

## Campo di PORTO CORSINI MARE

Aggiornamento al 31/12/14

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 2).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C1.AG (PCMS-1)	14/09/15	Eni	Eni	100%	Emilia- Romagna
P.to Corsini mare (PCMS-2)	26/05/16	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 3).

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

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

Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello Eclipse 3D) del maggio 1999 che prevedeva delle riserve a vita intera (pozzi PCMS-1 e 2) pari a 457 MSm<sup>3</sup> producibili in 16 anni con un picco di produzione giornaliera di 200 kSm<sup>3</sup>/g.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è risultata di 4,5 cm in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'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  $\text{kSm}^3/\text{g}$ . I risultati dello sviluppo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura.

Nel marzo 2007 sono stati rivisti gli studi statico e dinamico di giacimento per meglio tarare il meccanismo di produzione. Tale revisione ha confermato il GOIP del livello completato nei pozzi PCMS 1 e 2 (*GOIP studio statico del maggio 1999 pari a 600  $\text{MSm}^3$ , GOIP revisione studio statico del marzo 2007 pari a 600  $\text{MSm}^3$* ). Il nuovo profilo di produzione ottenuto con il modello dinamico Eclipse 3D ha previsto, però, un lieve calo delle riserve che si sono ridotte a 425  $\text{MSm}^3$  in 16 anni (Figura 4) 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  $\text{MSm}^3$  al 2016, pur restando il GOIP del campo invariato rispetto al modello 2007 (600  $\text{MSm}^3$ ). La percentuale di gas prodotto al 12/2014 rispetto alle riserve previste da modello è pari al 94% (Figura 4).

In Figura 5 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas, d'acqua e della produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/2014 che è stata pari a 485  $\text{MSm}^3$ . Si ritiene che, considerando l'alto fattore di recupero, il campo sia ormai in fase di ultimate recovery: di fatto è produttivo dal solo pozzo PCMS-2.

Nella Figura 6 sono confrontati i profili di pressione calcolati con i modelli Eclipse del marzo 2007 e del febbraio 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.<sup>1</sup>].

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 7).

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di Controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell'Ambiente), è rilevata 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.

---

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

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.

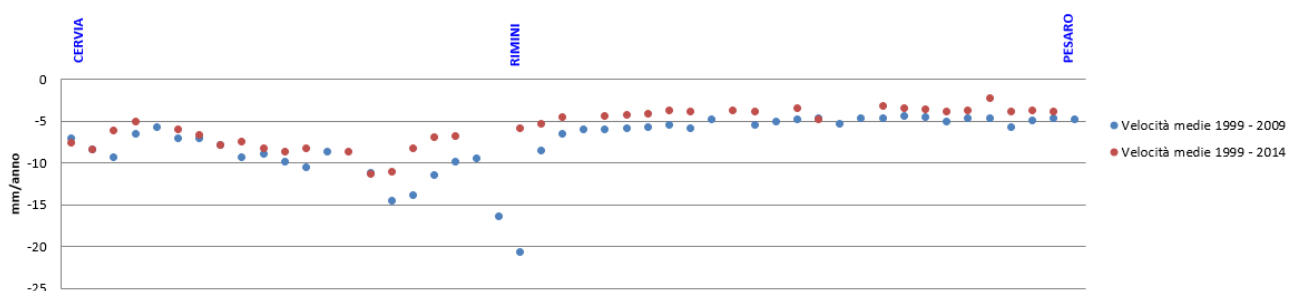
Le operazioni si sono svolte nel periodo compreso tra giugno e ottobre 2014 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell'ente certificatore.

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 i capisaldi della tratta Cervia-Pesaro, i valori di velocità media d'abbassamento del suolo, stimati con regressione lineare dei dati relativi al periodo 1999-2014 (Figura 1), sono generalmente in leggera diminuzione rispetto ai corrispondenti valori calcolati per il periodo 1999-2009. Tale diminuzione di velocità è, mediamente di circa 2 mm/anno, e solo per pochi capisaldi supera detto valore.

**Figura 1 –Tratto Cervia-Pesaro: velocità medie di subsidenza**

Velocità medie 1999 - 2009 vs 1999 - 2014 profilo da Cervia a Pesaro



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 di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori, come si dirà nel seguito.

Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per accertare possibili impatti indotti dalla coltivazione dei campi a gas antistanti al 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.

Le misure sui singoli capisaldi sono state elaborate tramite regressione lineare; le corrispondenti velocità medie annue di abbassamento del suolo  $V_a^2$  sono state poi raggruppate nelle seguenti 5 classi:

- 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 generalmente 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

---

<sup>2</sup> 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, come pure nei due paragrafi successivi, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

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 aggiornarne la copertura SAR (settembre 2014) per un'analisi integrata con i dati della campagna di livellazione del 2014 (Appendice 1). Il confronto mostra come i profili altimetrici (Figura 8), pur se ottenuti con sistemi di monitoraggio molto diversi, abbiano un andamento del tutto comparabile, anche se la diversa origine non consente confronti in valore assoluto (vedi shift tra i diversi profili).

Si è, quindi, proceduto all'integrazione dei dati SAR e di livellazione con i dati altimetrici forniti dalle stazioni CGPS installate nei siti onshore del tratto di costa antistante alle piattaforme.

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, la cui serie storica è troppo breve 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 stazioni altimetriche SSU (Satellite Sur-

vey 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.

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 2013 e in fase di certificazione fino al 2014, 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 31/12/2014 (Figura 9), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato in Tabella 1.

**Tabella 1– Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2013**

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	16,65	23,33	-3,72	16,58	23,70	-3,74	0,07	-0,37	0,02

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 5.0, 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.

Nel caso di PCC, 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 totale<sup>3</sup> misurata dal CGPS pari a -3.9 mm/a (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 11, 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 PCM siano di piccola entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

Si segnala infine che:

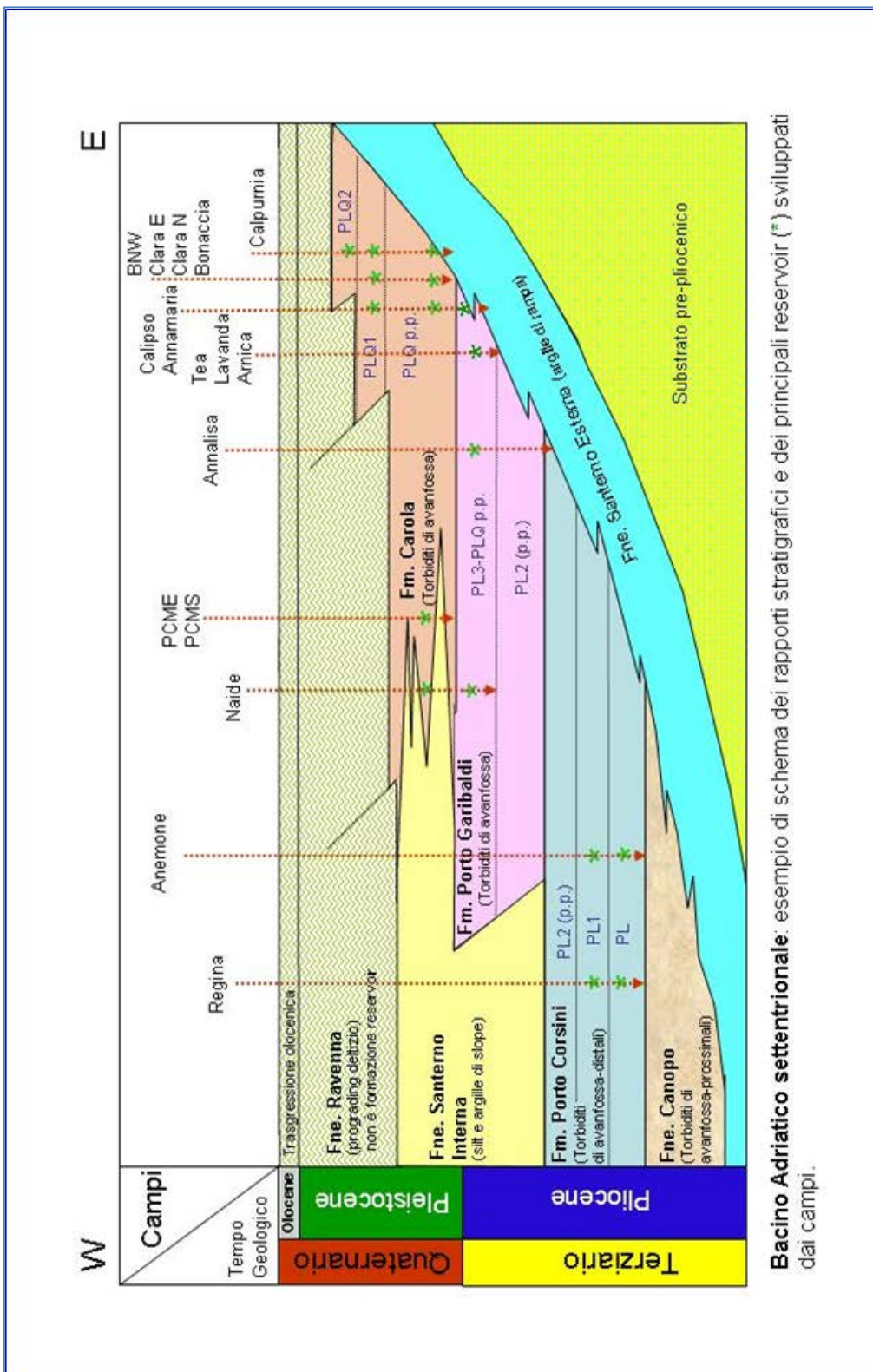
- a) in Figura 12 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 13 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

---

<sup>3</sup> La "subsidenza totale CGPS" rappresenta in questo caso l'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma su cui è installato il CGPS. A determinare tale "subsidenza totale" concorrono vari fenomeni: la compattazione di strati profondi per estrazione di gas (subsidenza antropica), movimenti tettonici e costipazione naturale dei sedimenti (subsidenza naturale), compattazione dei sedimenti più superficiali a fondo mare per effetto del peso della piattaforma. Quest'ultimo fenomeno è evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa.



Figura 2 - Ubicazione del Campo di PCM



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

Figura 3 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI P.C.M.SUD	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 02/2012	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 03/2007	Gas.Prodotto reale al 31-12-2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 02/2012	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 03/2007	Gas.Prodotto reale al 31-12-2014	Percentuale Gas Prodotto vs Riserve calcolate da modello 3D 02/2012
	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3	
2000							
2001	10	10	10	10	10	10	2%
2002	71	72	71	61	62	61	14%
2003	128	129	128	57	57	57	25%
2004	179	180	179	51	51	51	35%
2005	223	223	223	44	44	44	43%
2006	268	269	268	45	46	45	52%
2007	321	308	321	53	39	53	62%
2008	370	341	370	49	33	49	72%
2009	408	367	408	38	26	38	79%
2010	428	387	428	20	20	20	83%
2011	452	398	452	24	11	25	88%
2012	472	407	471	20	9	18	91%
2013	490	414	482	18	7	12	94%
2014	505	420	485	15	6	3	94%
2015	512	424		7	4		
2016	515	425		3	1		

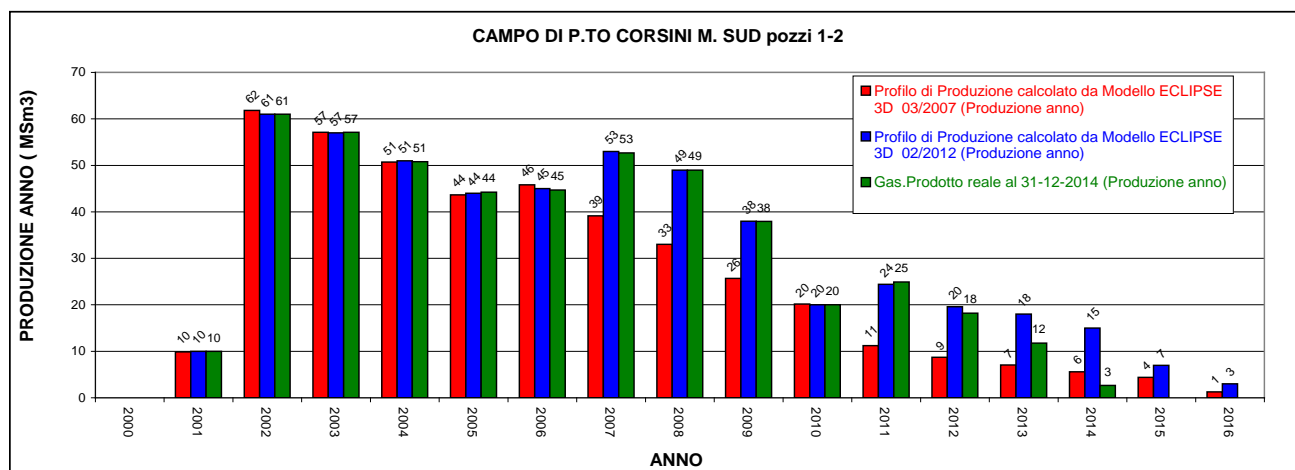
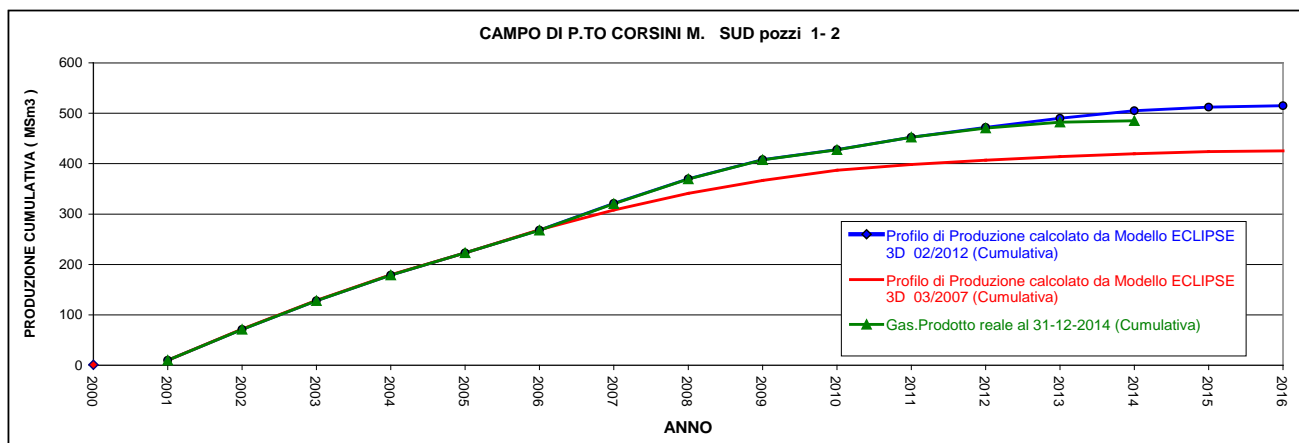


Figura 4 – Campo di PCM: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse

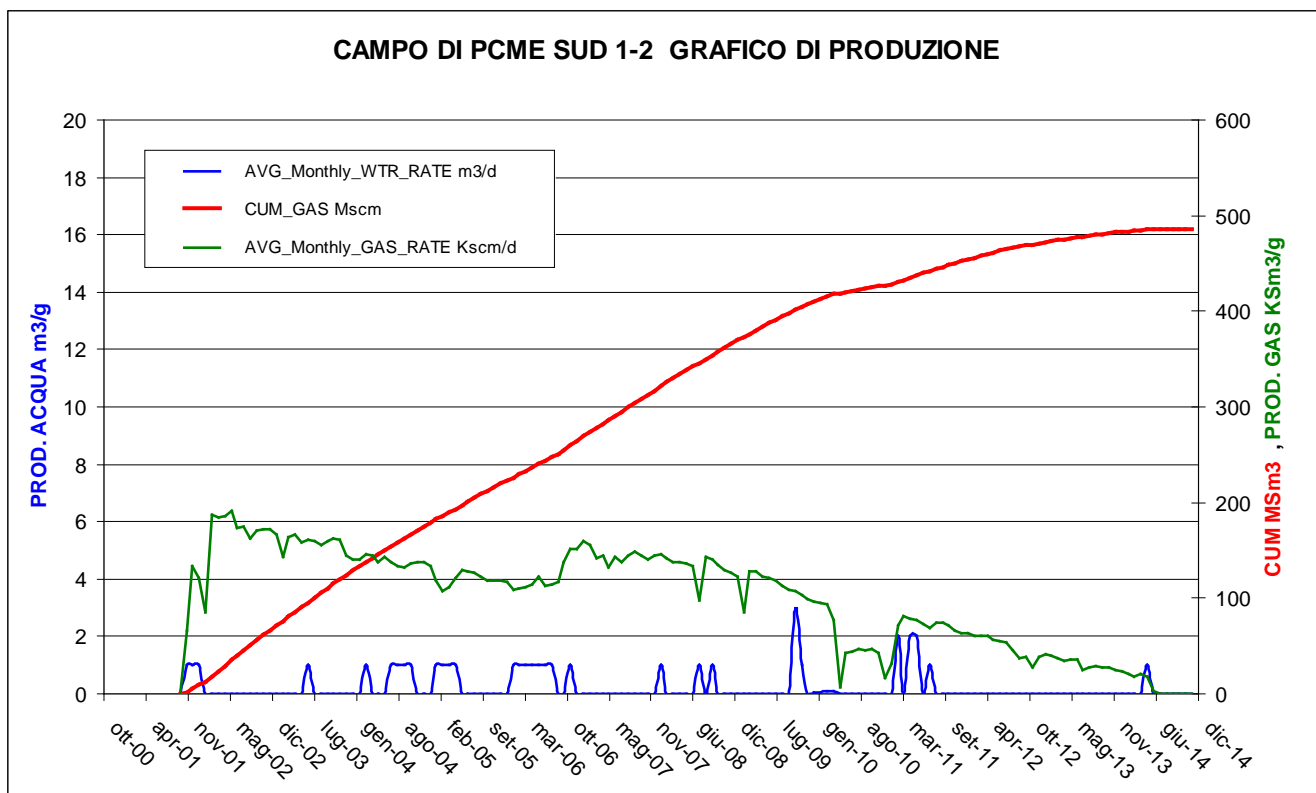


Figura 5 – Campo di PCM: grafico della produzione storica



Profilo di produzione calcolata da modello ECLIPSE 3D 02/2012	SBHP calcolata da modello ECLIPSE 3D 02/2012	SBHP (pozzo PCS-1) Misurata da profilo statico	SBHP (pozzo PCS-2) Misurata da profilo statico
LIV. PLQ-DD1	LIV. PLQ-DD1	LIV. PLQ-DD1	LIV. PLQ-DD1
Msm3	Barsa	Barsa	Barsa
12	144	143	136
51	124		
150	112		
220	105		
250	100	100.6	
260	95		
290	90		
360	82		
370	81		
390	80		
400	79	79.6	
425	78		
450	78		
470	80		
480	82	83.7	
500	84		
515	86		

DATA	SBHP Misurata da profilo statico	SBHP Misurata da profilo statico
	Barsa	Barsa
	pozzo PCS-1	pozzo PCS-2
01/11/2001	143.0	136
17/05/2007	100.6	
01/05/2010	79.6	
14/12/2013	83.7	

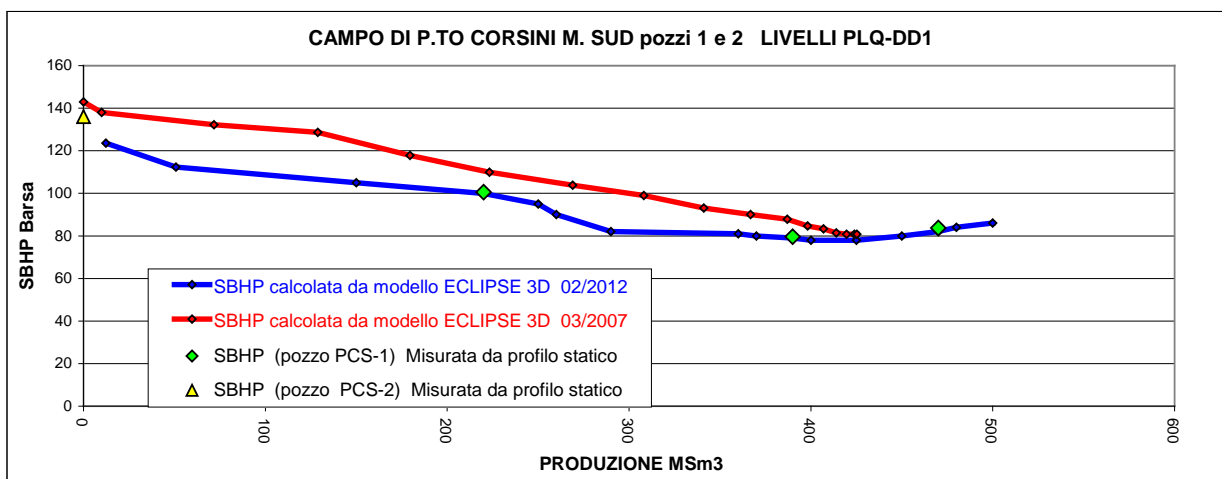


Figura 6 – Campo do PCM: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (livello PLQ-DD1)

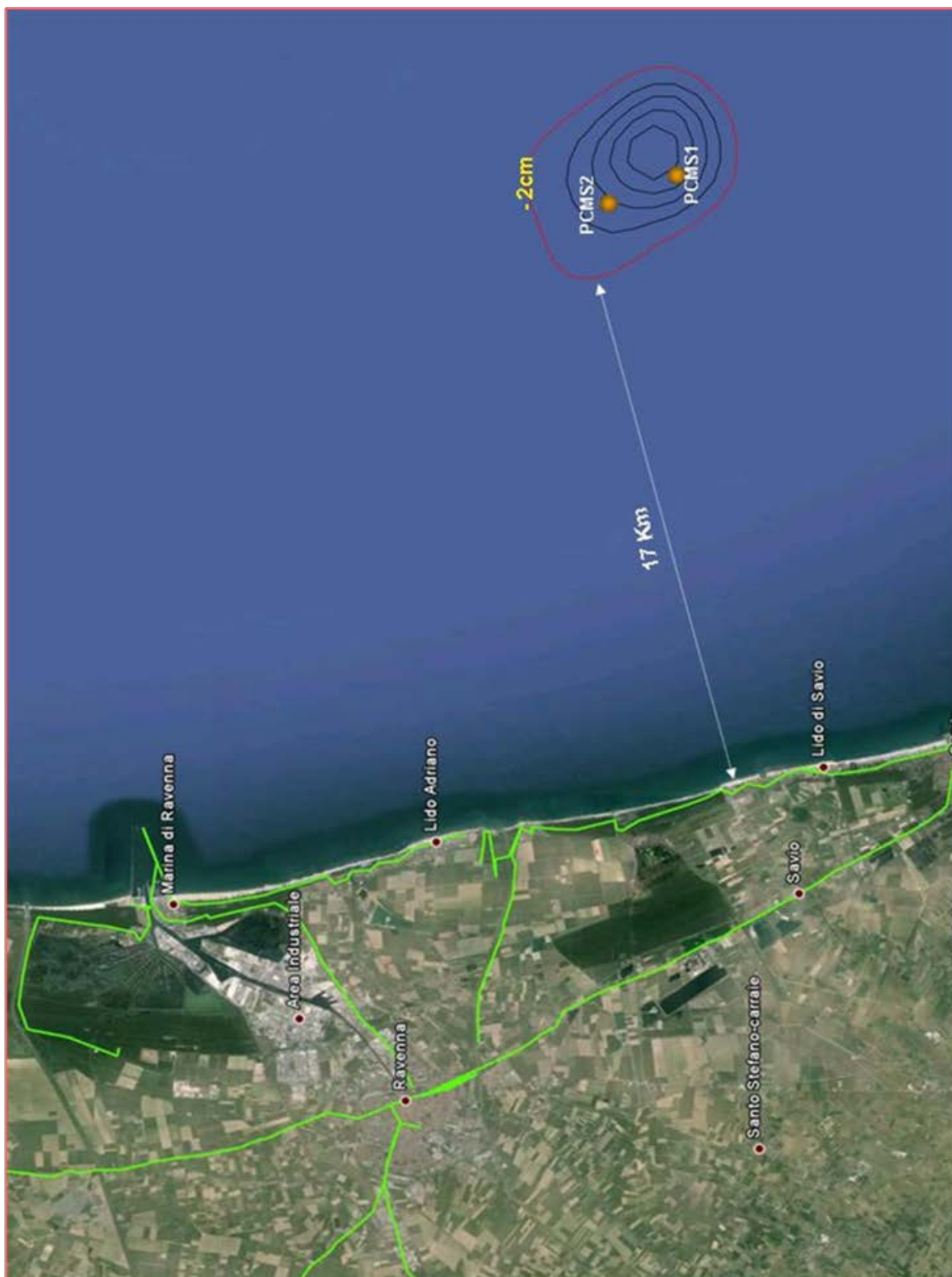


Figura 7 – Campo di PCM: curve di iso-subsidenza per lo scenario al 2016

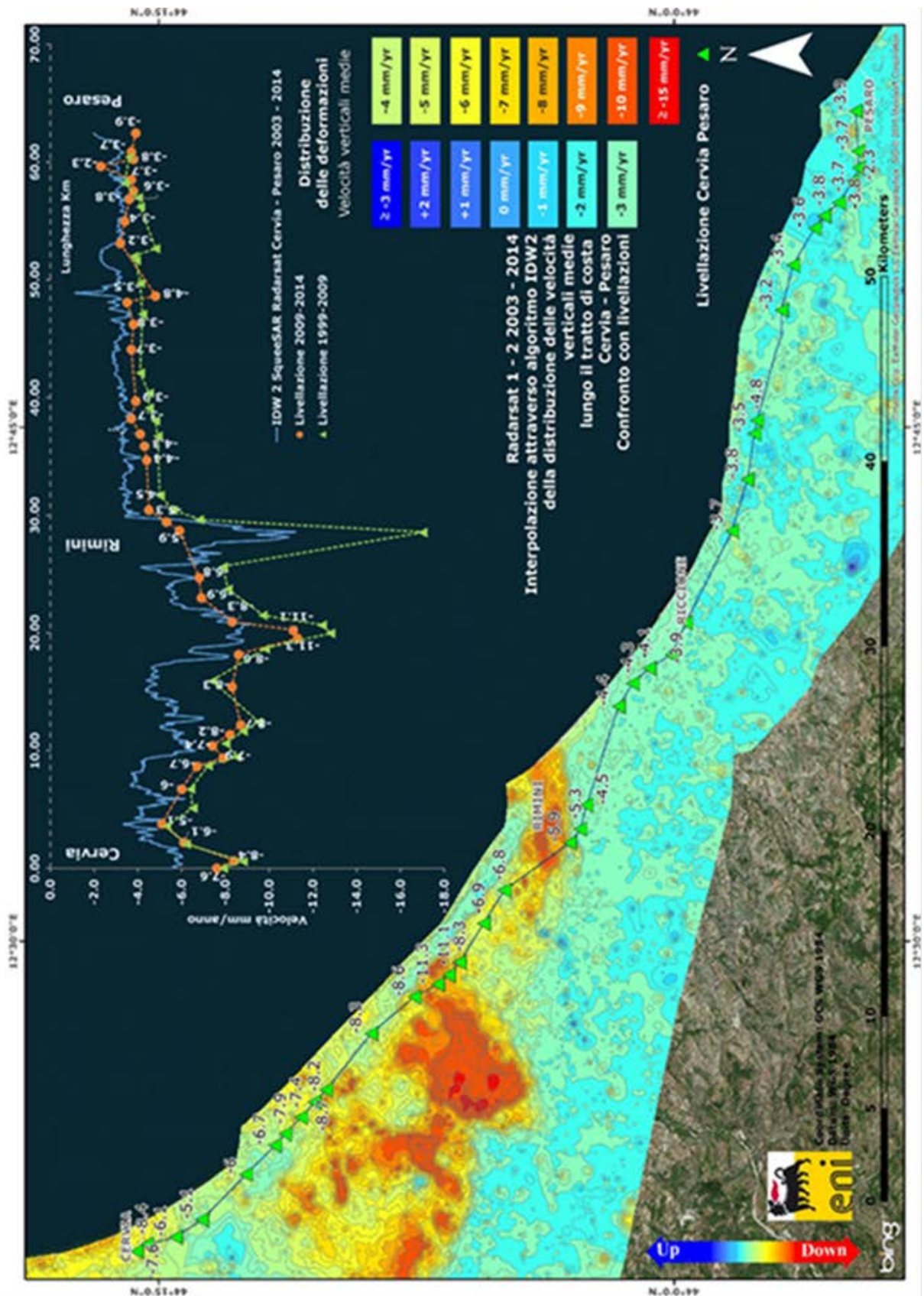


Figura 8 - Analisi dati SAR dal 2003 al 2014 - campo di Porto Corsini Mare



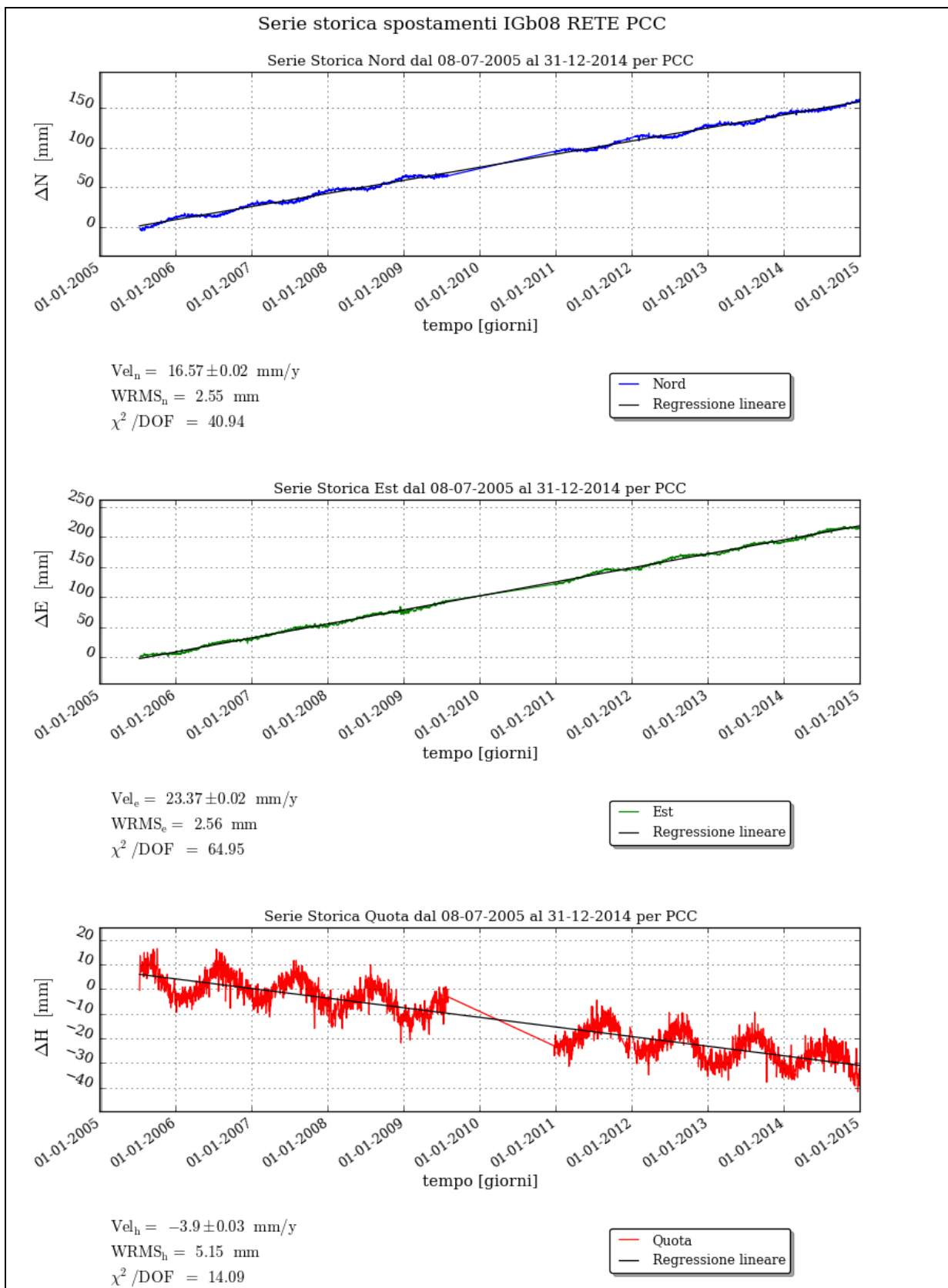


Figura 9 - Campo di PCM: serie storiche plano-altimetriche CGPS di PCC



CAMPO	Inizio produzione	Fine Produzione	Riserve prodotte @ dic.2014	Subsidenza prevista a fine produzione (scenario di riferimento)	CGPS		
					inizio registrazioni	velocità media (mm/a) @ fine 2014;	mesi di registrazioni
NAIDE	2005	2022	81%	-8cm al 2023	giu-05	-3.8	114
PCM	2001	2016	94%	-6,8cm al 2017	lug-05	-3.9	113
REGINA	1997	2016	91%	-135cm al 2014	giu-07	-29.4	90
CALPURNIA	2000	2020	95%	-50cm al 2035	giu-07	-4.5	90
ANEMONE	1978	2026	95%	-33cm al 2020	giu-07	-4.9	90
ANNALISA	2000	2023	83%	-10cm al 2027	ott-07	-4.7	87
CLARA EST	2000	2034	35%	-55cm al 2035	nov-07	-13.5	86
CLARA NORD	2000	2020	80%	-65cm al 2035	nov-07	-22.5	86
BARBARA-NW	1999	2029	70%	-76cm al 2030	gen-08	-28.7	84
CALIPSO	2002	2020	87%	-32cm al 2035	nov-07	-17.8	86
ANNAMARIA "B"	2009	2039	32.6%	-51cm al 2040	gen-10	-81.0	60
BONACCIA	1999	2035	57%	-421cm al 2036	dic-07	-87.2	85
GUENDALINA	2011	2023	55%	-3cm al 2023	ago-11	-6.4	40
NAOMI-PANDORA	2001	2037	31%	-2cm al 2038	giu-02	-1.4	150
TEA-LAVANDA-ARNICA	2007	2019	93%	-3cm al 2020	nov-07	-5.0	86
FAUZIA	2014	2027	3%	-9cm al 2030	set-14	n.d.	3
ELETTRA	2014	2025	12%	-16cm al 2035	lug-14	n.d.	5

Figura 10 - - Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. modelli

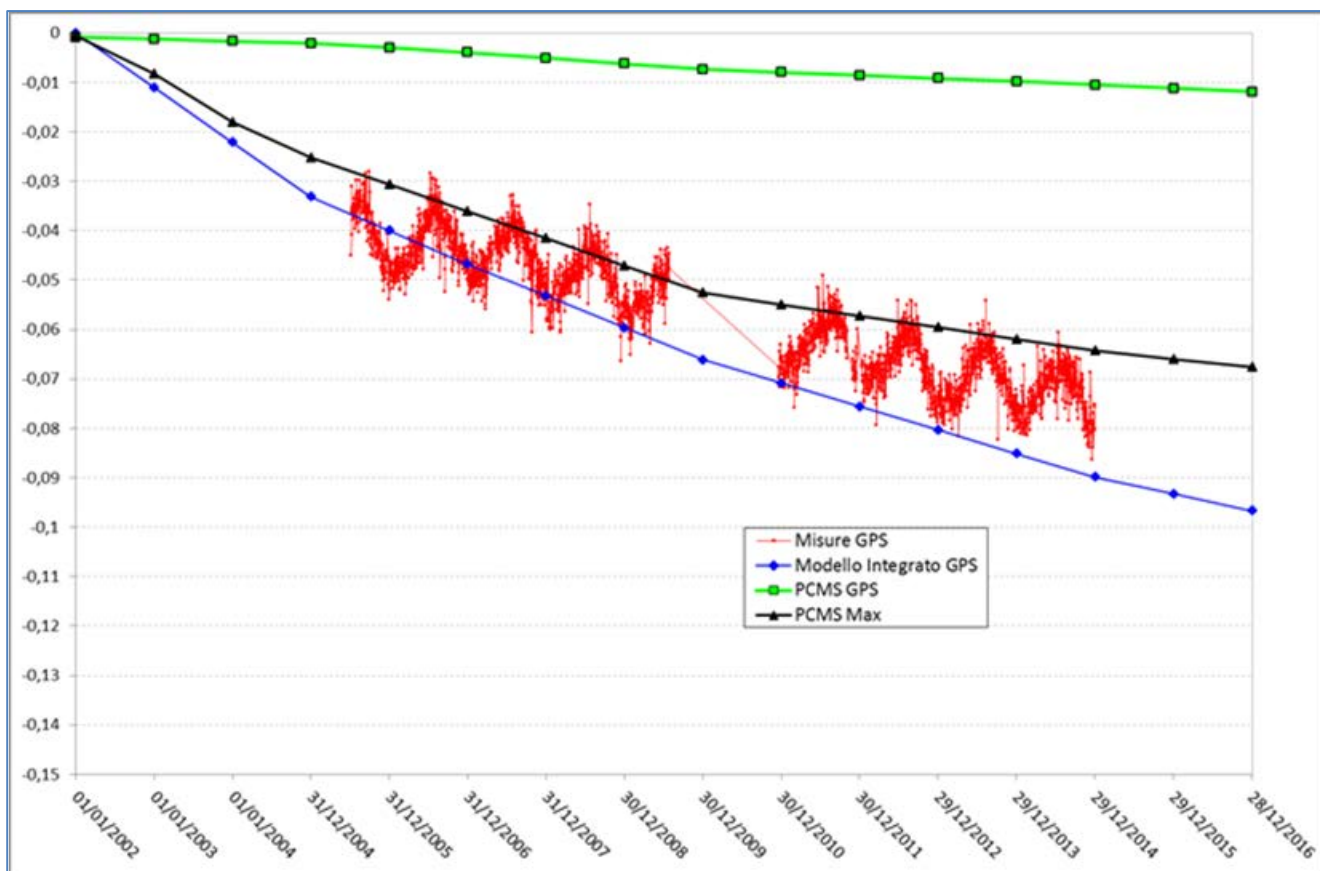


Figura 1 – CGPS (agg. 31 dic. 2014) vs. modello di subsidenza (in corrispondenza della p.ma)



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	SIA	
LITOLOGIA	sabbie fini	ULTIMO AGGIORNAMENTO	
FORMAZIONE RESERVOIR	Carola	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MAGGIO '99"
ZONA MINERARIA	PIQ	RISERVE (MSm3)	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "febbraio 2012"
PROFONDITA' RESERVOIR	1400 (TVDSS)	MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO
TIPO DI PIATTAFORMA	Monotubolare	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	4,5 (dopo 10 anni)
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi legg.deformate	MAX. DIST. DAL CULMINE (Km)	2,5 ( dopo 10 anni)
			2,8 km al 2016 (distanza minima dalla costa 17 Km al 2016)
		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	PCMS1 PCMS2	D.M @mag'01	@ 31 dic.2014
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%
		<b>LIVELLAZIONI</b>	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
		<b>MARKERS</b>	NON PRESCRITTI
		<b>CGPS</b>	OPERATIVO DAL 2005
		<b>SAR</b>	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2014 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 2 - Scheda di sintesi dati campo



Figura 3 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2014

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:

- Area di Ravenna: stazioni di Manara, di Smarlacca, di Spinaroni e di Fiumi Uniti;
- Area di Rimini: stazione di Rubicone;
- Area di Ancona: stazioni di Fano e di Falconara.

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 e il confronto dei SAR, non calibrati e acquisiti in un'area circolare (raggio di circa 150 m) intorno alla stazione CGPS di Smarlacca, hanno mostrato come questi sottostimino di -3,0 mm/a la componente verticale della velocità media d'abbassamento rispetto alla misura CGPS; per tale motivo ai valori di detta velocità media ottenuti con la tecnologia SAR è stata applicata una correzione pari a -3,0 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 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 fatto anche negli anni precedenti, tutti gli altri data-set SAR, 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. Tale confronto mostra mediamente una differenza di circa -3 mm/a in ognuno dei data-set analizzati. Detta differenza è stata ovviamente corretta nel processo di calibrazione.



**Fig.1A – Mappa calibrazione dati SAR**

Per verificare la correttezza di tutto il processo, sono state poi confrontate le velocità medie 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 dai CGPS, anche se per periodi inferiori alla serie storica SAR. La differenza riscontrata è stata inferiore a 2 mm/a, valore che, considerata anche la diversa scala temporale, ricade nel campo d'errore strumentale di entrambi i sistemi di misura.

Nella zona situata nell'intorno della stazione CGPS di Rubicone (area SAR di Rimini), i dati SAR mostrano un movimento verticale d'abbassamento fino al 2008 e di sostanziale stabilità



poi per il periodo successivo. Le misure CGPS di detta stazione, installata nel dicembre 2007, confermano invece la sostanziale stabilità della zona a parità di osservazione temporale. Si può ritenere, quindi, che la differenza di velocità media riscontrata tra i dati SAR e i dati CGPS (pari a circa 2 mm) sia dovuta al diverso periodo di osservazione. Per tale motivo non si può fare un confronto diretto tra le velocità SAR e quelle CGPS senza avere opportunamente definito i tempi di riferimento. Per controllare il trend regionale dell'intera area in esame, è stata fatta un'analisi delle differenze tra la mappa d'interpolazione dati del data-base 2003-2013 e la corrispondente mappa d'interpolazione dati del data-base 2003-2014 (per l'interpolazione si è impiegato l'algoritmo IDW – Inverse Distance Weighted in ambiente GIS). Come rappresentato nelle Fig. 2A e Fig. 3A, non ci sono evidenti differenze di valori per l'intera area, se non nella zona adiacente al porto di Ravenna, per la quale, dopo attenta analisi, si è riscontrata una mancanza di dati per la scarsa coerenza del segnale SAR. Ciò ha prodotto un artefatto numerico, privo di significato fisico, nelle relative mappe d'interpolazione.

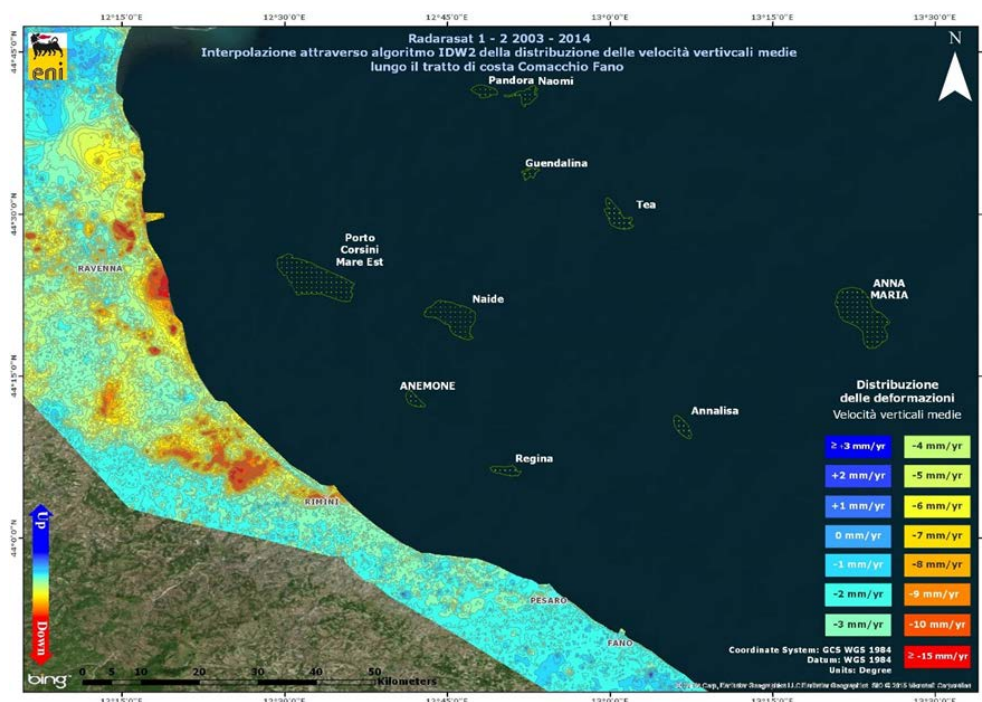


Fig. 2A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

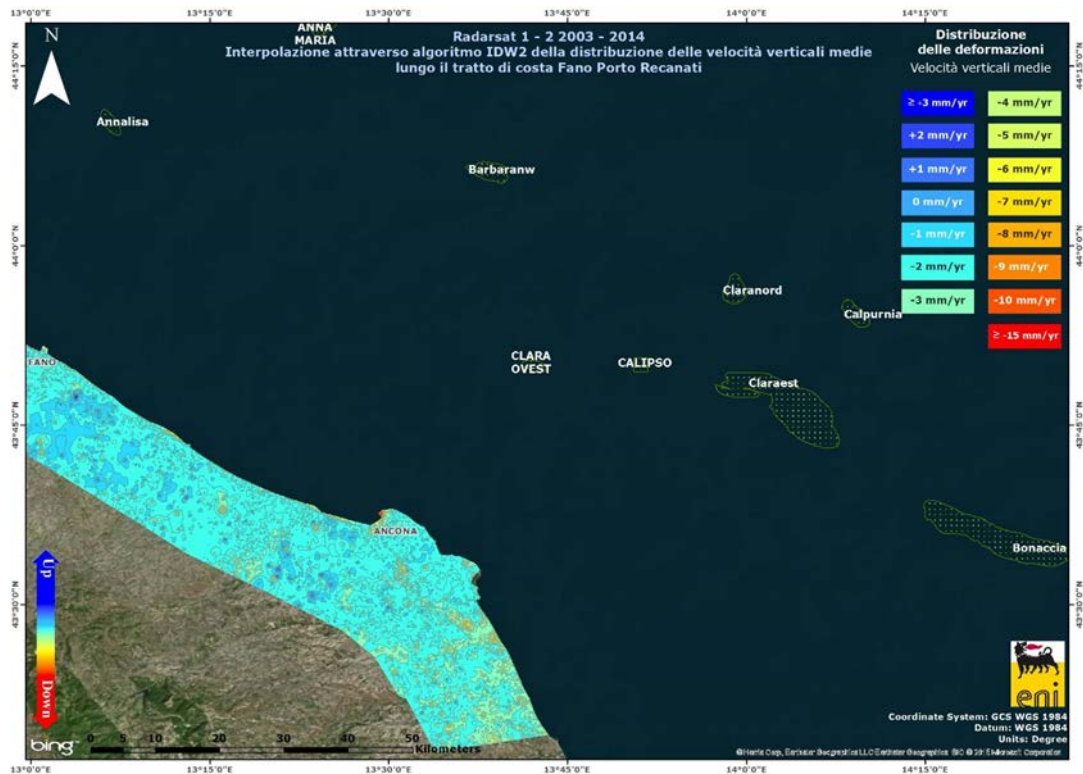


Fig. 3A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

### Confronto dati SAR 2003 – 2013 vs. 2003 – 2014

Utilizzando i dati interpolati per il periodo 2003 – 2013, è stato fatto un confronto con i corrispondenti dati del periodo 2003 – 2014, per individuare eventuali aree in cui si fosse verificato un aumento delle velocità di abbassamento del suolo.

Come mostrano le immagini di Fig. 4A e Fig. 5A non si notano sostanziali differenze fra i valori di velocità dei due data-set: gli scostamenti sono mediamente dell'ordine di circa 1 mm. L'unica zona per la quale si riscontrano differenze importanti, (dell'ordine di circa 10 mm), si trova a nord della città di Ravenna. Trattasi dell'area di cui si è detto in precedenza e che non dispone di dati SAR. L'algoritmo d'interpolazione ha, quindi, generato "artifacts" privi di ogni significato fisico.

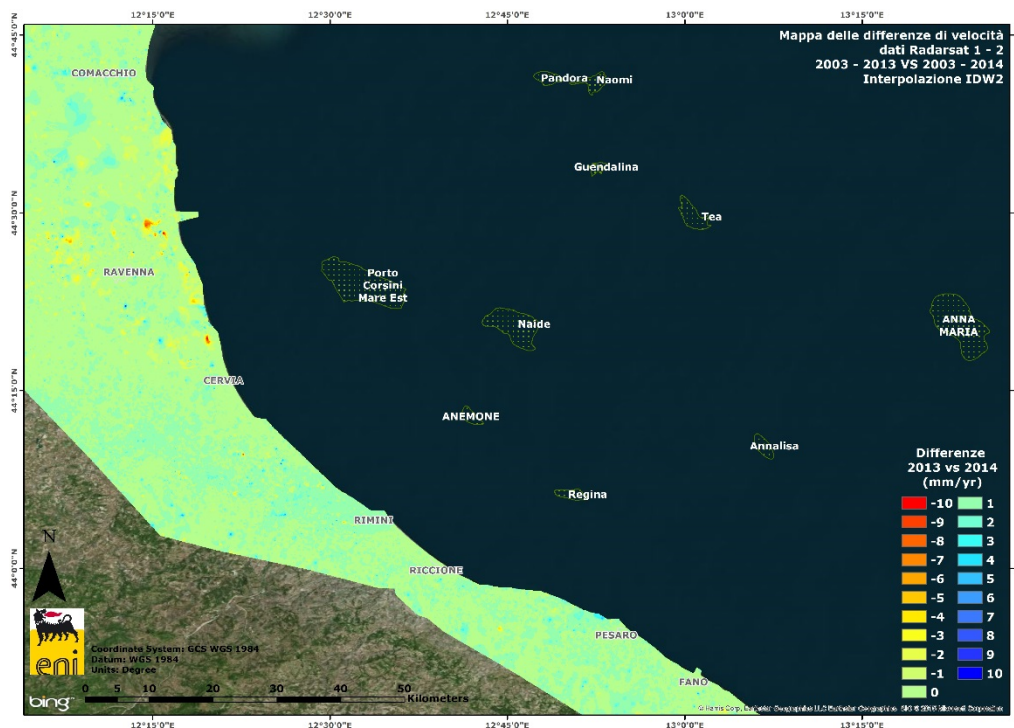


Fig. 4A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

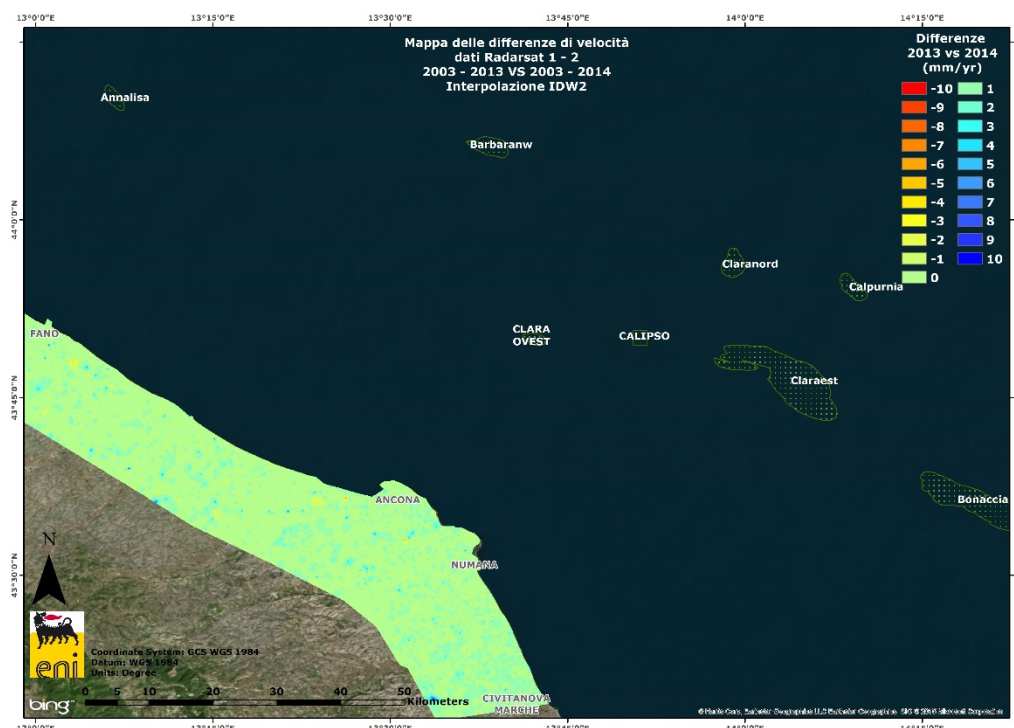


Fig. 5A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS





### Confronto dati SAR vs. Livellazione

Dal confronto SAR – livellazioni, non emergono differenze: entrambi i metodi, considerando la loro deviazione standard, non presentano anomalie evidenti (Fig. 6A e 7A, 8A e 9A, 10A e 11A, 12A e 13A).

L'unico punto d'attenzione si ha nel tratto Cervia – Pesaro (Fig. 9A) dove, in corrispondenza della città di Rimini (circa al km 30), si nota un valore negativo del dato SAR (-11,8 mm/a) che non è rilevato dalle campagne di livellazione del periodo 2009 – 2014. Tale anomalia è causata alla perdita di un caposaldo, il numero 00305400, che era disponibile nel periodo tra le campagne 1999 - 2009 e le cui misure risultavano in accordo con i dati SAR.

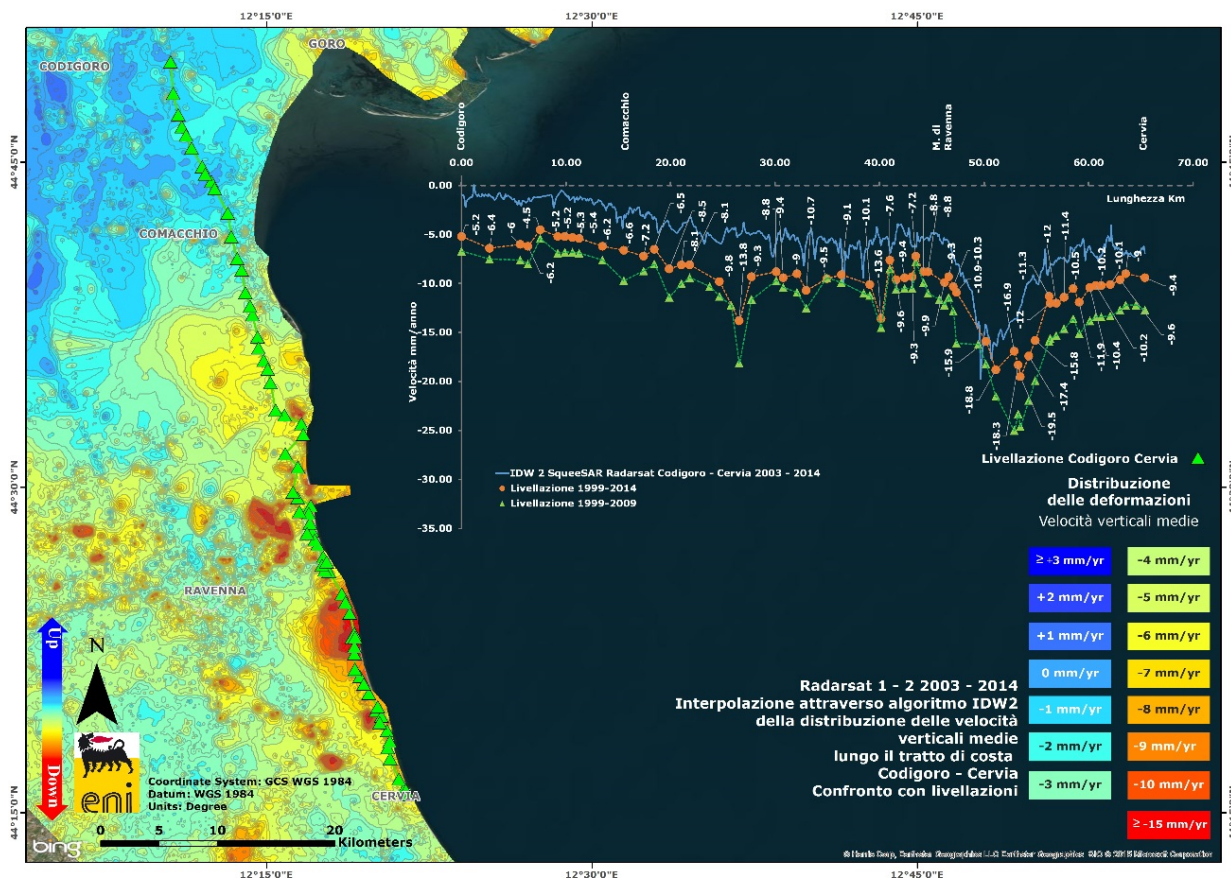


Fig. 6A – Tratto Codigoro – Cervia: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014e le campagne di livellazione 1999-2009 e 1999-2014

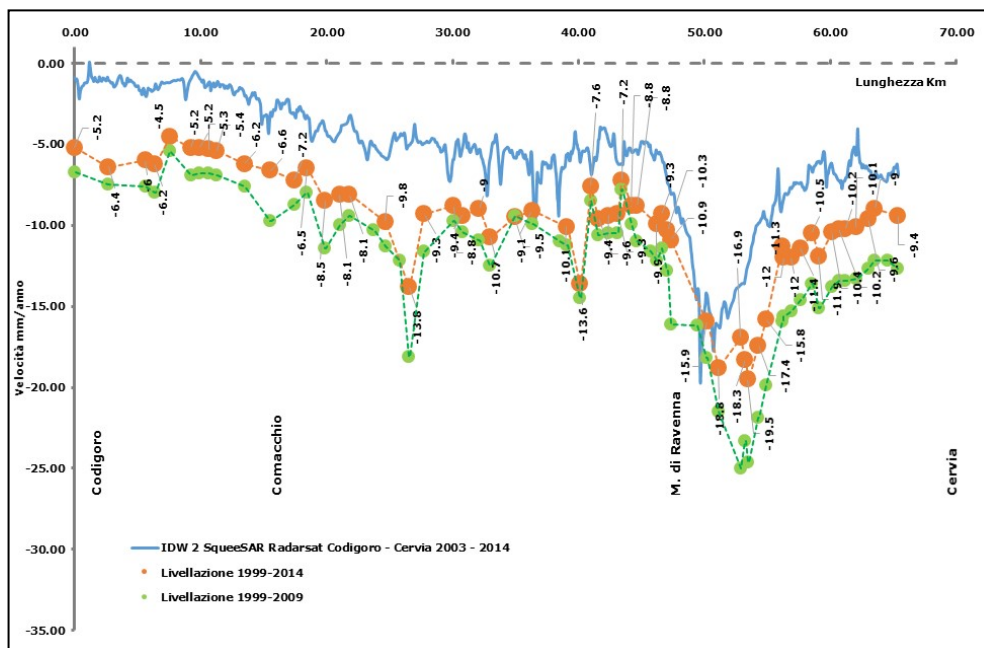


Fig. 7A – Tratto Codigoro – Cervia: dettaglio del grafico di confronto (Fig. 6A) tra il database Radarsat 1-2 (1999-2014) e le campagne di livellazione (1999-2014).  
Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

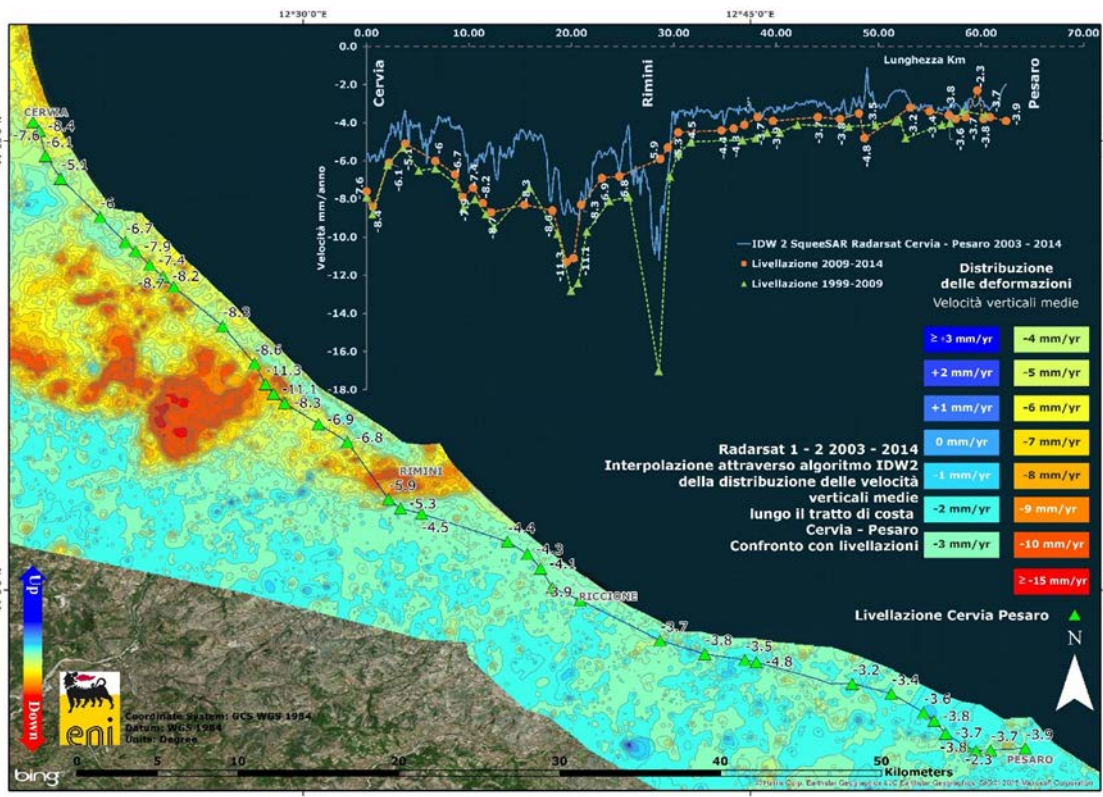


Fig. 8A – Tratto Cervia-Pesaro: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014

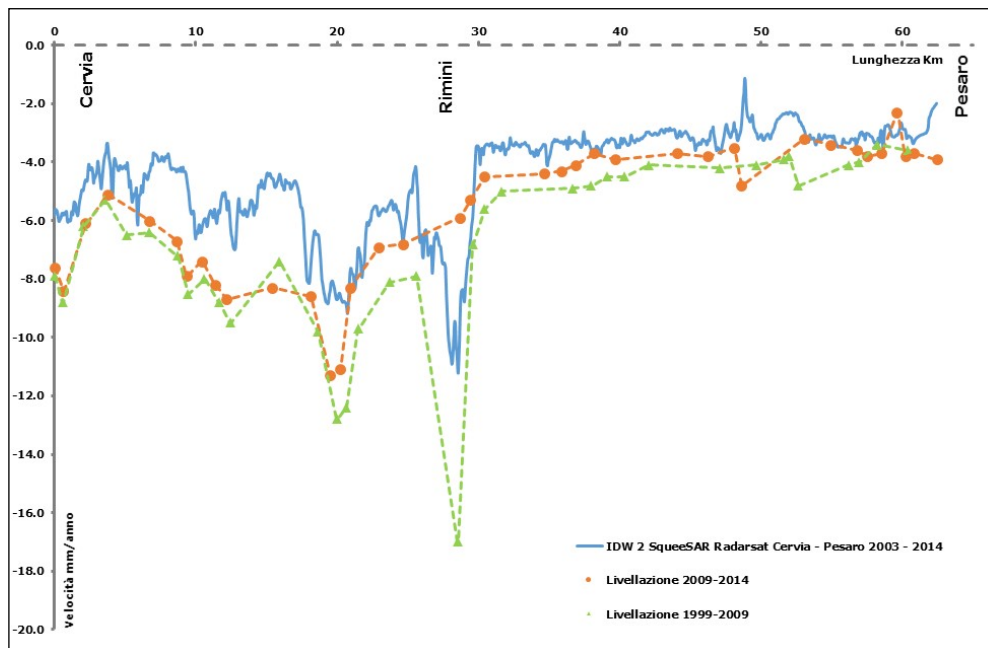


Fig. 9A – Tratto Cervia – Pesaro: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014.

In corrispondenza di Rimini, si nota un abbassamento registrato dal SAR e dalle livellazioni del periodo 1999-2009, che, però, non compare nelle livellazioni del periodo 2009-2014.

Tale anomalia è da attribuirsi alla perdita del caposaldo 00305400

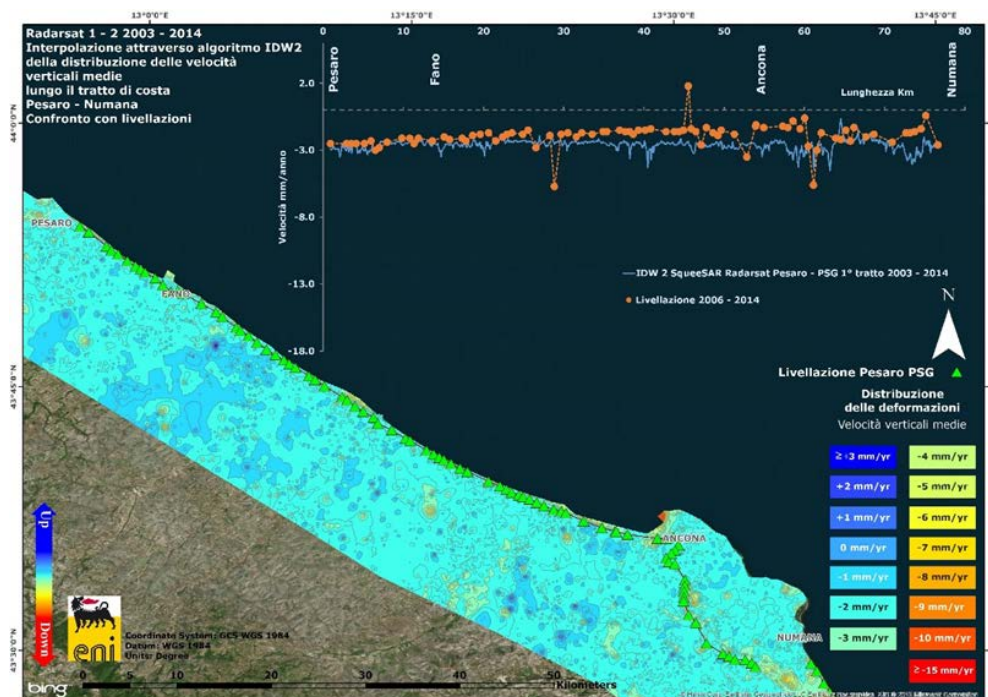


Fig. 10A – Tratto Pesaro – Numana: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

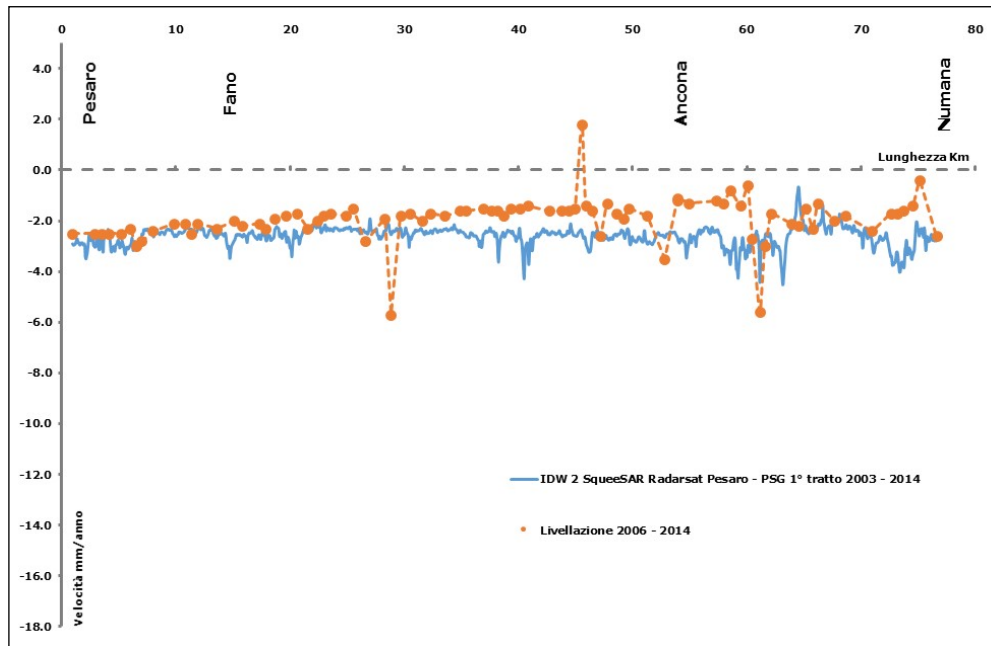


Fig. 11A – Tratto Pesaro – Numana: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014.  
Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

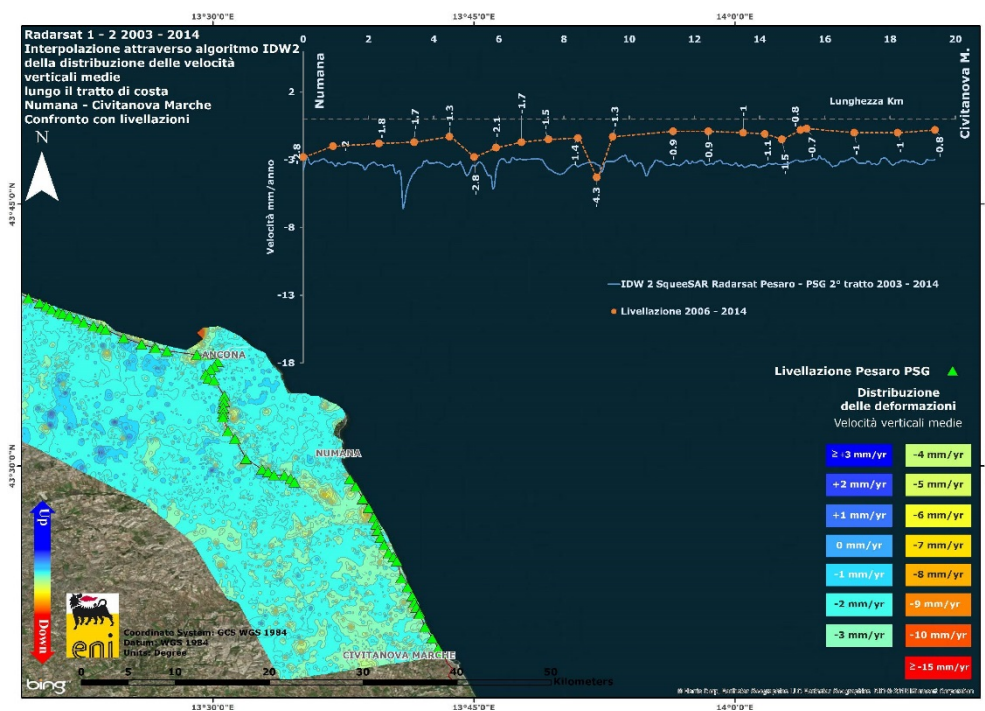
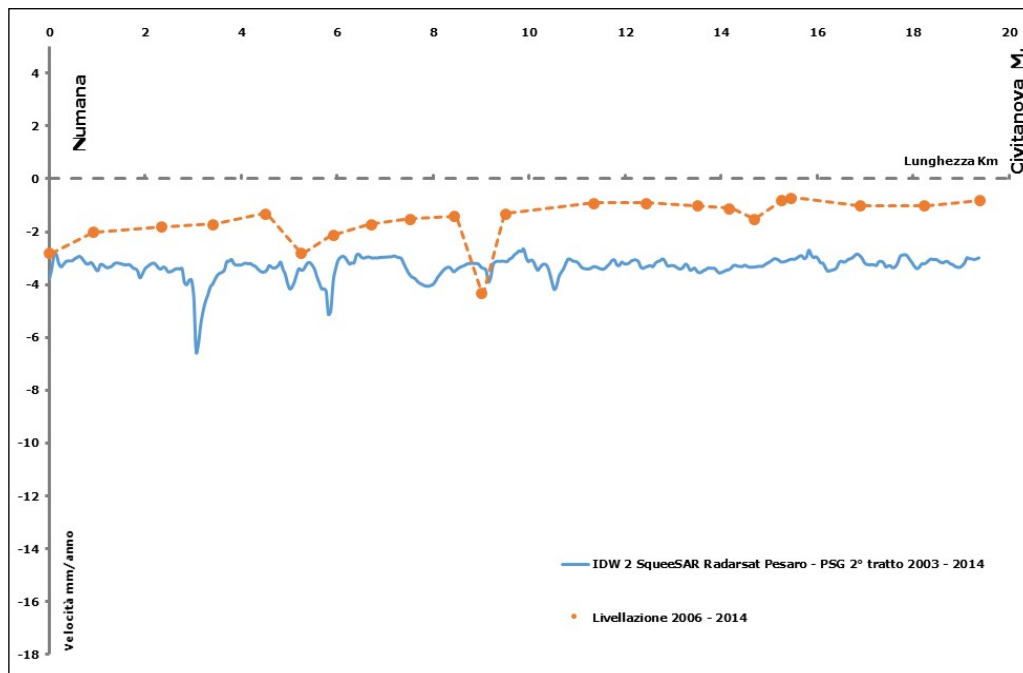


Fig. 12A – Tratto Numana – Civitanova Marche: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014



**Fig. 13A – Tratto Numana – Civitanova Marche: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si notano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento**

## Appendice 2: stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - aggiornamento dicembre 2014

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 ed il 1997, è riportata in figura 2A.

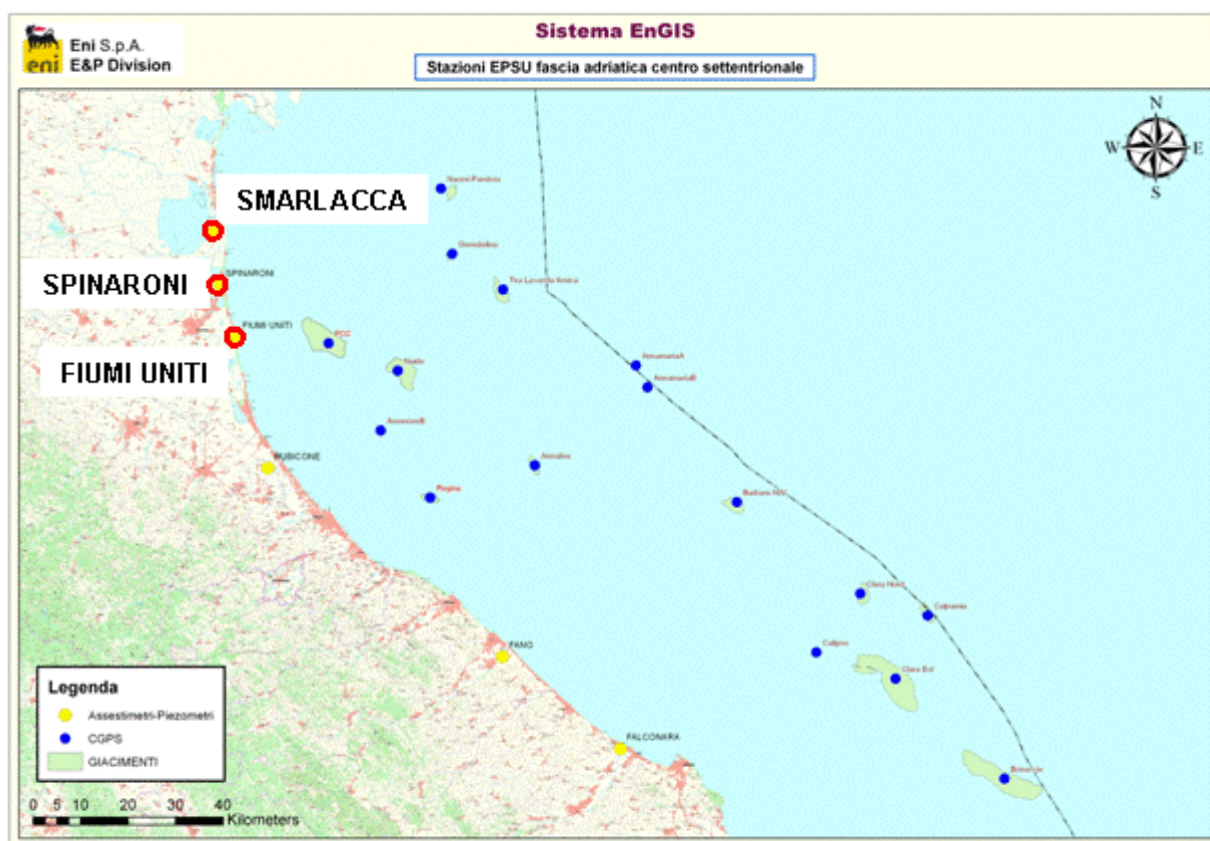


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU.

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

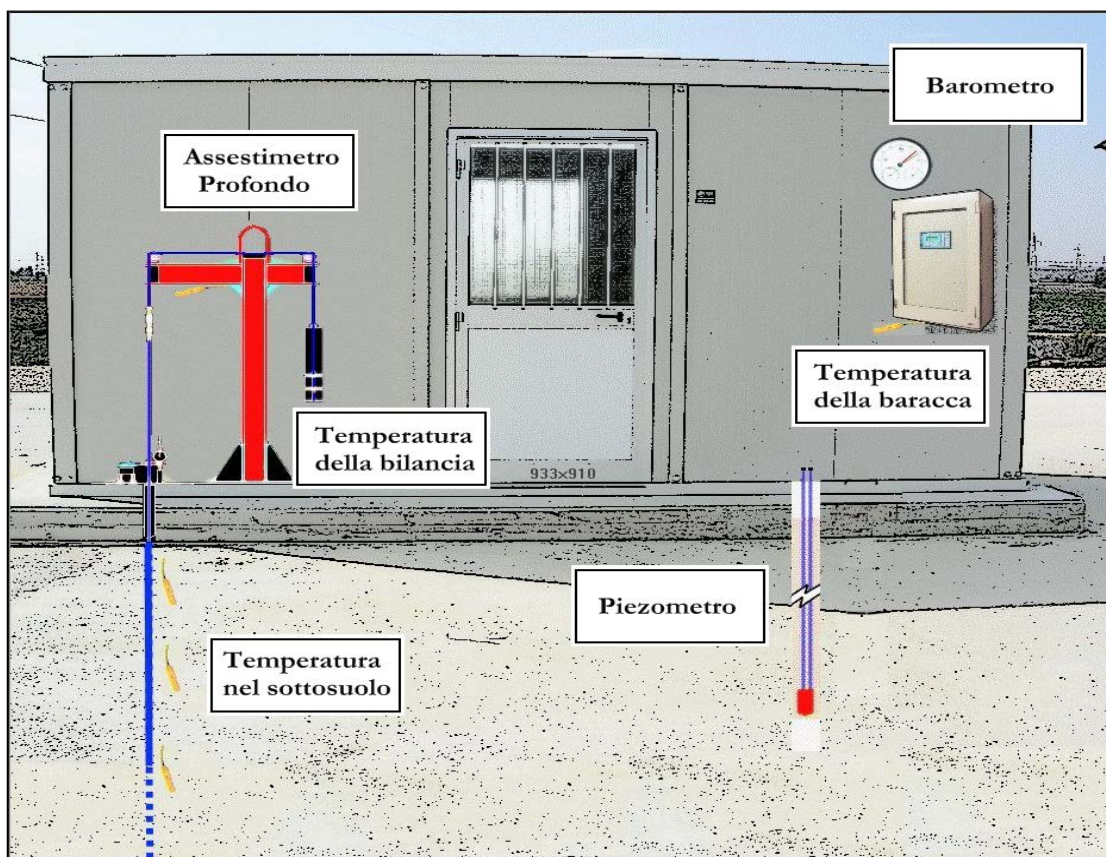


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

Per ciascuna stazione EPSU si allegano:

1. scheda che ne descrive sinteticamente le principali caratteristiche;
2. grafico che mostra l'andamento temporale di tutte le misure;
3. file in formato excel che contiene i valori numerici di tali 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 di una doppia verticale assestimetrica: un assestimetro profondo (334,15 metri d'asta di misura) e un assestimetro superficiale (29,5 metri d'asta di misura).

L'installazione è stata fatta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 ottobre 1997; il sistema è stato completato nel mese di novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 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 da p.c.

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di un dato ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, la 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'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.

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. Tale salto è confermato anche dalle misure effettuate con il comparatore meccanico durante i sopralluoghi per le manutenzioni ordinarie. Si tratta di un comportamento anomalo se rapportato con gli andamenti precedenti e successivi a detto periodo di osservazione. Il grafico storico mostra, infatti, una compattazione a velocità più o meno costante in tutti i periodi dell'anno, tranne che nel luglio-settembre 2003 in cui il fenomeno ha avuto un'accelerazione (l'estate del 2003 è stata caratterizzata da temperature atmosferiche molto elevate e assenza di precipitazioni piovose, condizioni che potrebbero aver favorito una compattazione superficiale maggiore).

Dopo questo periodo gli assestimetri sono tornati a registrare il solito trend a velocità costante.

Per quanto riguarda i termometri installati lungo la verticale assestimetrica, si segnala un guasto al sensore posto a quota -4 metri la cui misura si interrompe da marzo 2013.

Le misure registrate da entrambi gli assestimetri (superficiale e profondo) mostrano lo stesso trend di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti. 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 assestimetrica è stato installato 4 anni più tardi anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare per quella zona una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a circa 6,5 mm/a.

Un confronto fra i valori diversi 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 (> 334 m).

Si è fatto, inoltre, un confronto fra le misure assestometriche (per comodità si sono riportate solo quelle registrate dalla strumentazione più profonda) e quelle geodetica 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 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**

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.

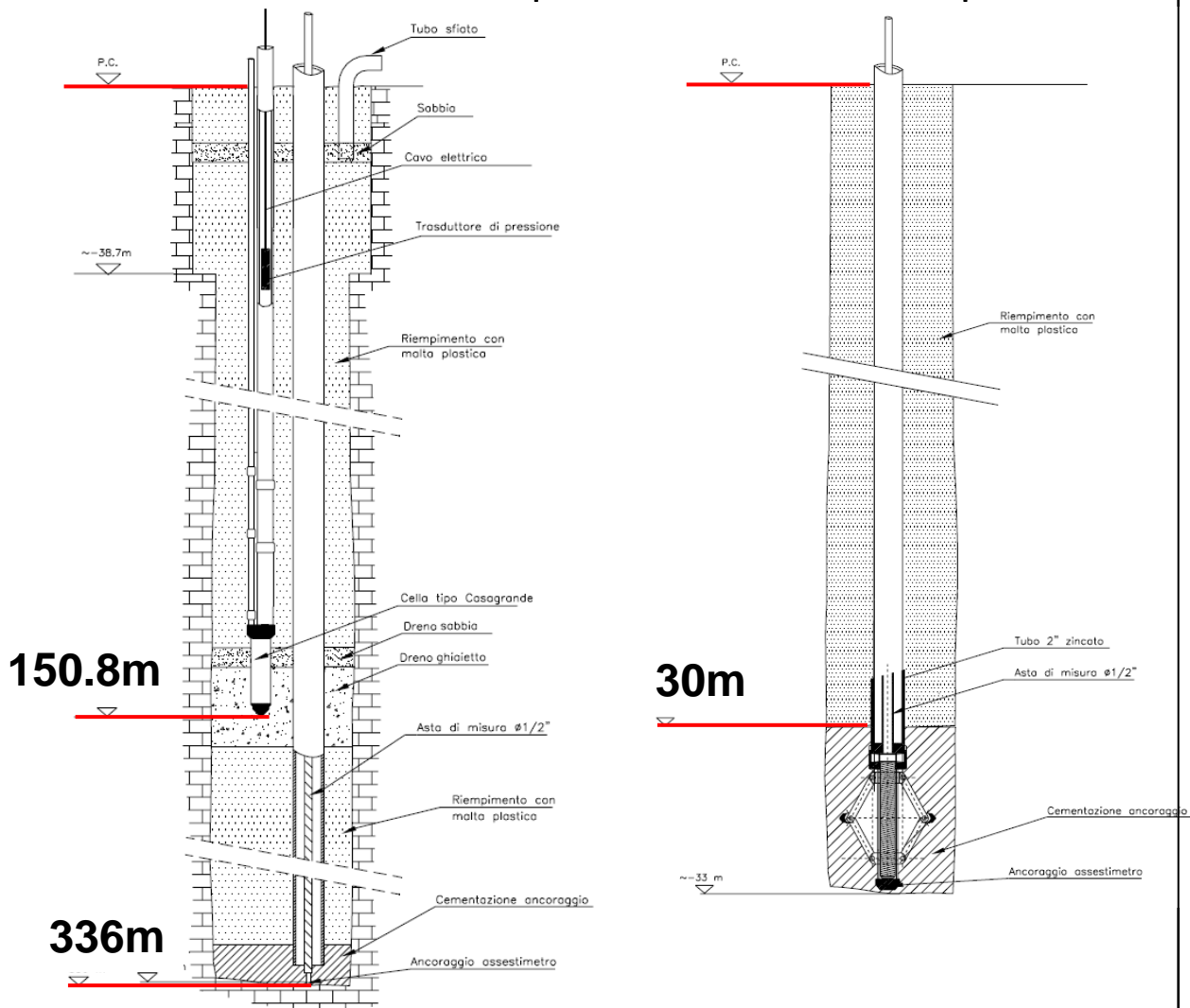


# SMARLACCA

Piezometro

Assestimetro profondo

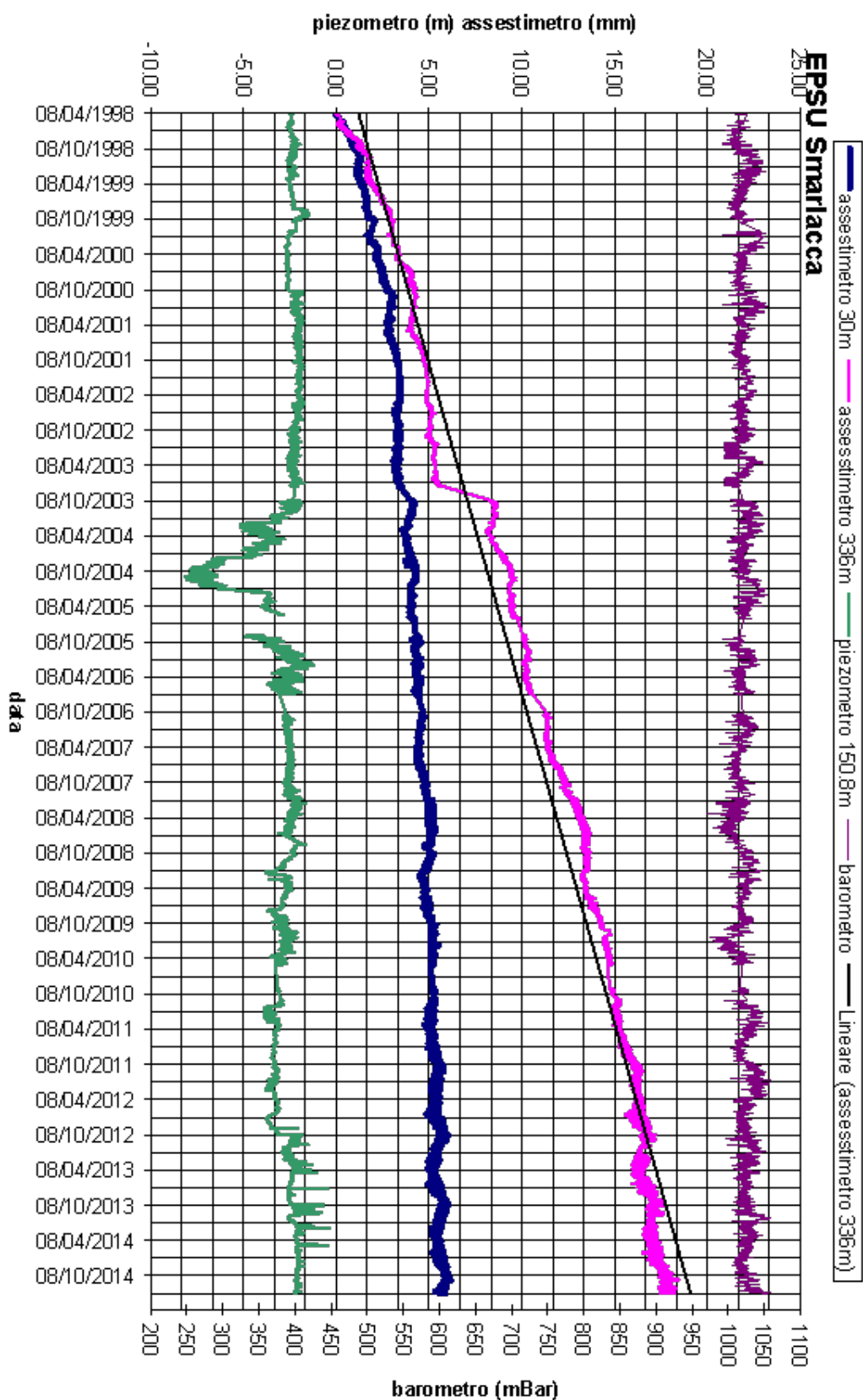
Assestimetro superficiale



*non in scala*

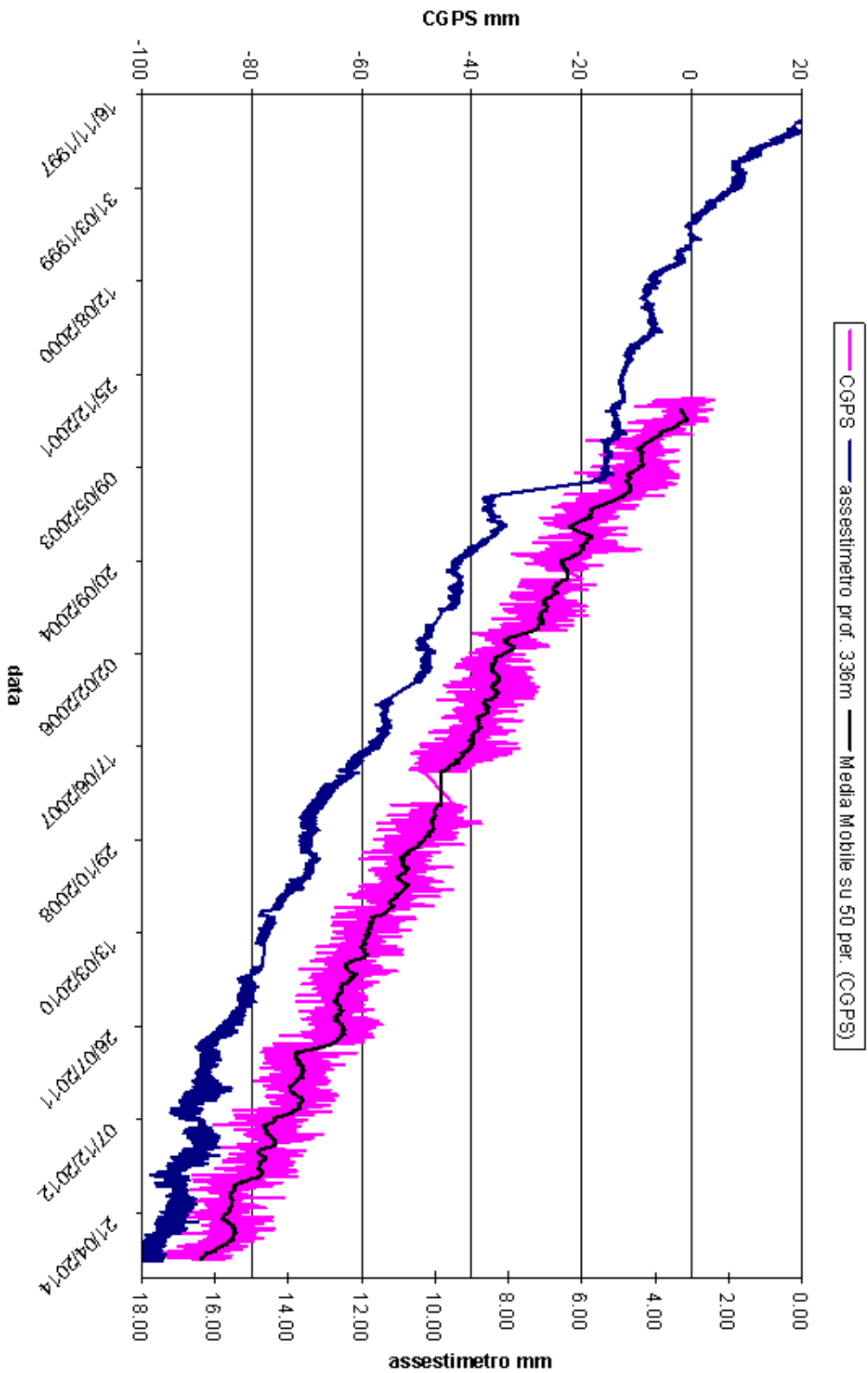


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento






### SMARLACCA - 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)

 <b>eni spa</b> <b>exploration &amp; production division</b>	Campo di PORTO CORSINI MARE novembre 2015	Page - 39 - of 56
---	---	-------------------

## **Stazione EPSU di Spinaroni - ex PCTA (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.

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 ( $\varnothing \frac{1}{2}$ " ).

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.

### **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 con-

fronto. 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.

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'assestometro 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. Non sono state chiarite le ragioni di tale anomalia.

Per questa stazione si hanno a disposizione circa 17 anni di osservazione. In questi anni si è registrata una compattazione totale di 49,5 mm, corrispondente a una velocità media di 2,9 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 7,7 mm/a.

Un confronto fra i valori diversi 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 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).

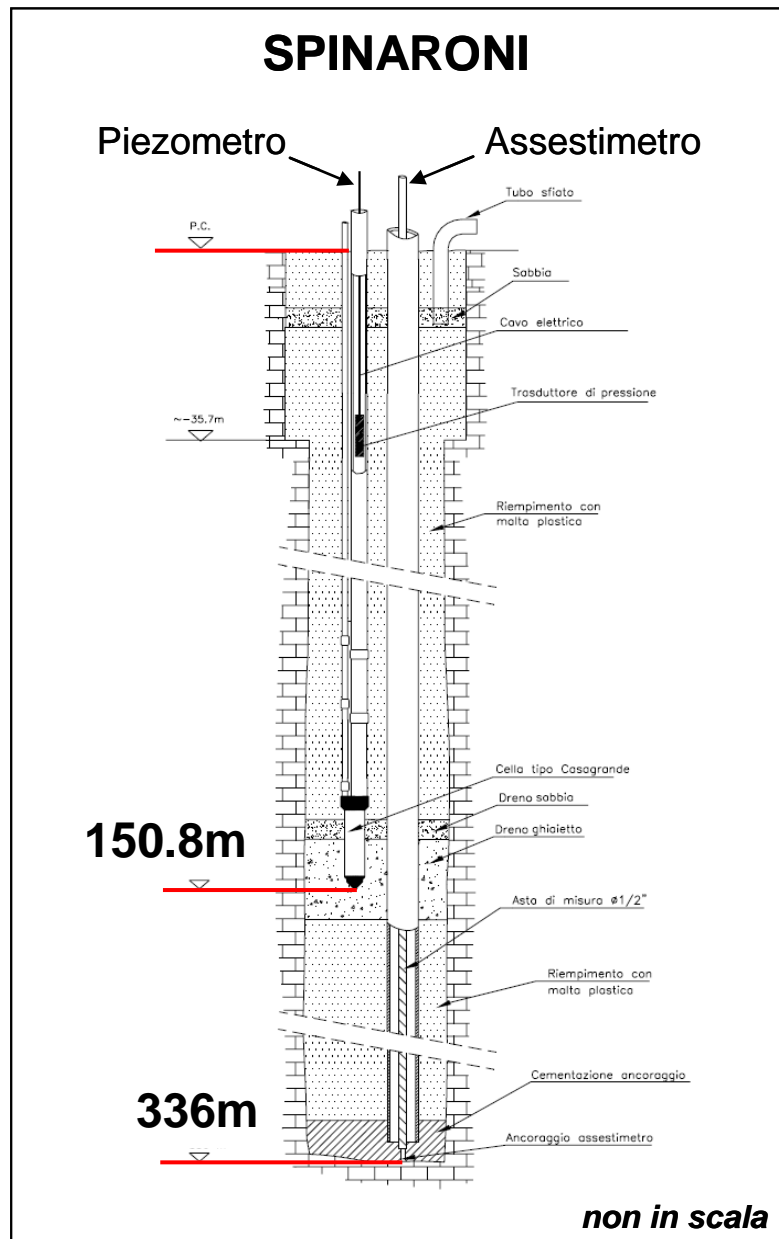
### **Analisi dei dati piezometrici**

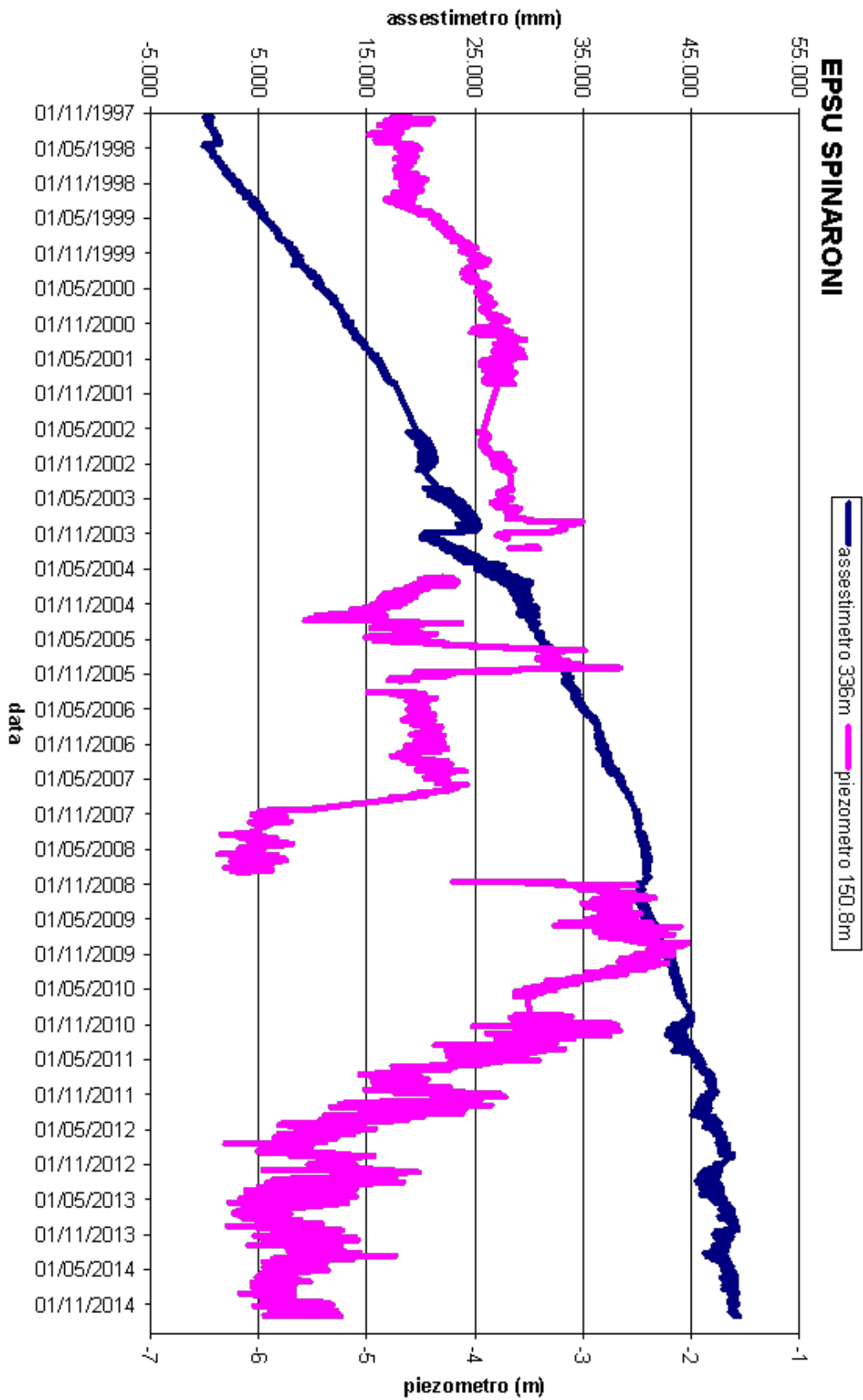
Il grafico con la curva piezometrica riporta, in ordinata a sinistra, la quota piezometrica riferita alla profondità di posa della cella Casagrande. I dati piezometrici diagrammati sono già depurati dalla variazione barometrica.

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 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.

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.

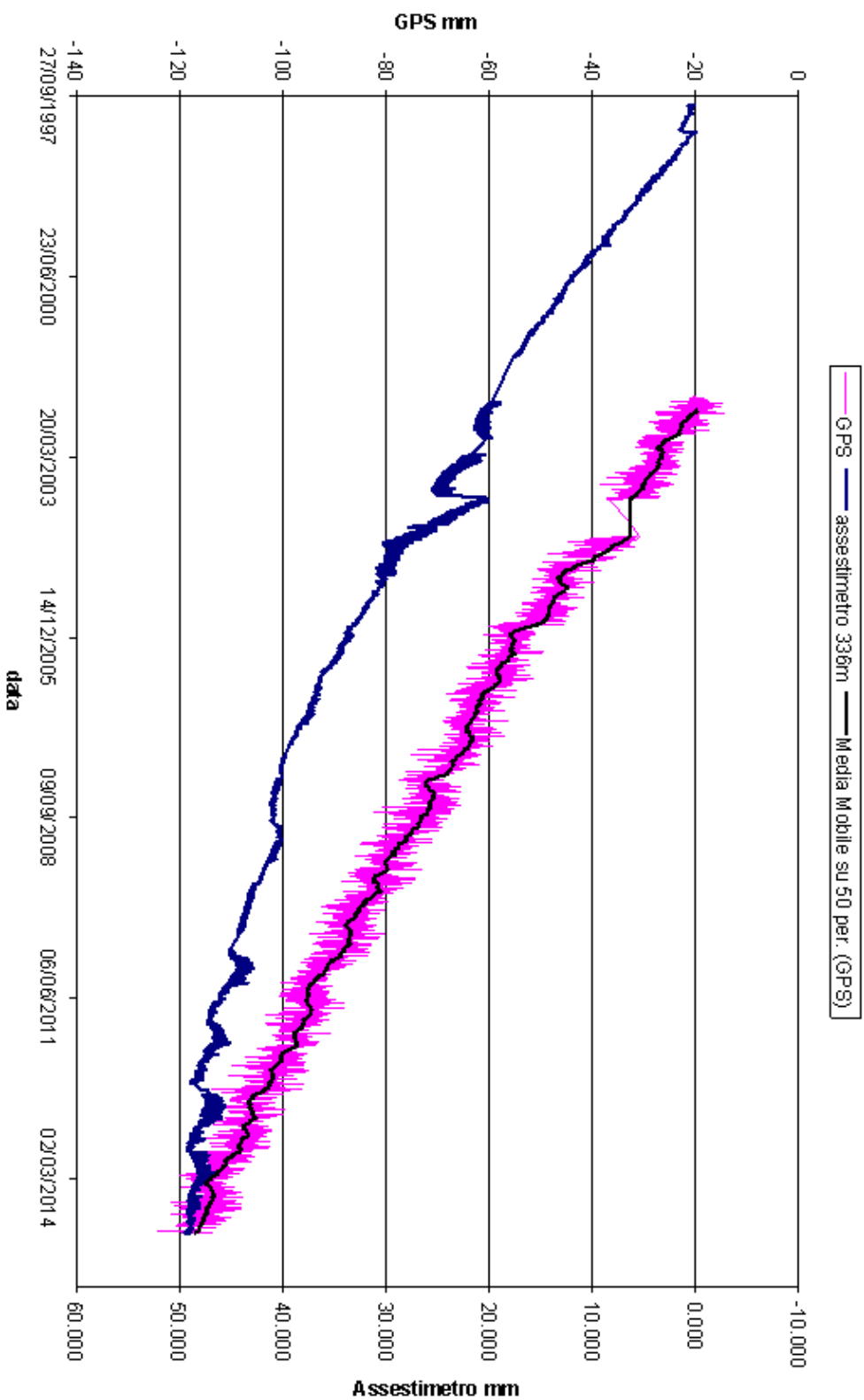




L'assestimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento



### 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

- assestimetro profondo - quota bottom: 372,85 m da p.c.
- assestimetro superficiale – quota bottom: 224,2 m da 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	10,5	Tubo aperto	da 6,4 a 9,5 m da p.c.
PS-2	30,5	Tubo aperto	da 25,4 a 29,5 m da p.c.
PP-1	373,5	Tubo aperto	da 361,0 a 365,0 m da p.c. e da 366,5 a 372,5 m da p.c.
PP-2	257,0	Tubo aperto	da 241,0 a 245,0 m da p.c. e da 250,0 a 256,0 m da p.c.
PP-3	163,0	Tubo aperto	da 141,1 a 153,2 m da p.c.e da 156,0 a 162,0 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, di fatto, non erano funzionanti, poiché in comunicazione idraulica tra 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. Lo stesso 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.

### **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 assestimetrica.

Per tutti circa i 20 anni di misure fatte, le due curve assestimetriche mostrano andamenti molto simili, con minimi scostamenti tra loro. 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 14,7 mm/a.

Un confronto fra i valori diversi 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 GPS e assestimetrica 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:

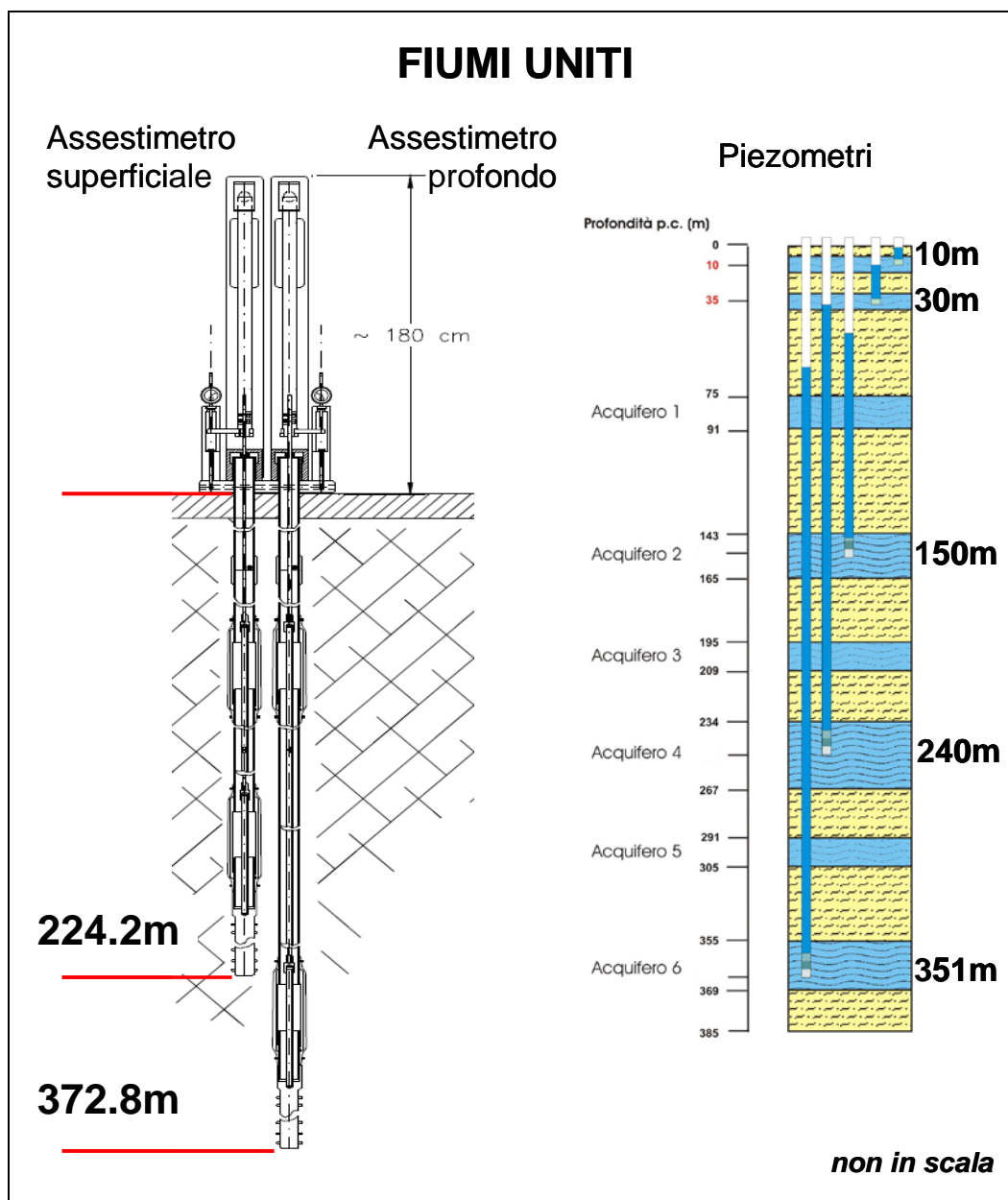
- il confronto delle due curve, è stato fatto per lo stesso periodo di osservazione (2002-2014), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestimetro di circa 8 anni più lunga;
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

## **Analisi dei dati piezometrici**

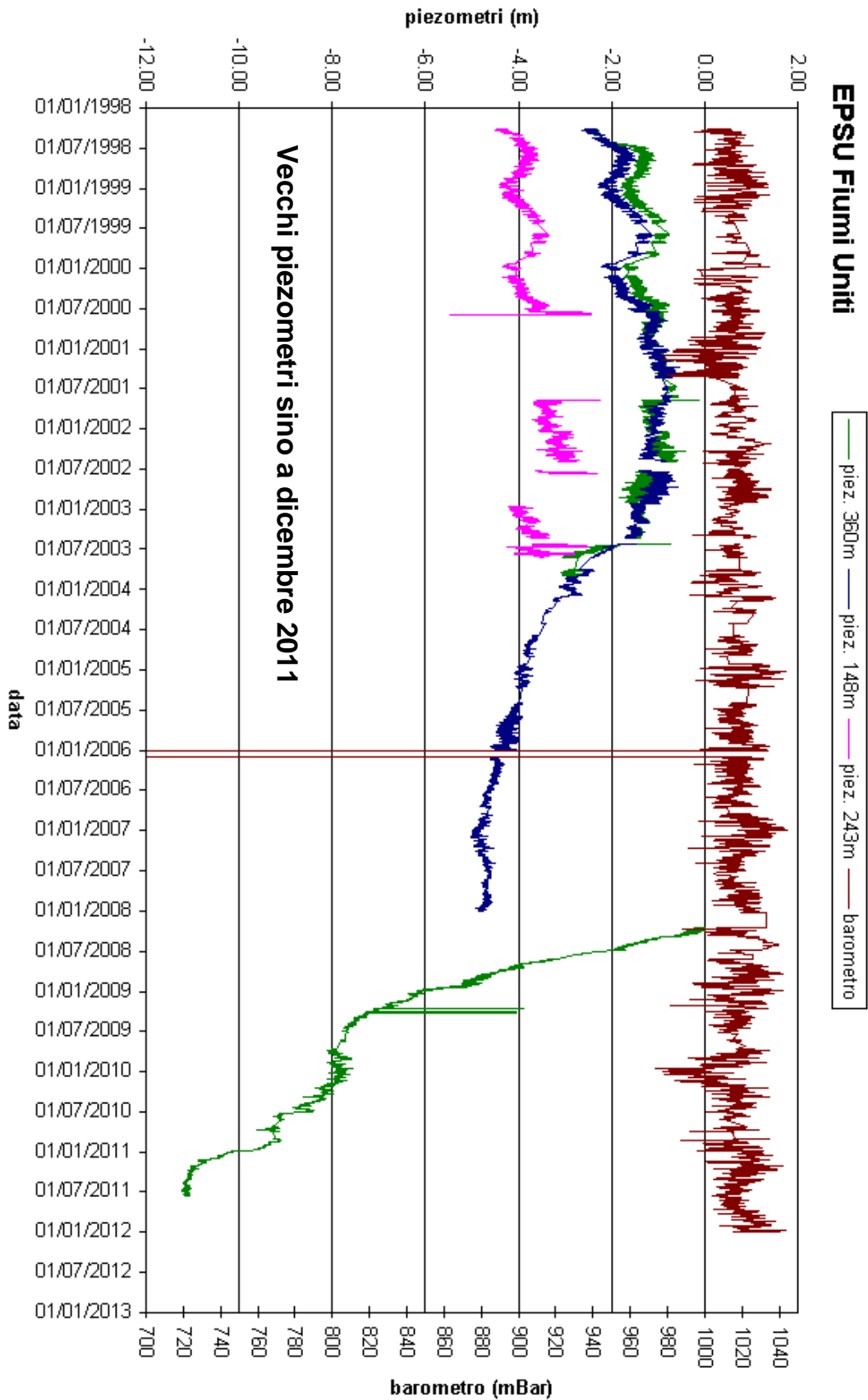
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre verticali piezometriche che, però, nel corso del tempo si sono guastate. Per un lungo periodo, quindi, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle del piezometro più profondo, ritenuto attendibile.



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.



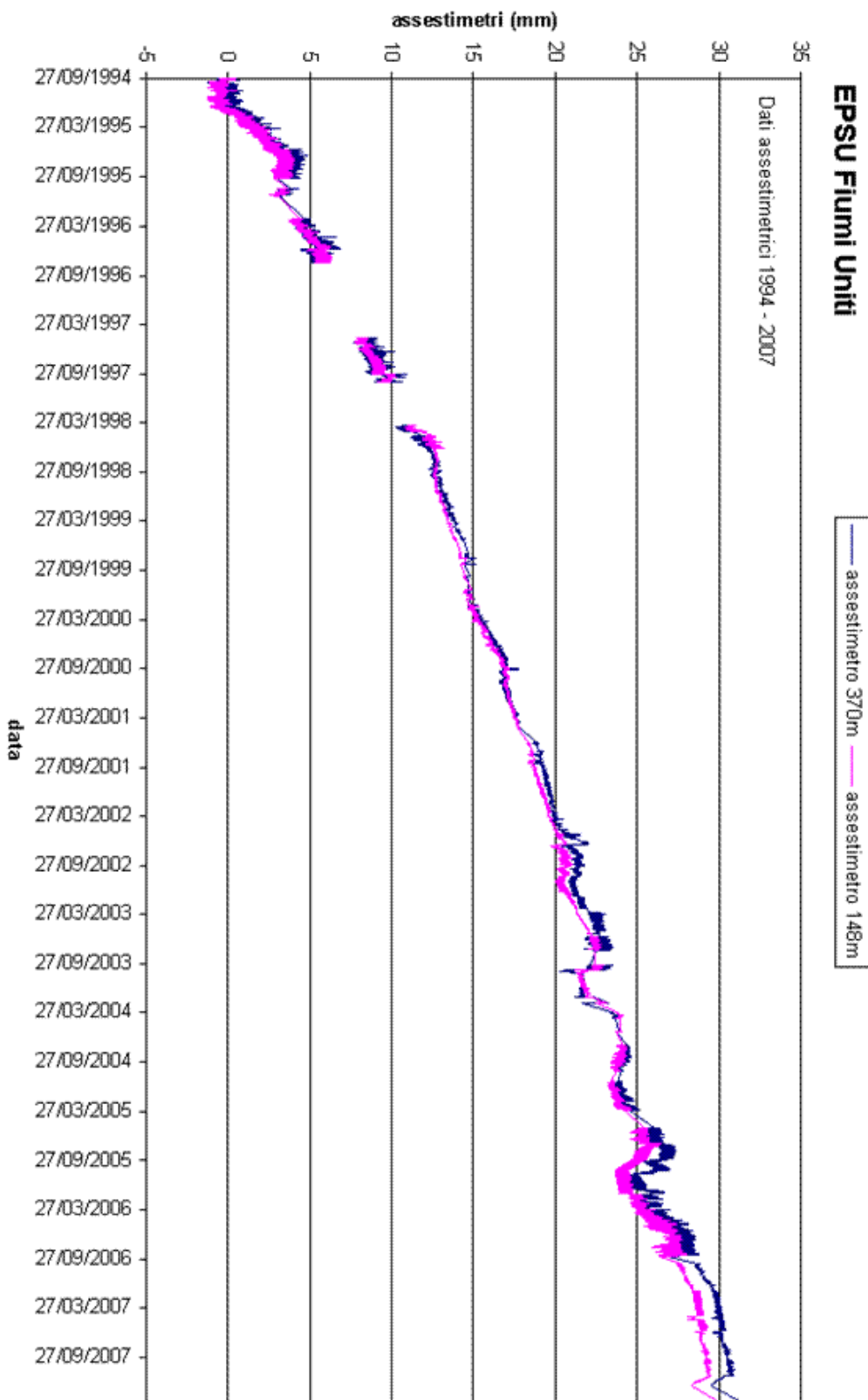




L'assessimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento

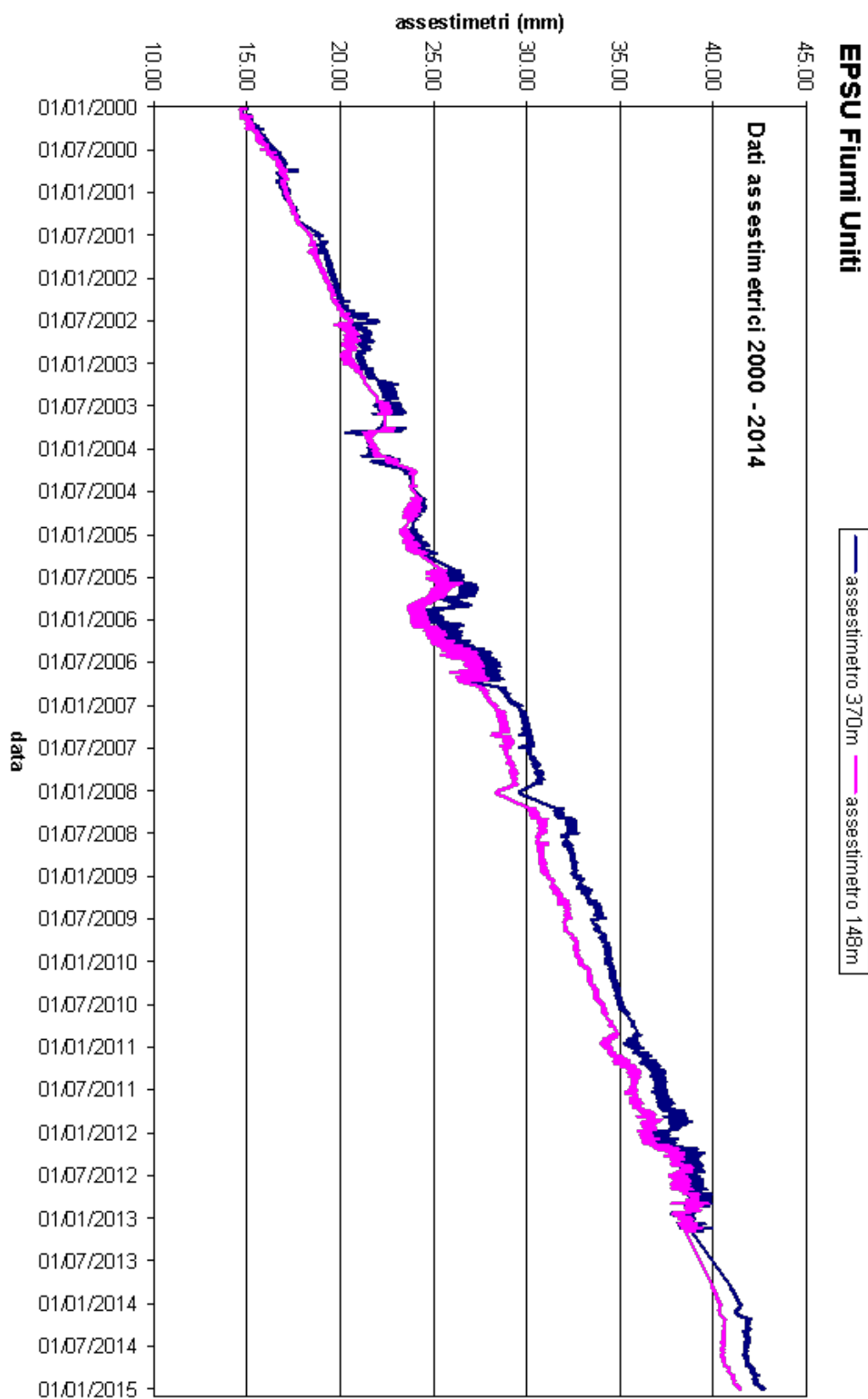


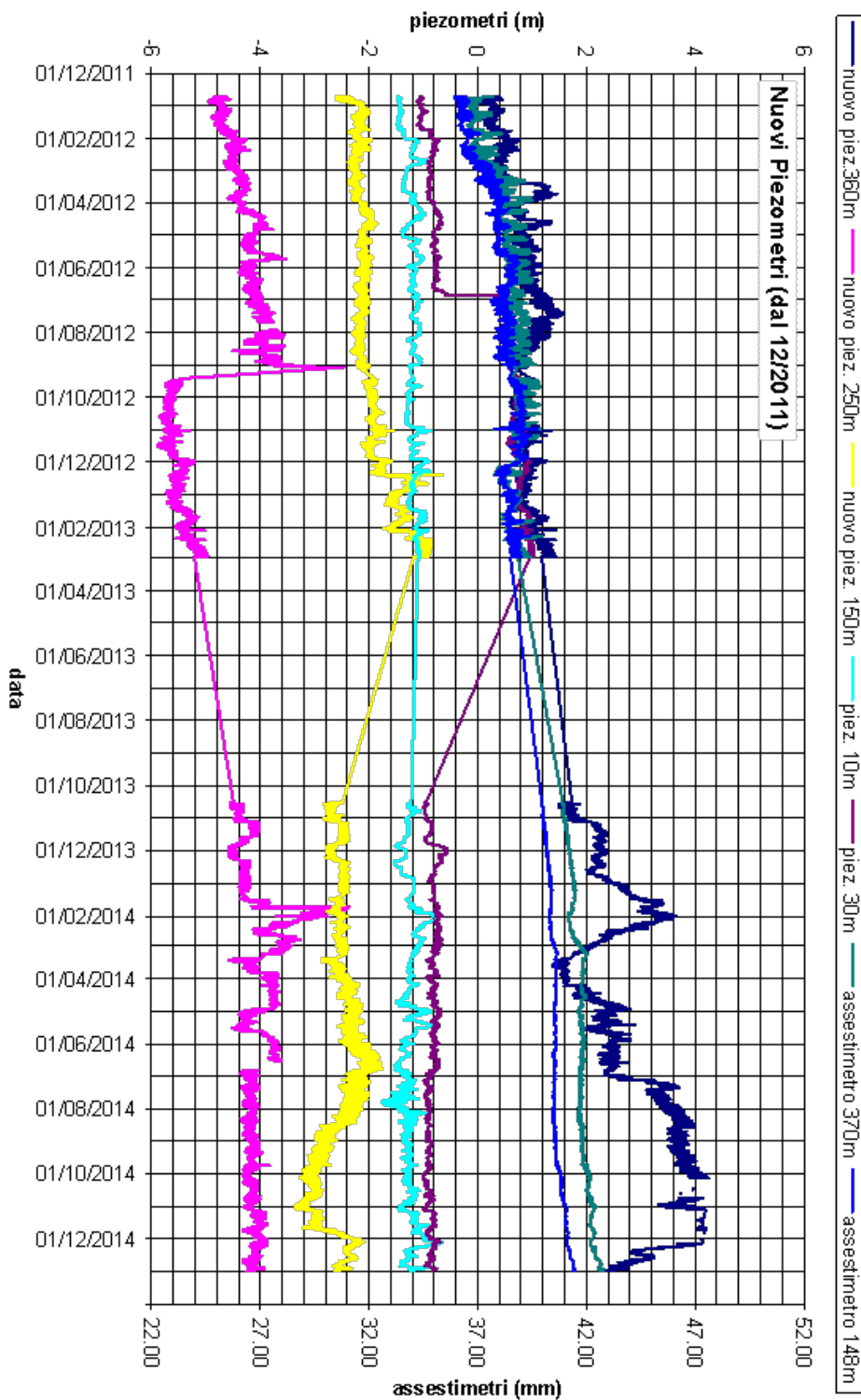
L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento

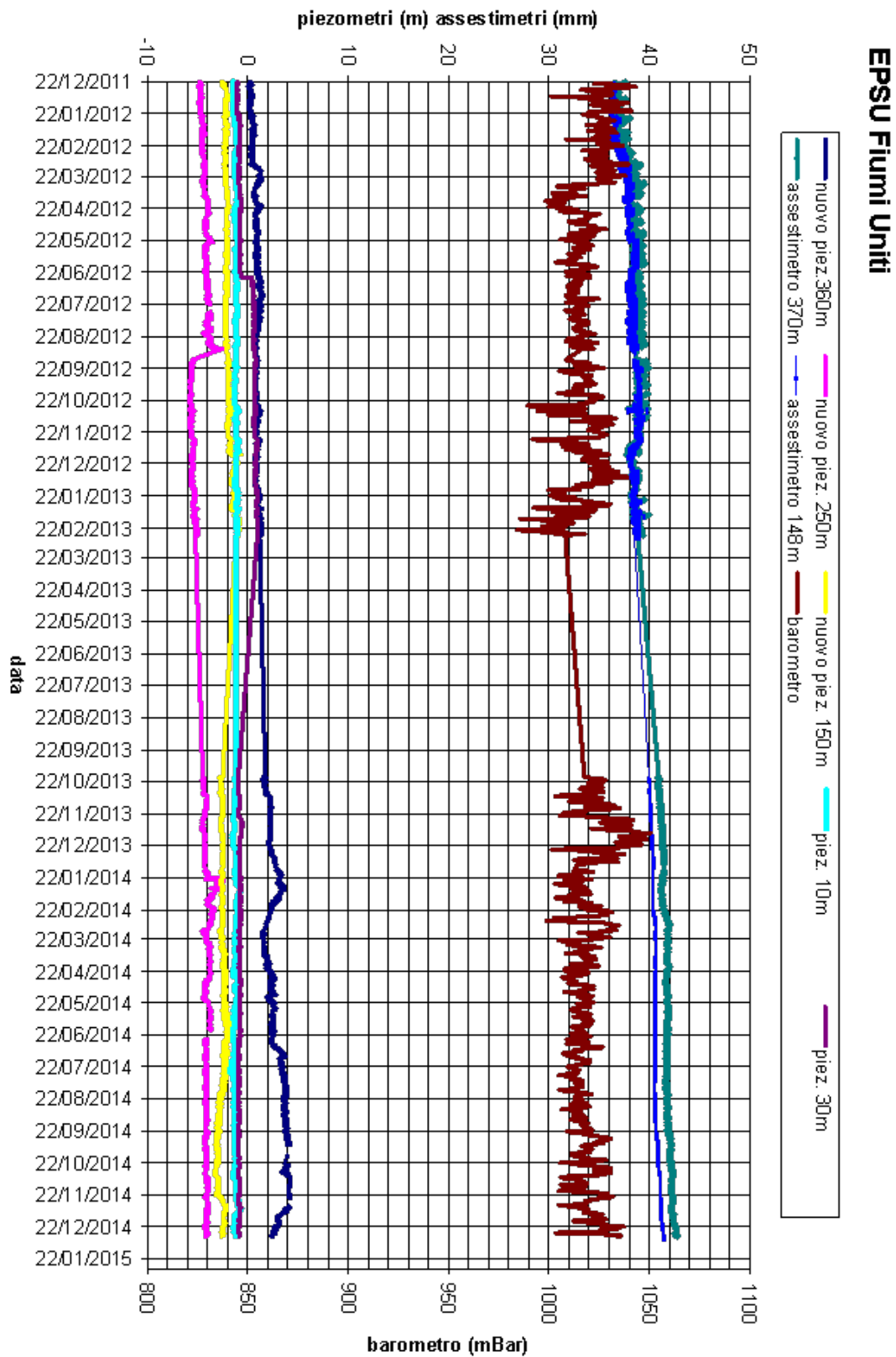




L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento

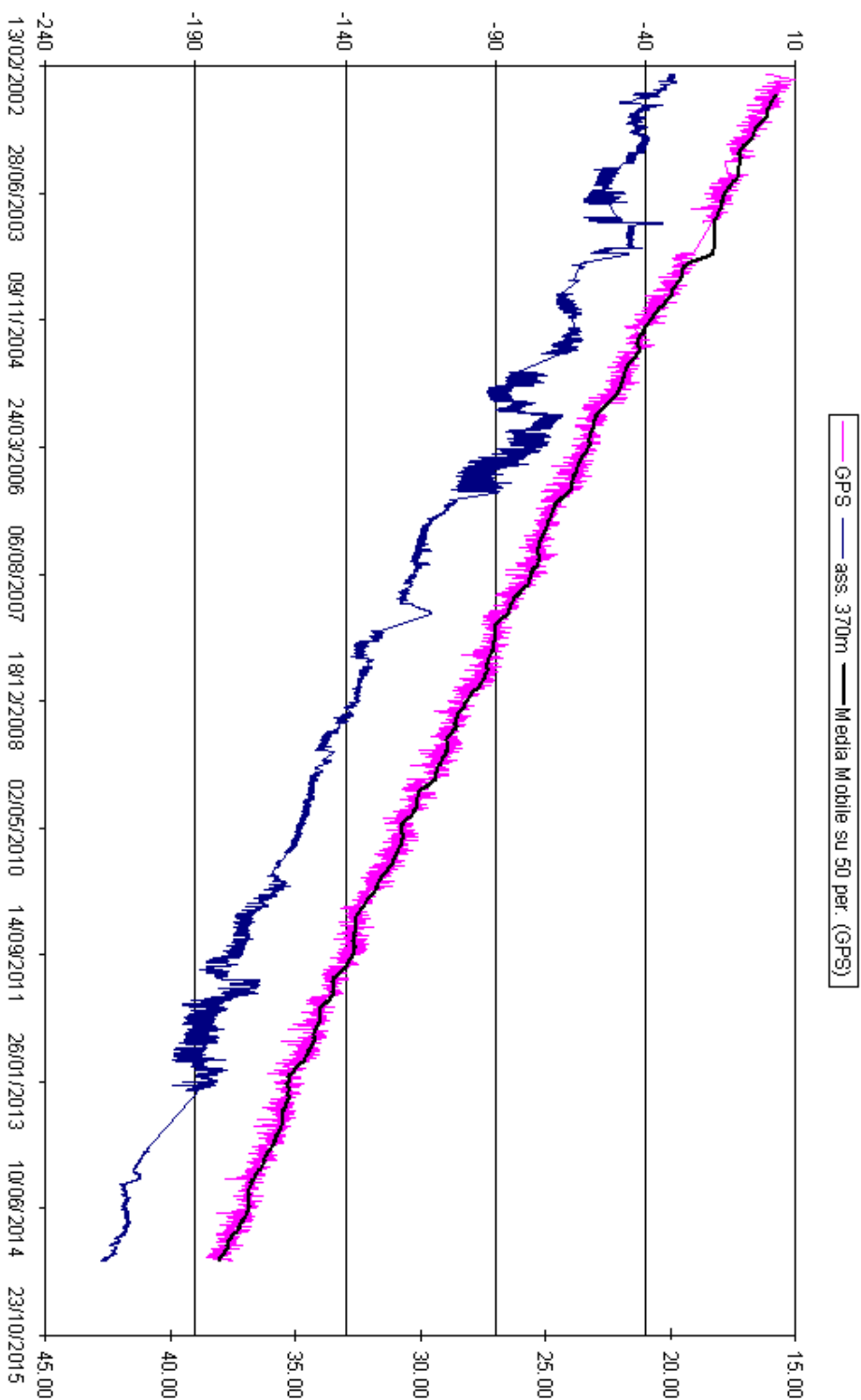








### FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assesimetro profondo



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)



## 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. Dalle serie storiche di misure disponibili si può, quindi, valutare l'entità della compattazione più superficiale del terreno nelle zone ove sono ubicate dette stazioni.

### Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di oltre 16 anni (16,7), durante i quali l'assestometro più profondo ha registrato una compattazione regolare, anche se meno marcata rispetto a quanto misurato nelle stazioni di Spinaroni e di Fiumi Uniti. L'andamento delle misure è stato, infatti, più o meno costante nel tempo, tranne che per l'abbassamento registrato nel periodo luglio-settembre 2003: la compattazione totale è stata pari a 18,2 mm (ca. 1,1 mm/a).

Un analogo trend nelle misure si rileva anche per l'assestometro più superficiale, che, però, ha registrato una compattazione totale nettamente più ridotta (5,9 mm complessivi, corrispondenti a circa 0,4 mm/a).

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

Per quanto riguarda la piezometria si è già segnalata la non attendibilità del piezometro.

### Spinaroni

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 17 anni di osservazioni (17,1) durante i quali si è registrata una compattazione di 49,5 mm (circa 3,0 mm/a) con un andamento, dopo il primo periodo di assestamento, piuttosto regolare tranne che per la brusca variazione dell'ottobre 2003 di cui si è detto in precedenza.

La correlazione dell'andamento nel tempo delle curve GPS e assestimetrica 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 sopraccitate.

Il valore attuale – dicembre 2014- della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 42,8 mm, mentre per quello superficiale detto valore è risultato di ca. 41,5 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di oltre 20 anni (20.27) d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato una velocità media di compattazione di circa 2÷2,1 mm/a.

L'esame delle curve GPS e assestimetrica profonda mostra poi andamenti abbastanza disuguali nei cicli di compattazione ed espansione del terreno registrati dalle due strumentazioni.

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)
<b>Smarlacca</b>	16,7	18,2	1,1	5,9	0,4
<b>Spinaroni</b>	17,1	49,5	3,0	-	-
<b>Fiumi Uniti</b>	20,3	42,8	2,1	41,5	2,0