritmo IDW – Inverse Distance Weighted, in ambiente GIS).

Come mostrano le immagini di Fig. 6A e Fig. 7A non si notano sostanziali differenze fra i valori di velocità dei due data-set: gli scostamenti sono mediamente dell'ordine di circa -2 mm. L'unica zona per la quale si riscontrano valori anomali, dell'ordine di -10 mm, cade a nord della città di Ravenna nella zona adiacente al porto. Da un'attenta analisi si è, però, riscontrata 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.

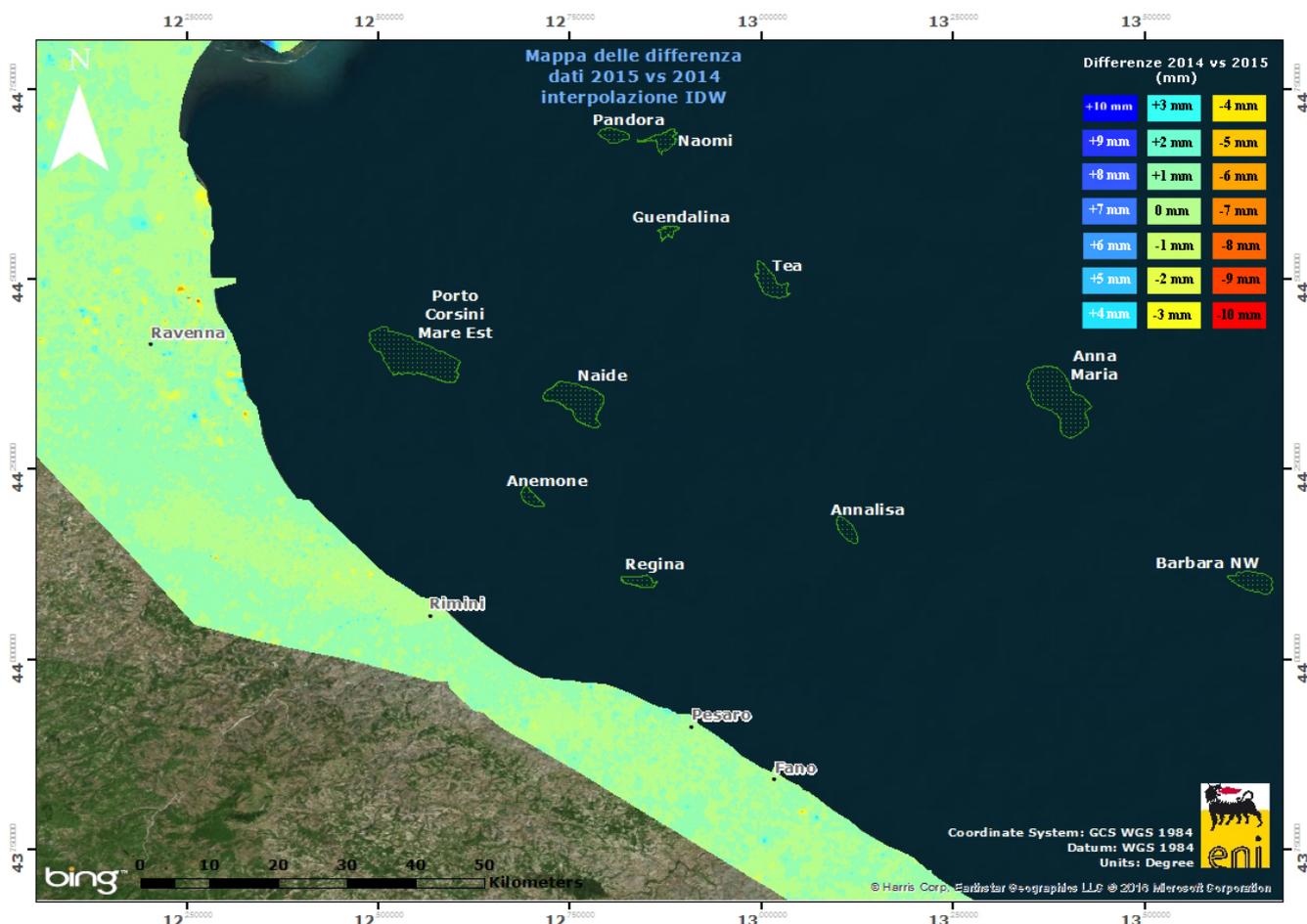


Fig. 6A – Mappa delle differenze prodotta tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.
Tratto di costa da Comacchio a Fano

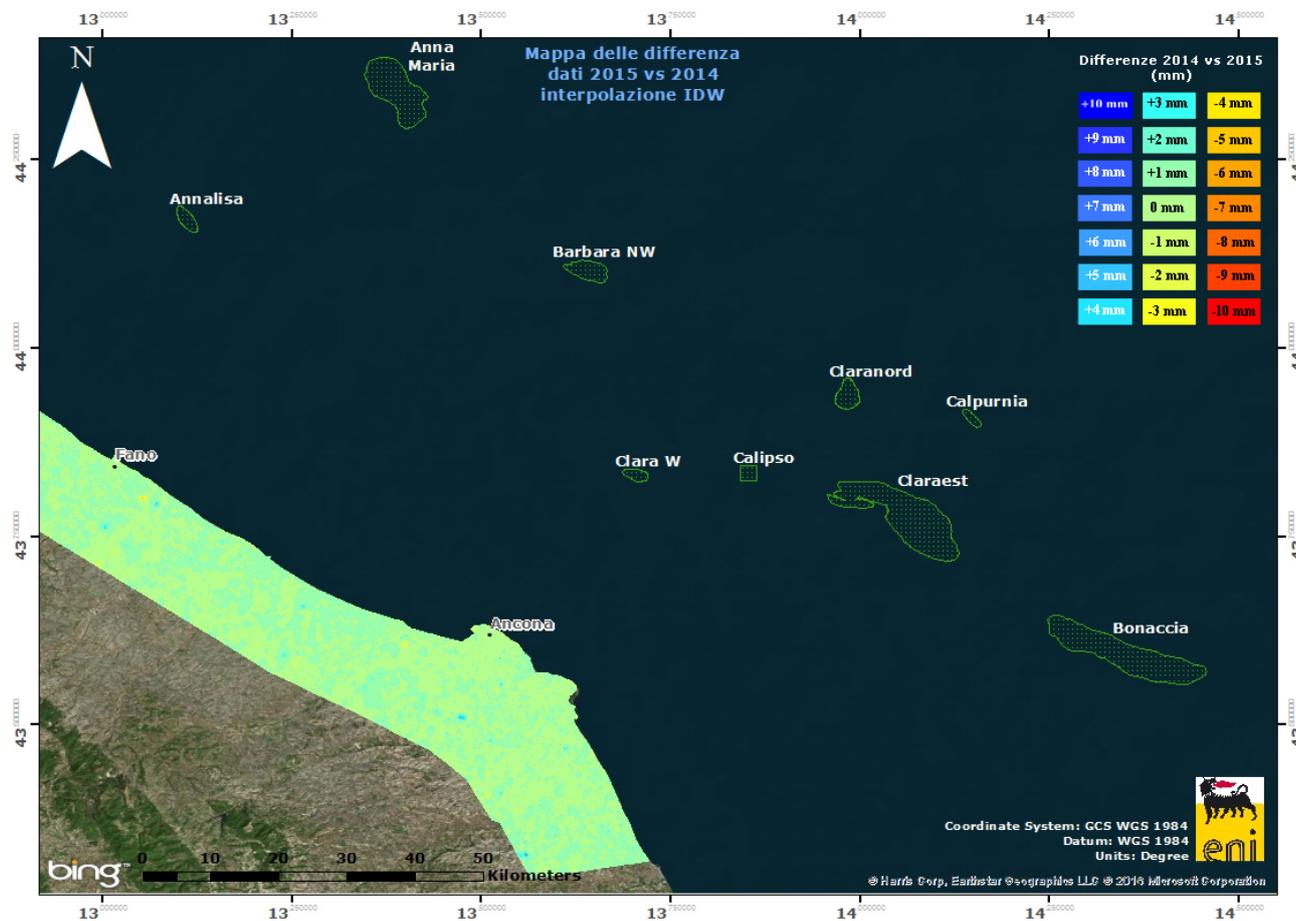


Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.
Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

Appendice 2: stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - aggiornamento dicembre 2015

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.

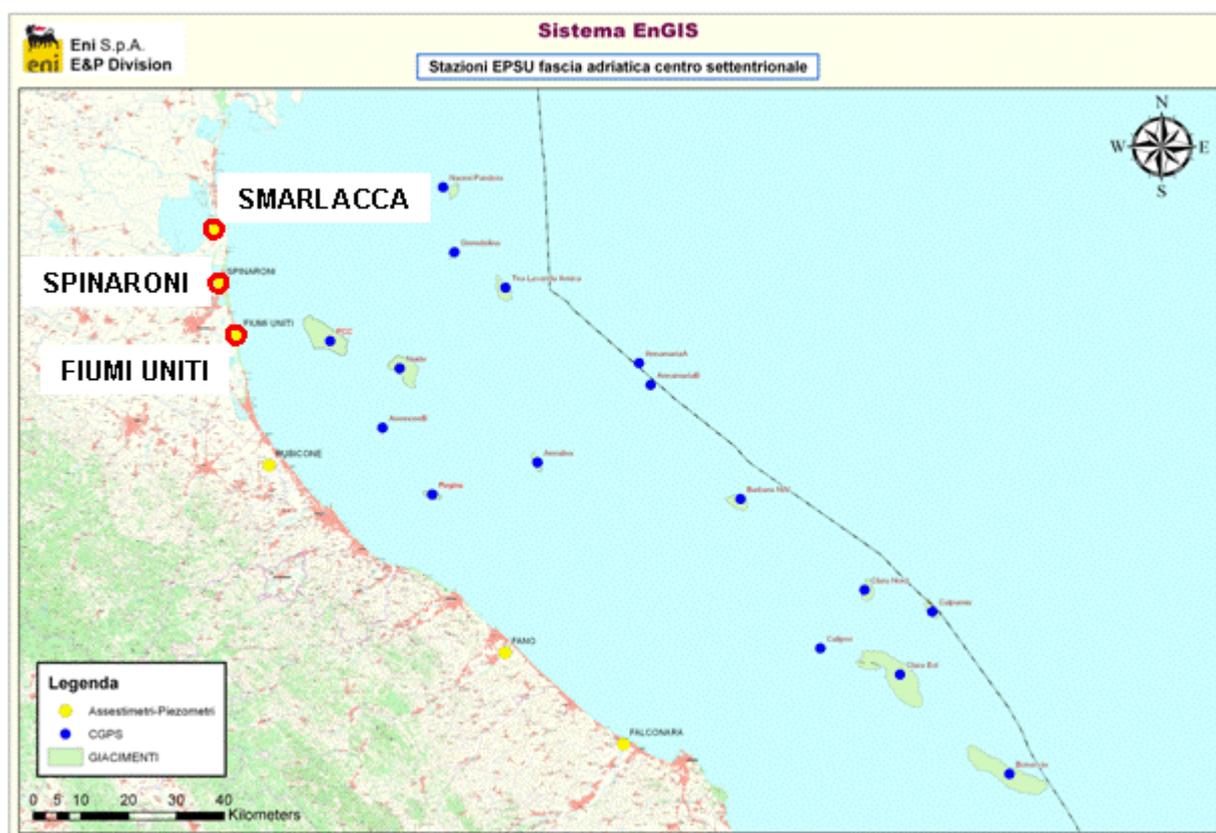


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

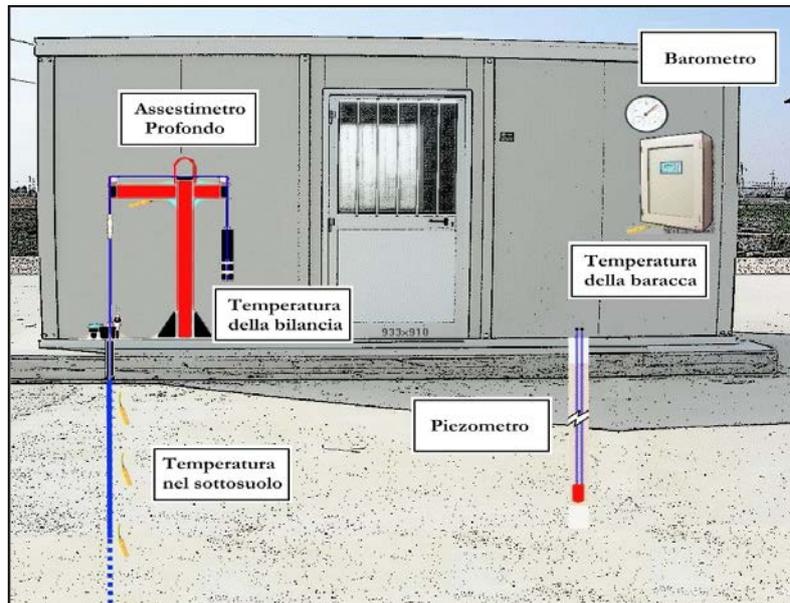


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



Più in dettaglio, in ciascuna delle 3 stazioni EPSU sono 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

 <p>eni spa exploration & production division</p>	<p>Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2016</p>	<p>Page - 30 - of 54</p>
---	--	--------------------------

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 tra il 15 luglio 1997 e il 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.

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.

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 (p.c.); 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 sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. 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’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 (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 metri la cui misura si interrompe da marzo 2013.

Le misure registrate da 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 1,1 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 -6,5 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 siano 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 GPS. 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 quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

Analisi dei dati piezometrici

Nel grafico del piezometro l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

I dati piezometrici sono stati depurati dalla variazione barometrica dato che si è utilizzato un trasduttore assoluto per ragioni di maggiore affidabilità. La correzione è stata fatta misurando contemporaneamente quota piezometrica e pressione barometrica.

Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza.

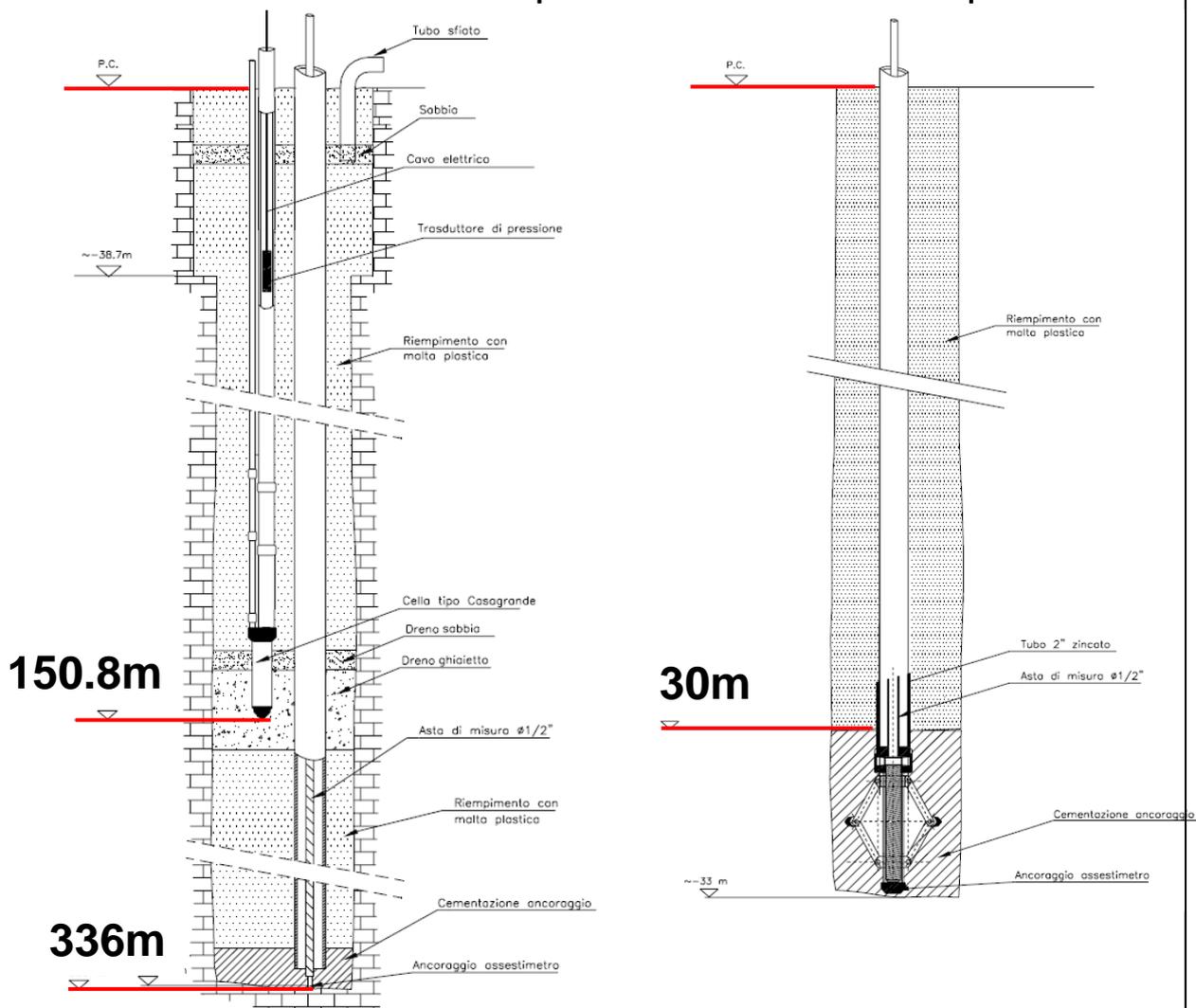


SMARLACCA

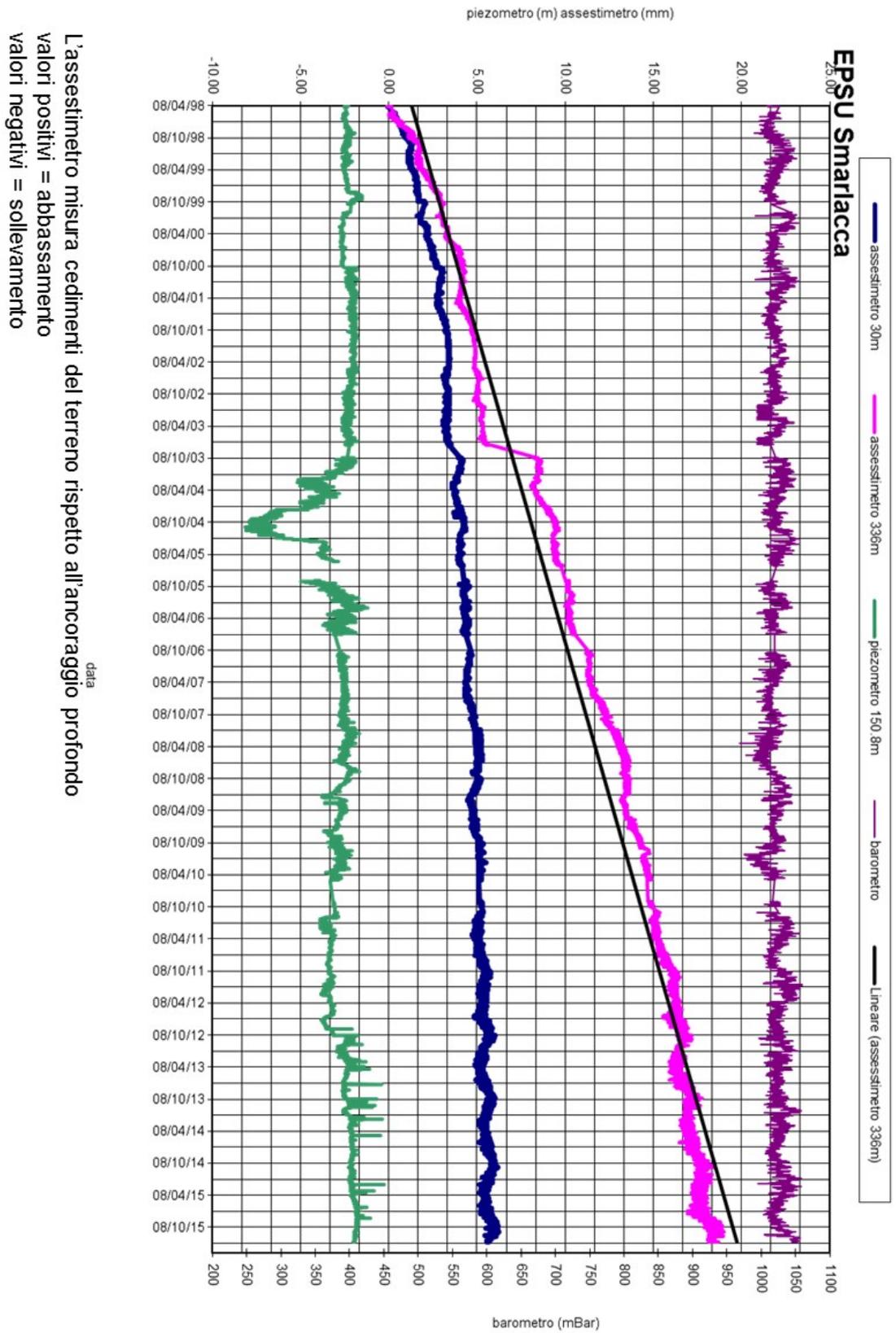
Piezometro

Assestimetro profondo

Assestimetro superficiale

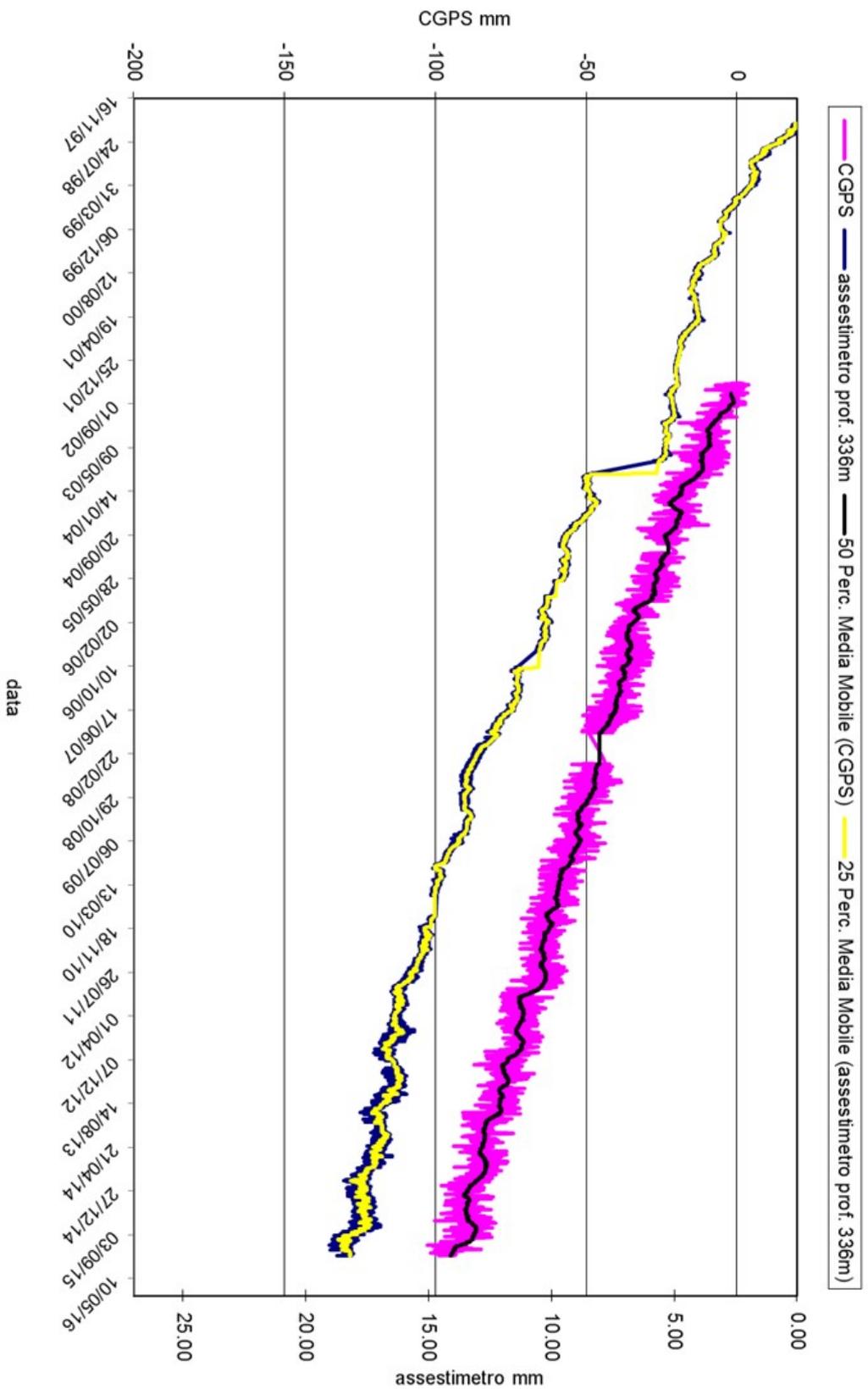


non in scala





SMARLACCA - Confronto GPS ed assettimetro 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 assettimetrica 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 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.

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.

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 affidabile per una probabile rottura del tubo di diametro più piccolo ($\varnothing 1/2''$).

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 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 sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. 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 18 anni di osservazioni. In questi anni si è registrata una compattazione totale di 48,9 mm corrispondente a una velocità media annua di 2,7 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 -7,6 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 at-



to anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 336 m).

La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica GPS e assestimetrica) non è molto elevata come mostrato nel grafico allegato; le misure GPS 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 GPS 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 renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

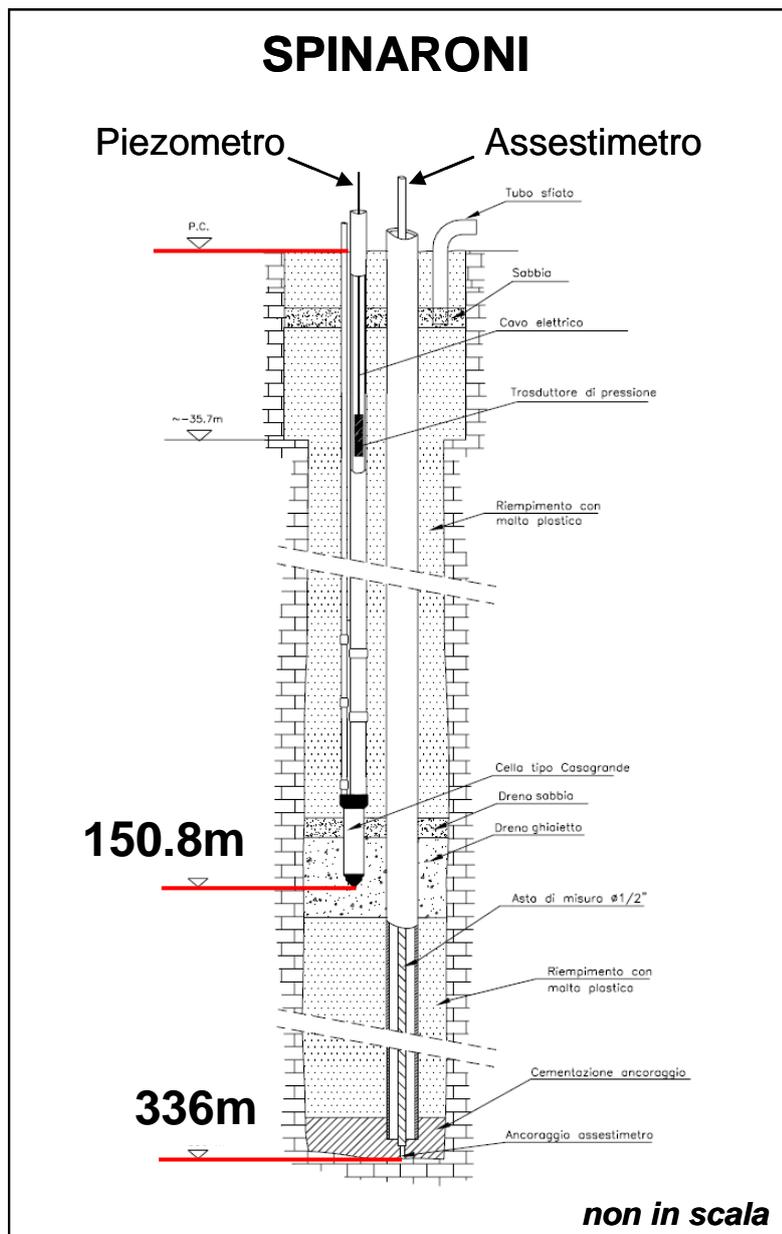
Analisi dei dati piezometrici

Il grafico con la curva piezometrica riporta, in ordinata a sinistra, la quota piezometrica riferita alla profondità di posa della cella Casagrande. I dati piezometrici diagrammati sono già depurati dalla variazione barometrica.

Dall'inizio di dicembre 2005 il sensore di pressione 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 frea-timetro 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.

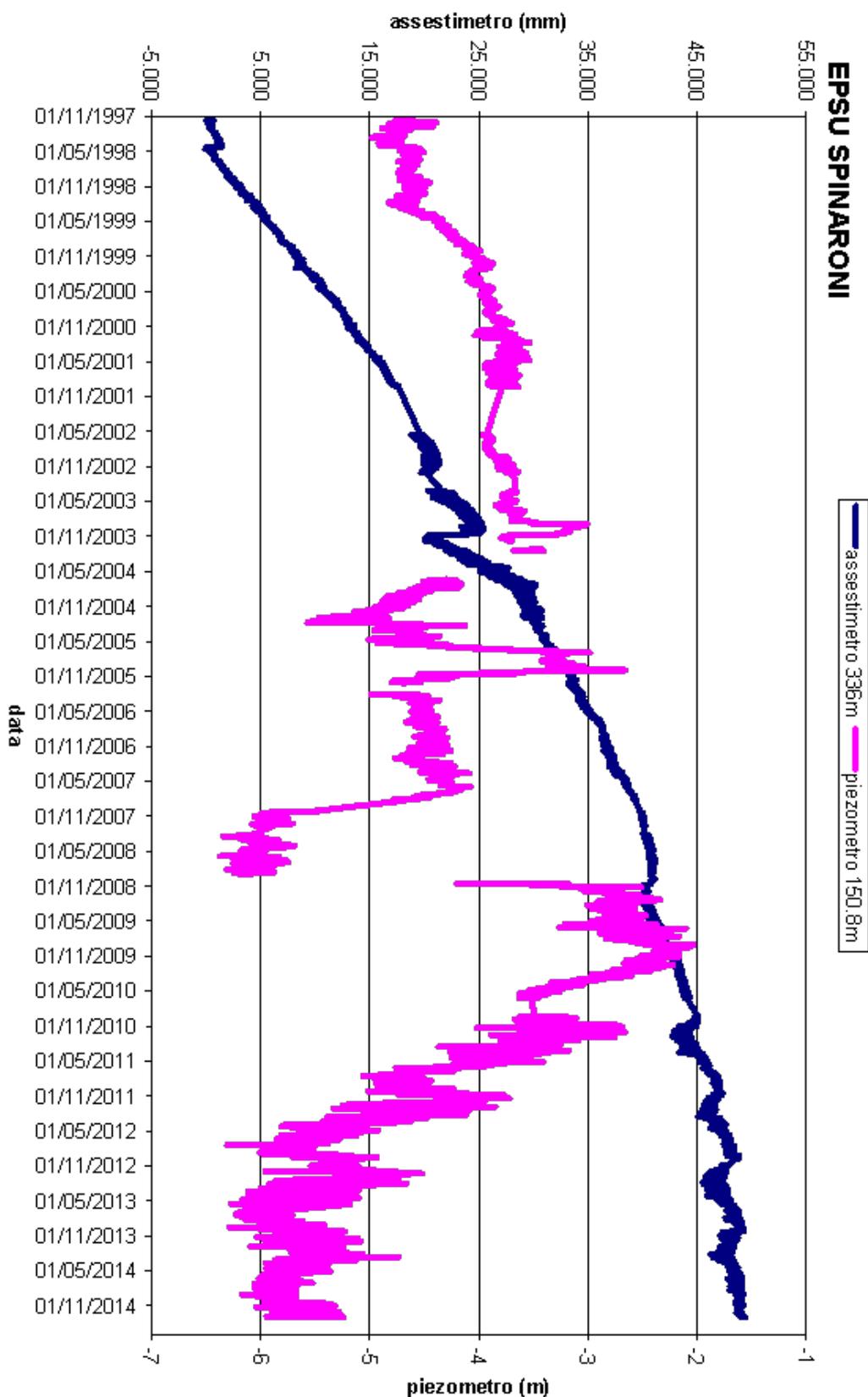
In data 31 gennaio 2006 è stato sostituito definitivamente il trasduttore di pressione nel tubo piezometrico, ponendolo alla profondità di 20 metri rispetto al piano della baracca.

A seguito di una verifica con attrezzatura di spurgo in data 26 agosto 2008, il piezometro è stato considerato non attendibile. Sono in corso le attività per il suo ripristino.



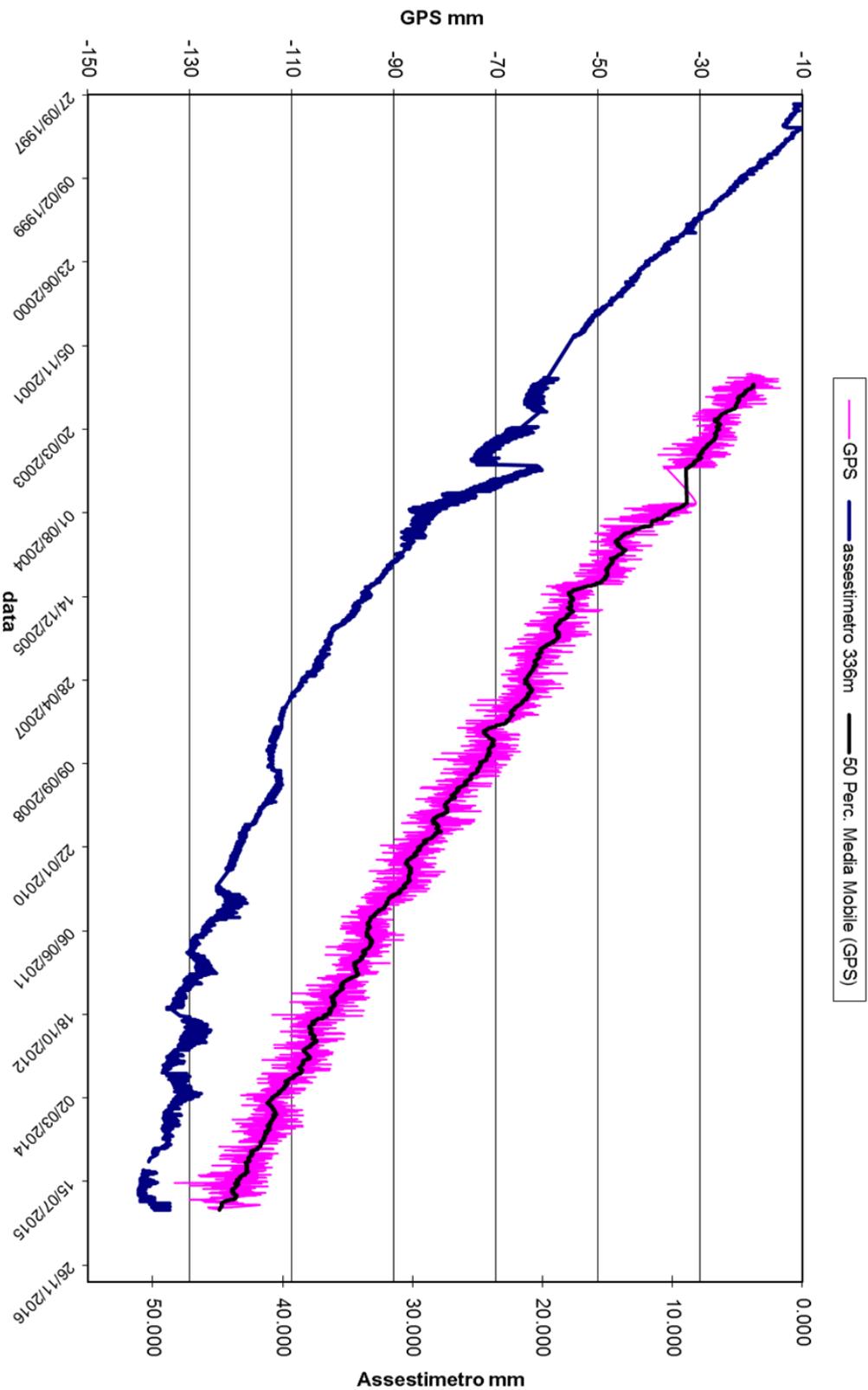


L'assessimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





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.

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 2015 la registrazione dei dati è stata poi regolare.

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; 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 sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. 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.

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'assestimetro profondo e di 14,4 mm per quello più superficiale. Nell'elaborazione dei

dati si è tenuto in conto di queste variazioni, così da non rappresentare il “salto” nelle misure per effetto di un cambiamento di fondo scala e non di una reale variazione assestometrica.

Per tutti circa i 21,3 anni di misure fatte, le due curve assestometriche 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 2,1÷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 -14,5 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 siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 220 m).

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

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

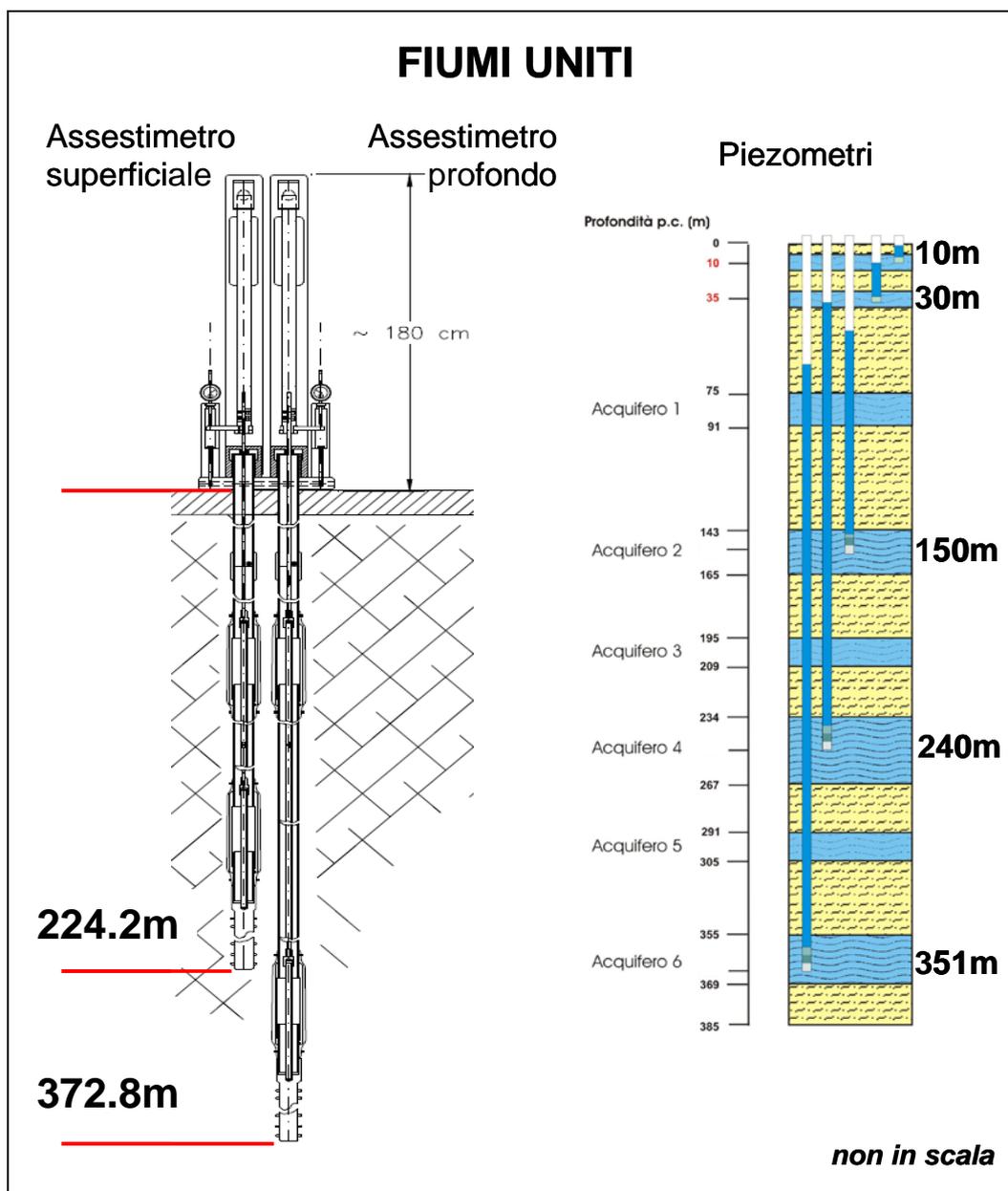
- il confronto delle due curve, è stato fatto per lo stesso periodo di osservazione (2002-2015), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestometro di circa 8 anni più lunga;
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestometrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

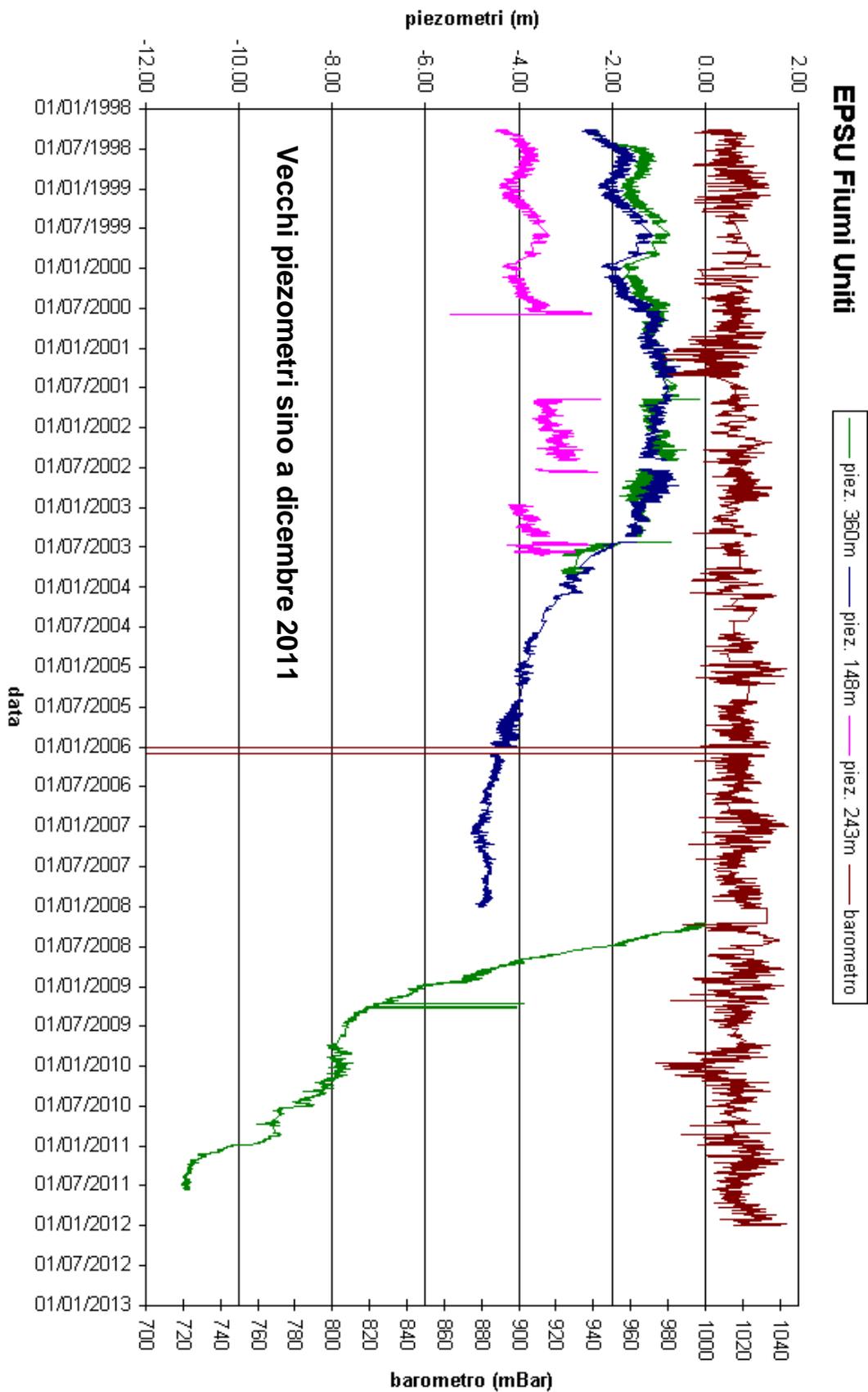
Analisi dei dati piezometrici

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.

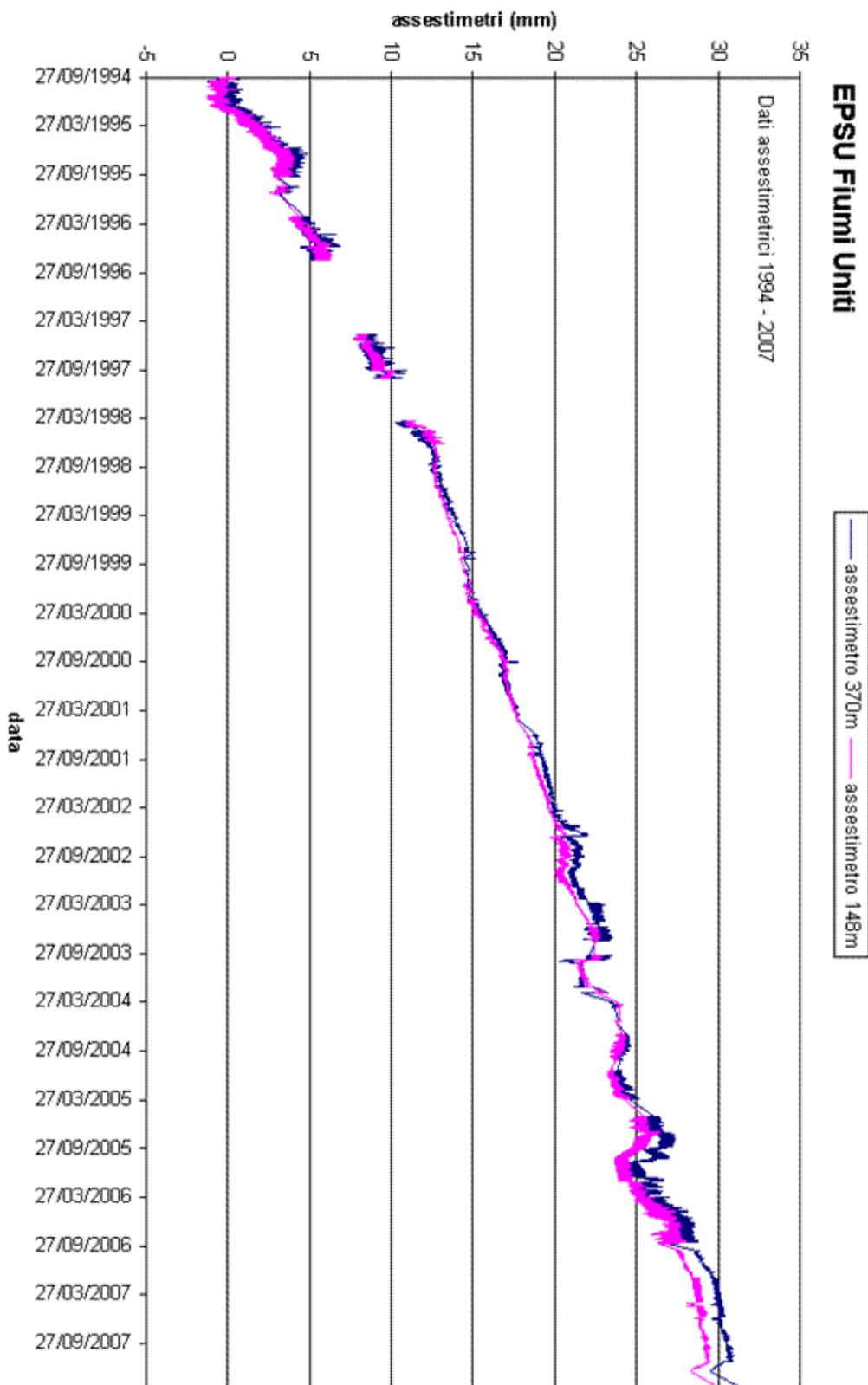


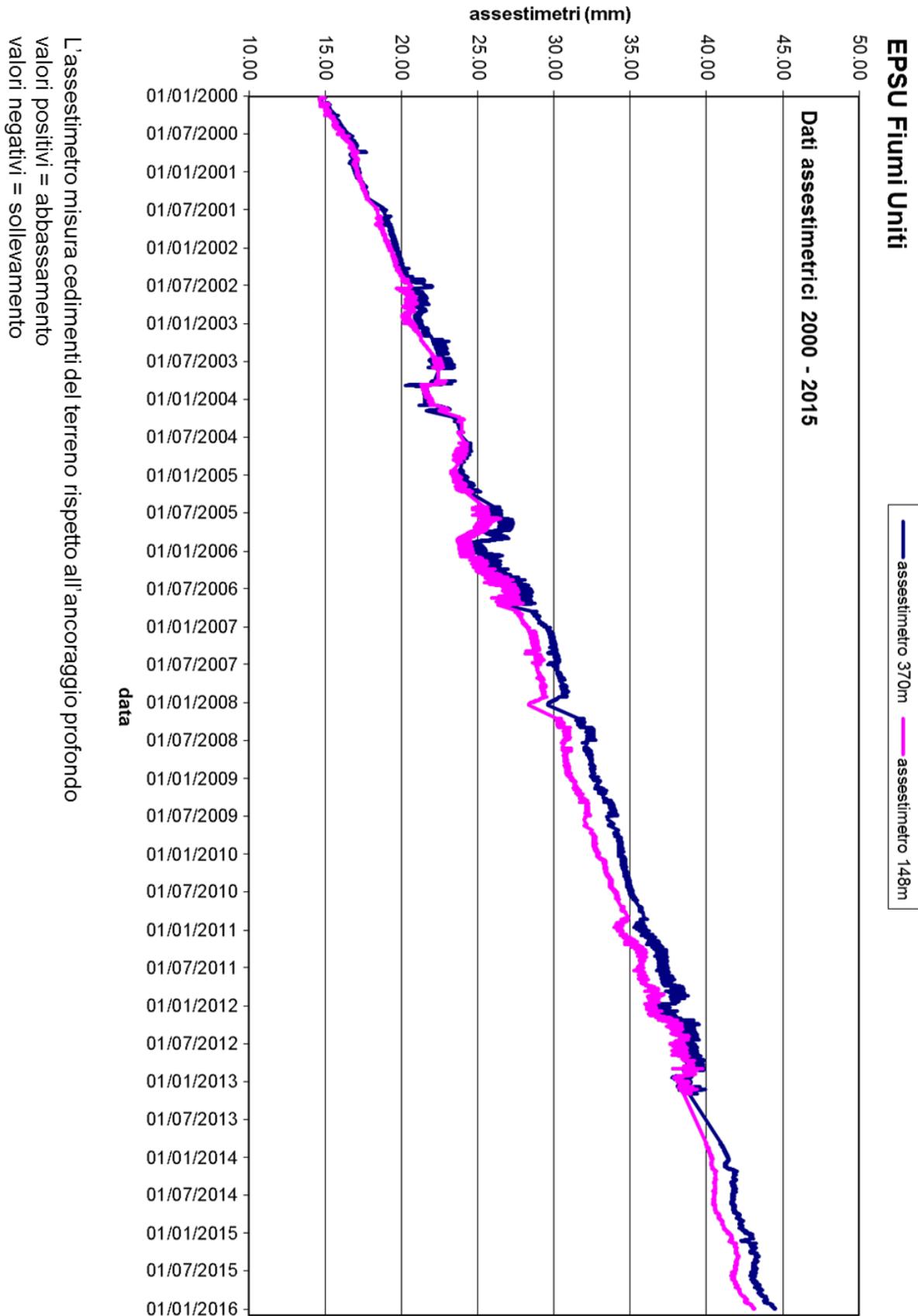


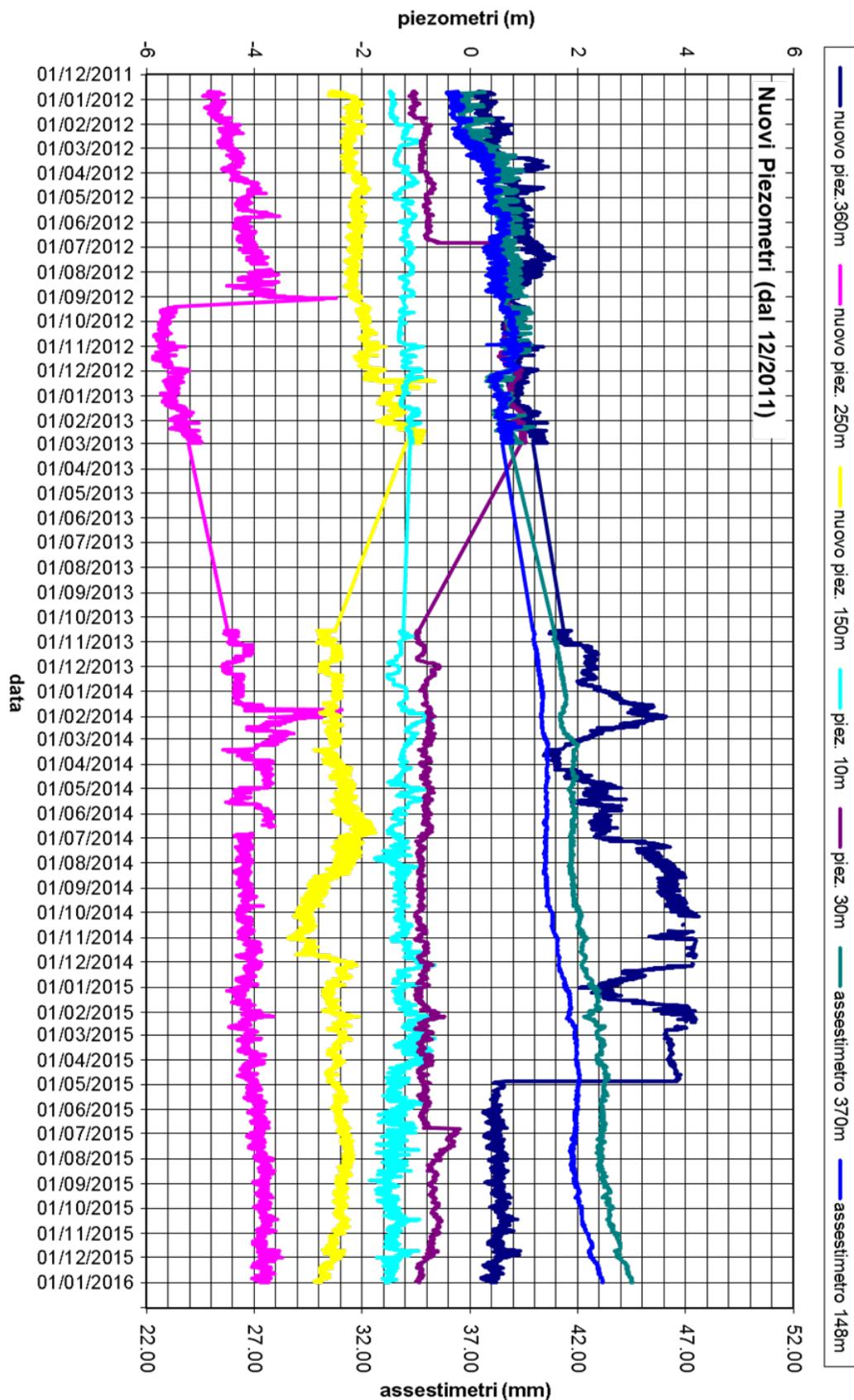
L'assessimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento

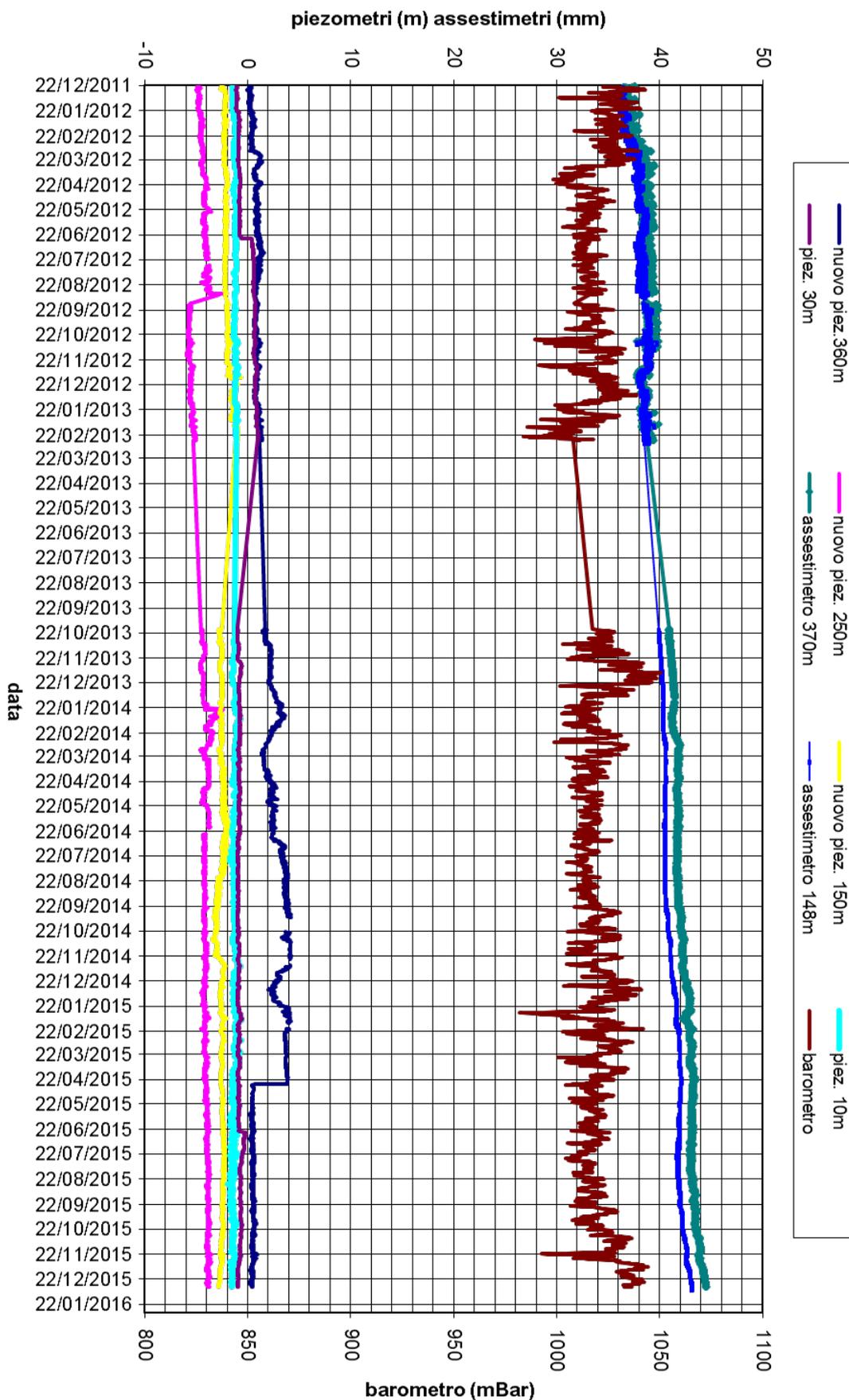


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento



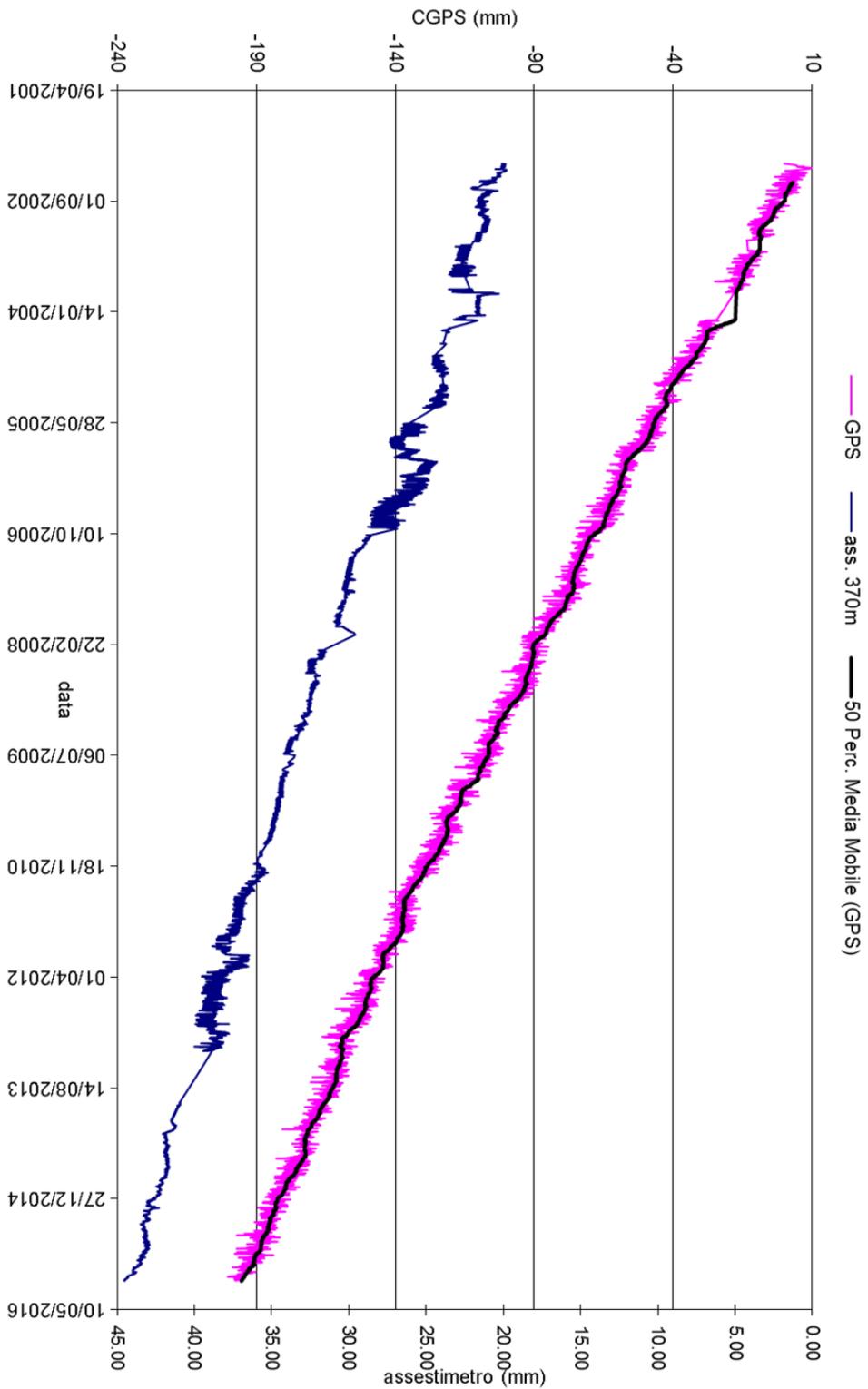








FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assestimetro profondo



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.

Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di circa 17,7 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 18,7 mm (ca. 1,1 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 (5,7 mm complessivi, corrispondenti a circa 0,3 mm/a).

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

Spinaroni

- Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 18,1 anni di osservazioni durante i quali si è registrata una compactazione di 48,9 mm (circa 2,7 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 GPS e assestometrica non è molto elevata; il GPS 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 2015 - della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 44,5 mm, mentre per quello superficiale detto valore è di ca. 43,2 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 21,3 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione praticamente simili e dell'ordine di circa 2,1÷2 mm/a.

Le registrazioni delle curve GPS e assestometrica profonda mostrano poi andamenti dei cicli di compattazione ed espansione del terreno abbastanza disuguali tra loro.

Nella seguente tabella riportano sono riportati i dati complessivi delle compattazioni nelle 3 stazioni, unitamente ai valori medi annuali delle relative velocità.

Sito	Anni d'osservazione	Assestometro profondo		Assestometro superficiale	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
Smarlacca	17,7	18,7	1,1	5,7	0,3
Spinaroni	18,1	48,9	2,7	-	-
Fiumi Uniti	21,3	44,5	2,1	43,2	2,0