



## Campo di BARBARA NW

Aggiornamento al 31/12/2015

Il campo di Barbara NW è situato nell'offshore Adriatico circa 55 km a NE di Ancona, a una profondità d'acqua di circa 70 m, nella concessione A.C7.AS evidenziata in Figura 1.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C7.AS	12/11/19	Eni	Eni	100%	Marche

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale asimmetrica orientata in direzione NW-SE, che si estende per circa 10 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra i 1000 e 1300 m slm e interessa i livelli della serie PLQ rappresentata dal Gruppo Asti, F.ne Carola (Figura 2).

Il campo di Barbara NW è stato scoperto nel 1971 con il pozzo Barbara NW 1. Il ritrovamento è stato poi confermato nel periodo 1979÷1991 dalla perforazione dei pozzi Barbara NW 2 e 3. Nel 1992 è stato perforato il pozzo Barbara NW 4 risultato sterile. Nell'ottobre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Barbara NW con la perforazione di 4 pozzi e la posa del relativo sealine di collegamento.

Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello Eclipse 3D) del settembre 1995. Tale profilo prevedeva il recupero di 2100 MSm<sup>3</sup> di riserve in 18 anni con un picco di produzione giornaliera di 800 kSm<sup>3</sup>/g.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico Geertsma cilindrico, è risultata pari a 18,6 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 20 anni dall'inizio della produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) era stimato estendersi per circa 3 km verso la costa.

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



- compressibilità uniassiale  $C_m = 0.612 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$ ;
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0.33$ .

In seguito al Decreto VIA n° 3477 del 15/12/98 che approvava il programma lavori presentato, nel 1999 si è sviluppato campo con la perforazione dei 4 nuovi pozzi Barbara NW 5, 6, 7 e 8 da una piattaforma di tipo BEAF.

La piattaforma Barbara NW è entrata in produzione nel settembre del 1999 con una portata iniziale di circa 700 kSm<sup>3</sup>/g.

Il comportamento produttivo del campo durante i primi 5 anni è risultato, però, inferiore alle attese a causa dell'arrivo prematuro dell'acqua di formazione, il che ha reso necessaria una revisione dello studio statico e dinamico di giacimento.

Tale revisione, fatta nel maggio 2007, ha dato come risultati:

- 1) riduzione dell'11% del GOIP totale (*GOIP studio statico settembre 1995 pari a 3370 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del maggio 2007 pari a 2983 MSm<sup>3</sup>*);
- 2) riduzione del 49% delle riserve a vita intera del campo sia per effetto del calo del GOIP, sia, soprattutto, per una migliore taratura del contributo dell'acquifero che ha penalizzato il recupero finale di gas. Il nuovo profilo di produzione prevede, infatti, il recupero di 1080 MSm<sup>3</sup> entro il 2024 con graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale d'acqua prodotta.

Sulla base dei risultati dello studio di giacimento maggio 2007 sono state a loro volta aggiornate le previsioni di subsidenza. A tale scopo si è utilizzato un modello geomeccanico del tipo Geertsma semianalitico con una legge costitutiva di tipo elasto-plastico *CCM (Cam Clay Modificato)* per la roccia serbatoio del giacimento e degli acquiferi idraulicamente connessi. La calibrazione di tale legge costitutiva è stata fatta con i valori compressibilità uniassiale  $C_m$  derivati dalle misure di compattazione in situ eseguite sino al giugno 2003 nei pozzi attrezzati con marker dei campi a gas del Nord Adriatico [*Hueckel et al.*<sup>1</sup>].

---

<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.



Dalle simulazioni con modello geomeccanico si è ottenuta una previsione di subsidenza massima di 15,5 cm dopo circa 10 anni dall'inizio produzione e un'estensione massima del cono di subsidenza di circa 12 km verso la costa, che è raggiunta al termine della vita produttiva del campo. La distanza minima della linea d'isosubsidenza di 2 cm dalla costa è risultata, quindi, pari a 43 km.

Nel corso del 2010, a seguito della presentazione dell'istanza di sviluppo per il vicino campo di Fauzia, si sono di nuovo aggiornati sia il modello di giacimento, sia quello geomeccanico al fine di valutare la possibile subsidenza indotta dalla coltivazione dei due giacimenti, tenendo conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi (la struttura di Fauzia dista da quella di Barbara NW circa 10 km in direzione SW).

La previsione di subsidenza è stata fatta con un modello a elementi finiti (FEM) utilizzando il codice di calcolo Abaqus e considerando diversi scenari di pressione e compressibilità (*rel. Eni-TERA: Campi di Barbara NW e Fauzia – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary – agosto 2010*).

Per lo scenario di riferimento, ritenuto il più probabile, la subsidenza massima prevista è stata pari a 31 cm dopo circa 10 anni (al 2022); il cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) a sua volta è risultato estendersi al massimo per 14 km verso la costa al termine della vita produttiva e fino a fine simulazione, esaurendosi a circa 41-42 km dalla linea di costa.

In base alle prime indicazioni ottenute dall'ultima revisione dello studio di giacimento (*rel. GIAC/CS n° 77-09 del 10/2009*), si sono pianificati nel 2010 alcuni interventi finalizzati a migliorare la produzione e il recupero di gas dal giacimento stesso. Il relativo programma operativo prevedeva sia l'esecuzione di un side-track del pozzo Barbara NW 8 dir, sia la perforazione di due nuovi pozzi da "slot" ancora disponibili sulla piattaforma di Barbara NW (Barbara NW 9 dir e Barbara NW 10 dir).

In seguito ai risultati positivi ottenuti con l'esecuzione dei tre pozzi di progetto e in considerazione del notevole interesse minerario dei livelli sottili profondi mineralizzati a gas, si è modificato il programma iniziale perforando nel settore orientale del campo altri due sidetrack: Barbara NW 7 dirB e Barbara NW 6 dirA.



L'intervento sulla piattaforma Barbara NW è terminato nel dicembre 2011.

Le nuove informazioni sul giacimento acquisite con gli interventi sopra menzionati e le migliori performance del campo hanno, inoltre, portato a un ulteriore revisione/aggiornamento dello studio di giacimento, sia statico che dinamico (*rel. GISE 33/12 – Campo di Barbara NW – Studio di giacimento – dicembre 2012*) che ha prodotto i seguenti risultati:

- 1) rivalutazione del GOIP dei livelli sviluppati del campo pari al 175% (*GOIP studio statico maggio 2007 pari a 2983 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del dicembre 2012 pari a 8200 MSm<sup>3</sup>*);
- 2) conseguente incremento del 142% delle riserve a vita intera del campo. Il nuovo profilo di produzione prevede, infatti, il recupero di 2646 MSm<sup>3</sup> entro il 2029 (Figura 3) con graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale d'acqua prodotta.

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g) e della produzione cumulativa di gas, pari a 1923 MSm<sup>3</sup>, aggiornata al 31/12/15.

Nella Figura 5 è, invece, presentato il confronto tra il profilo di pressione calcolato da modello Eclipse del dicembre 2012 e le pressioni statiche misurate per il livello rappresentativo del campo PLQ-B+C1 e PLQ-C1+C2 che evidenzia il buon accordo tra le previsioni modellistiche (talora conservative) e le misure effettuate.

Sulla base dei risultati dello studio di giacimento sono state nuovamente aggiornate le previsioni di subsidenza considerando ancora i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica tra il campo di Barbara NW e quello di Fauzia.

Le previsioni di massima subsidenza ed estensione del relativo cono (*rel. Eni-TERA n° 04-13 dell'aprile 2013*) per lo scenario di riferimento sono riportate nella Tabella 1 per alcuni step temporali, durante e dopo la vita produttiva dei due campi. Lo studio, infatti, è stato protratto fino al 2060 (a pozzi chiusi) in modo da considerare l'effetto dell'evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione.

I principali risultati, relativi allo scenario di riferimento considerato nella nuova previsione, sono:



**Tabella 1 – Massima subsidenza ed estensione del fenomeno per lo scenario di riferimento**

1-gen-2012		1-gen-2024		1-gen-2030 (fine produzione)		1-gen-2045		1-gen-2060 (fine simulazione)	
Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
41	6	76	12	76	13	72	13	70	13

Le conclusioni che se ne possono trarre per lo scenario di riferimento sono:

- il valore massimo di subsidenza previsto in corrispondenza del campo di Barbara NW risulta pari a 76 cm. Tale valore è raggiunto nel 2024 e si riduce a 70 cm a fine della simulazione per effetto di un rebound conseguente alla ripressurizzazione del giacimento dopo la chiusura finale dei pozzi;
- nel 2030 (fine della produzione) la massima estensione del cono di subsidenza (linea di isosubsidenza dei 2 cm) è pari a 13 km in direzione della costa. Tale distanza rimane pressoché invariata fino alla fine della simulazione;
- il cono di subsidenza si esaurisce, quindi, a una distanza di circa 42 km dalla linea di costa (Figura 6 e 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.



La rete di livellazione, rilevata nel 2014 (ultimo rilievo fatto), 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.

Nel tratto di costa antistante alle piattaforme di Fauzia e Barbara NW, con l'acquisizione della campagna 2014, sono in totale disponibili 6 campagne di livellazione, fatte negli anni 2006, 2007, 2008, 2009, 2011 e 2014. Si tratta complessivamente di una serie di misure ancora poco consolidata; il loro esame può consentire valutazioni d'ordine generale in merito alla velocità media di subsidenza del periodo 2006-2014, ma non può ancora essere considerato del tutto esaustivo ai fini del monitoraggio della costa che, comunque, è garantito da altri tipi di rilievo.



Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura, con il consolidamento dei dati CGPS e dei rilievi SAR, sarà possibile fare interpretazioni più sicure dei dati di livellazione anche per il tratto a sud di Pesaro.

Si deve, inoltre, 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 di seguito specificato.

Per la tratta da Pesaro a P.to Sant’Elpidio le misure sui singoli capisaldi sono state elaborate tramite regressione lineare; le corrispondenti velocità medie annue d’abbassamento del suolo  $V_a$ <sup>1</sup> 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 2006-2014 mostra per l’area in esame un quadro di generale abbassamento (Figura A), caratterizzato, però, da valori poco significativi, ove si consideri che il 93% dei punti analizzati ricade nella classe “1” con una media pari a 1,6 mm/a.

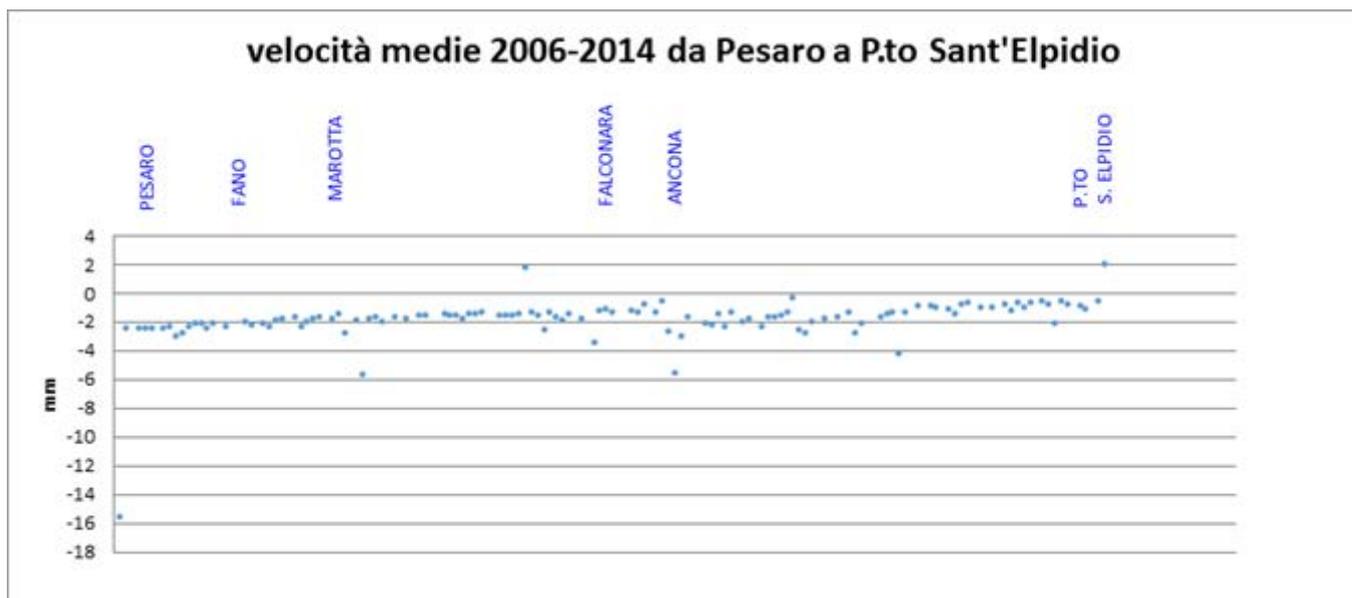
I capisaldi per i quali si osservano alte velocità d’abbassamento (es. 15.6 mm/a nella zona di Pesaro), oppure fenomeni d’innalzamento del suolo (es. -2 mm/a nella zona di P.to Sant’Elpidio) sono scarsi di numero (1%) e isolati: sono, quindi, poco significativi dal punto

---

<sup>1</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, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

di vista areale. Non si possono escludere fenomeni localizzati dovuti a instabilità dei capisaldi stessi, che saranno comunque oggetto di verifica nelle prossime campagne di misura.

**Figura A – Tratta Pesaro-Sant’Elpidio: Misure di livellazione (periodo 2006-2014)**



Il confronto tra i dati CGPS delle stazioni ubicate nell’area in esame (Fano, Falconara e P.to San Giorgio) con le misure delle livellazioni mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, 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 8).

Le attività di monitoraggio sono state integrate negli ultimi anni con 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) e 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 le nuove stazioni CGPS di Elettra, Fauzia, Barbara-E, e infine, nel 2015, è stata installata la stazione Bonaccia-NW. Le serie storiche delle stazioni installate nel 2014 e 2015, sono troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una trave di cemento armato.

Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice 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 le livellazioni, anche i dati del monitoraggio CGPS sono 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 Barbara NW, 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 9), si sono utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati come mostrato in Tabella 2.



**Tabella 2 - 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/anno	VEL-E mm/anno	VEL-H mm/anno	VEL-N mm/anno	VEL-E mm/anno	VEL-H mm/anno	D-N mm/ anno	D-E mm/ anno	D-H mm/ anno
Barbara-NW	6,31	32,32	-28,69	5,69	33,12	-31,39	0,62	-0,8	-2,7

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 di poter disporre di un numero sufficiente di osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e per 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 < 12mesi: 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 Barbara-NW, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>1</sup> misurata dal CGPS pari a -29,8 mm/a (Figura 9), in leggero aumento rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-28,7 mm/a al 2014 – Figura 11).

Tale stima della velocità media di subsidenza totale, fatta con la regressione lineare di tutte le misure disponibili, non consente, tuttavia, di cogliere importanti variazioni della velocità di subsidenza che si osservano nella serie storica di misure CGPS di Barbara NW.

In detta serie, infatti, si possono individuare due distinti periodi (Figura10):

- periodo che va dall'installazione del GPS all'agosto 2010 (inizio workover), in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -4,6 mm/a;
- periodo luglio 2011 - 31 dicembre 2015, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -40,3 mm/a.

---

<sup>1</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.



La serie storica disponibile dei dati CGPS risulta interrotta da agosto 2010 a luglio 2011 a causa delle operazioni di work-over in piattaforma. Si segnala che eventuali differenze nelle stime delle velocità, che si possono verificare rielaborando in epoche successive i dati GCPS, dipendono dal fatto che, l'aggiornamento delle serie storiche comporta la ridefinizione degli outliers, che sono determinati mediante il test a tre sigma su tutta la serie storica esistente.

Tenuto conto di quanto sopra detto e del fatto che i dati CGPS del 2015 non sono ancora stati certificati, si sono tuttavia confrontati i valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico dell'aprile 2013 con quelli misurati dalla stazione CGPS, senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale. Come mostrato dalla Figura 12, tale confronto conferma l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza e il carattere conservativo delle previsioni fornite relativamente allo scenario di riferimento.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza, la notevole distanza del campo dalla costa (55 km) e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dal campo di Barbara NW possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala infine che:

- a) in Figura 13 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 14 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

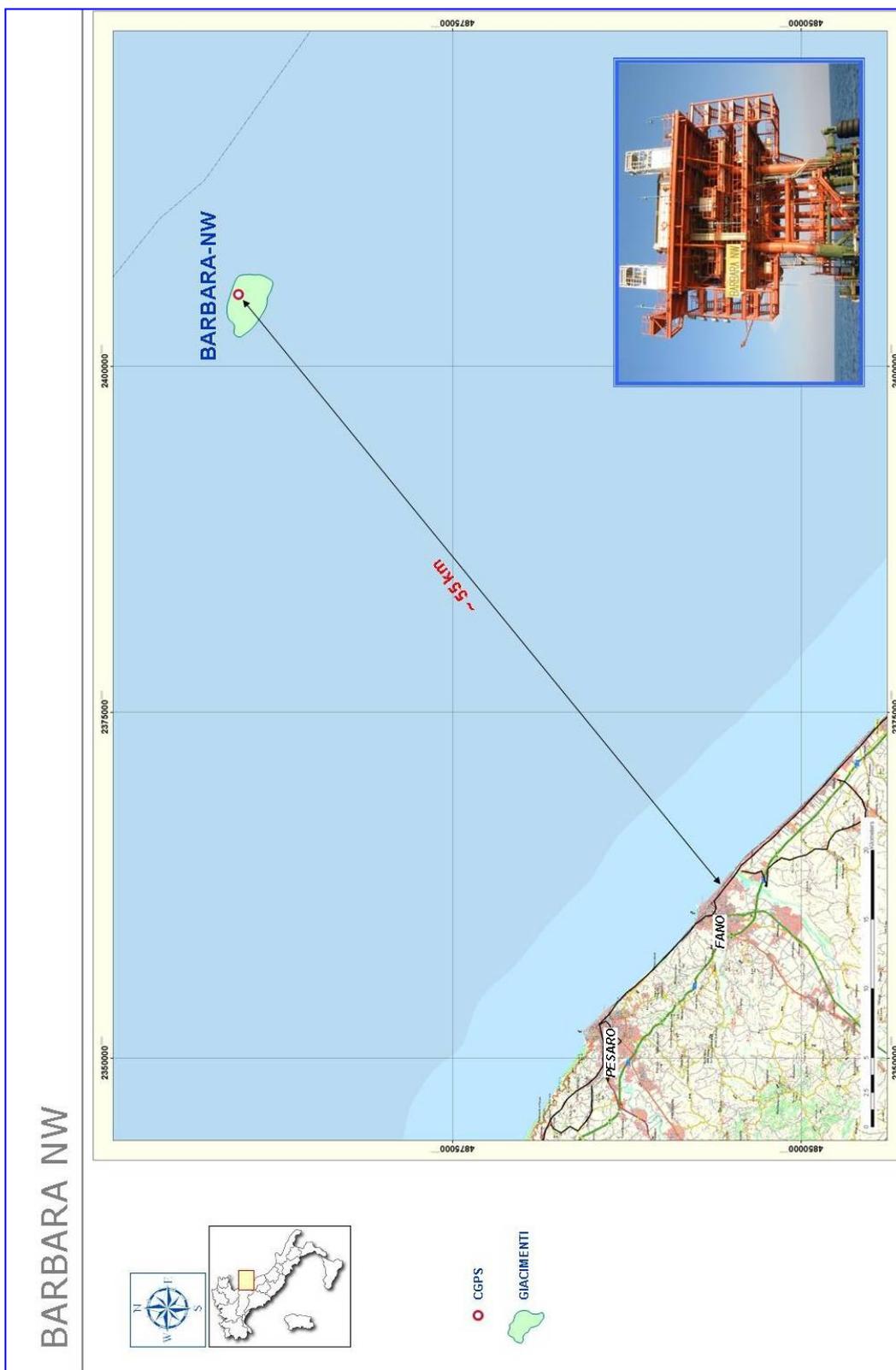
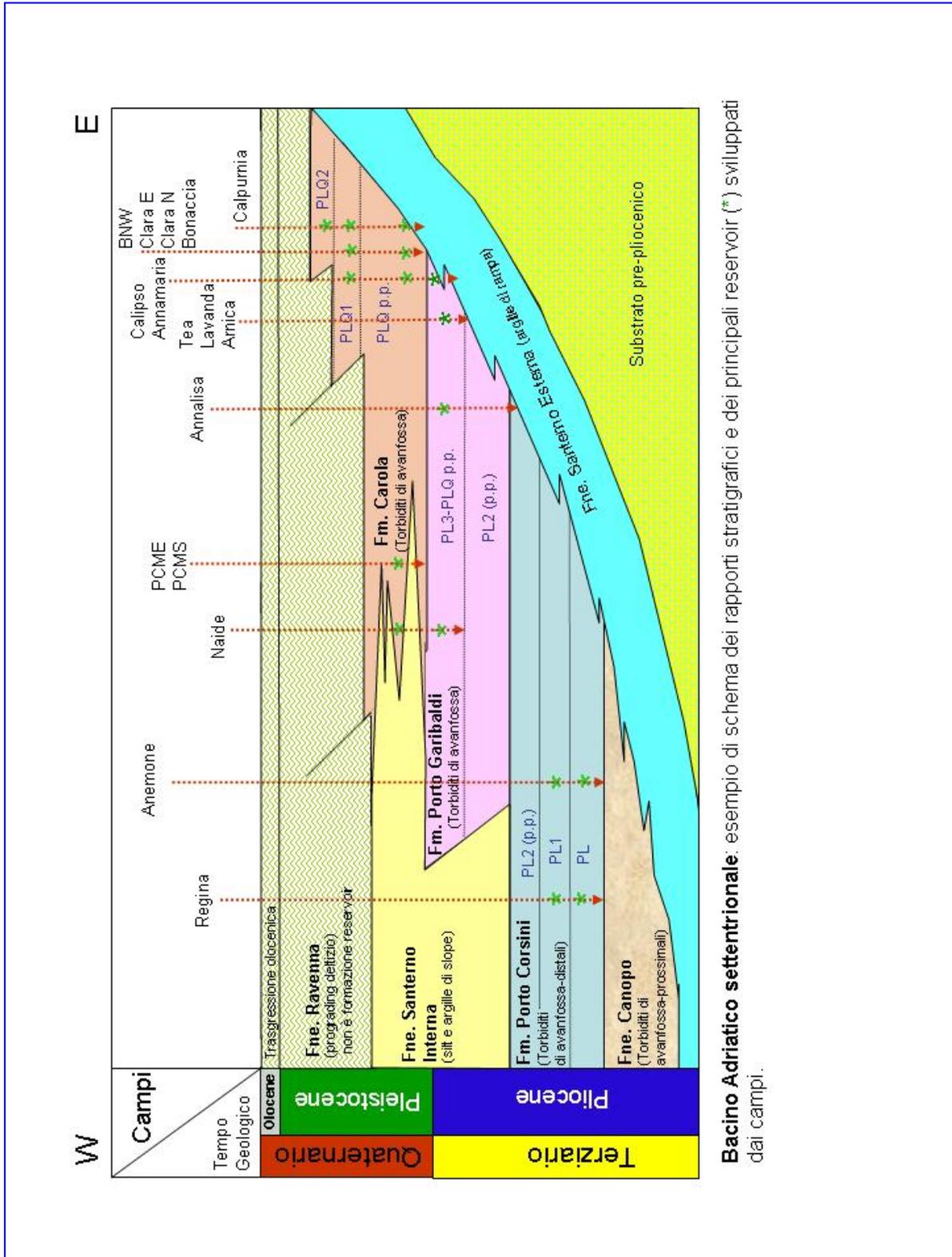


Figura 1 - Ubicazione del Campo di Barbara NW



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

Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI BARBARA NW					
ANNO	Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
1999	67	67	67	67	3%
2000	211	211	278	278	11%
2001	170	170	449	449	17%
2002	112	112	560	560	21%
2003	76	76	636	636	24%
2004	49	49	686	686	26%
2005	50	50	736	736	28%
2006	53	53	788	788	30%
2007	40	40	829	829	31%
2008	53	53	881	881	33%
2009	31	31	912	912	34%
2010	53	53	966	966	36%
2011	292	292	1258	1258	48%
2012	272	305	1529	1562	58%
2013	174	252	1703	1814	64%
2014	130	180	1832	1994	69%
2015	91	136	1923	2130	73%
2016		104		2234	
2017		81		2315	
2018		65		2380	
2019		53		2433	
2020		44		2477	
2021		37		2514	
2022		30		2544	
2023		26		2571	
2024		21		2592	
2025		18		2610	
2026		15		2625	
2027		8		2633	
2028		7		2641	
2029		5		2646	
2030					
2031					
2032					

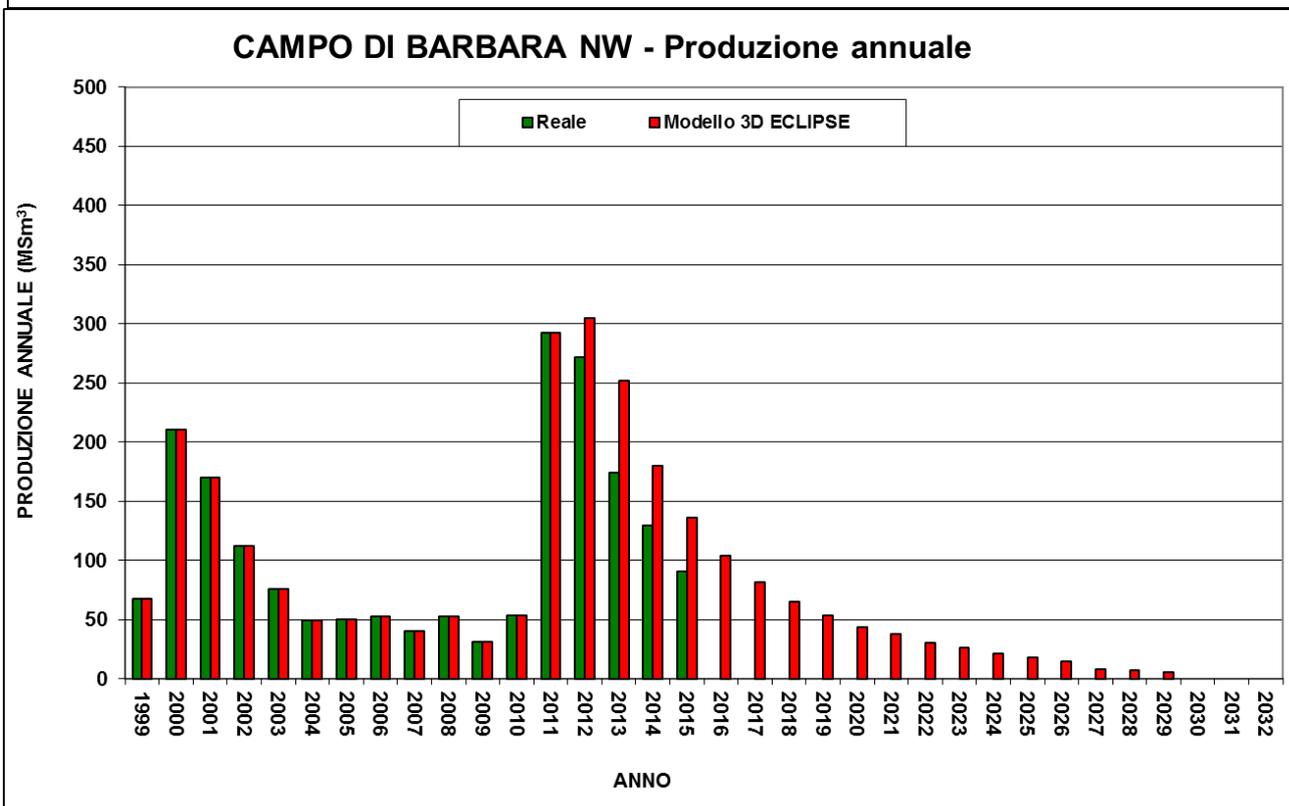
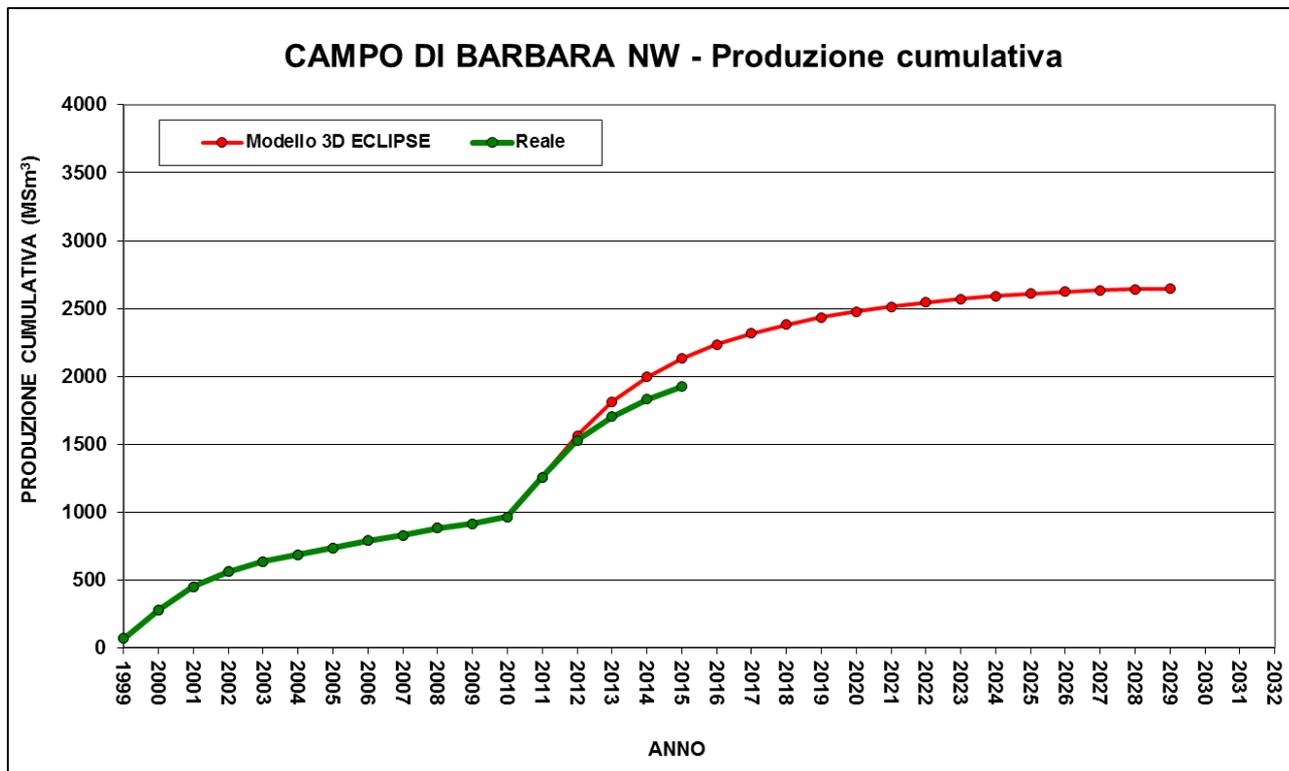


Figura 3 – Campo di Barbara NW: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse

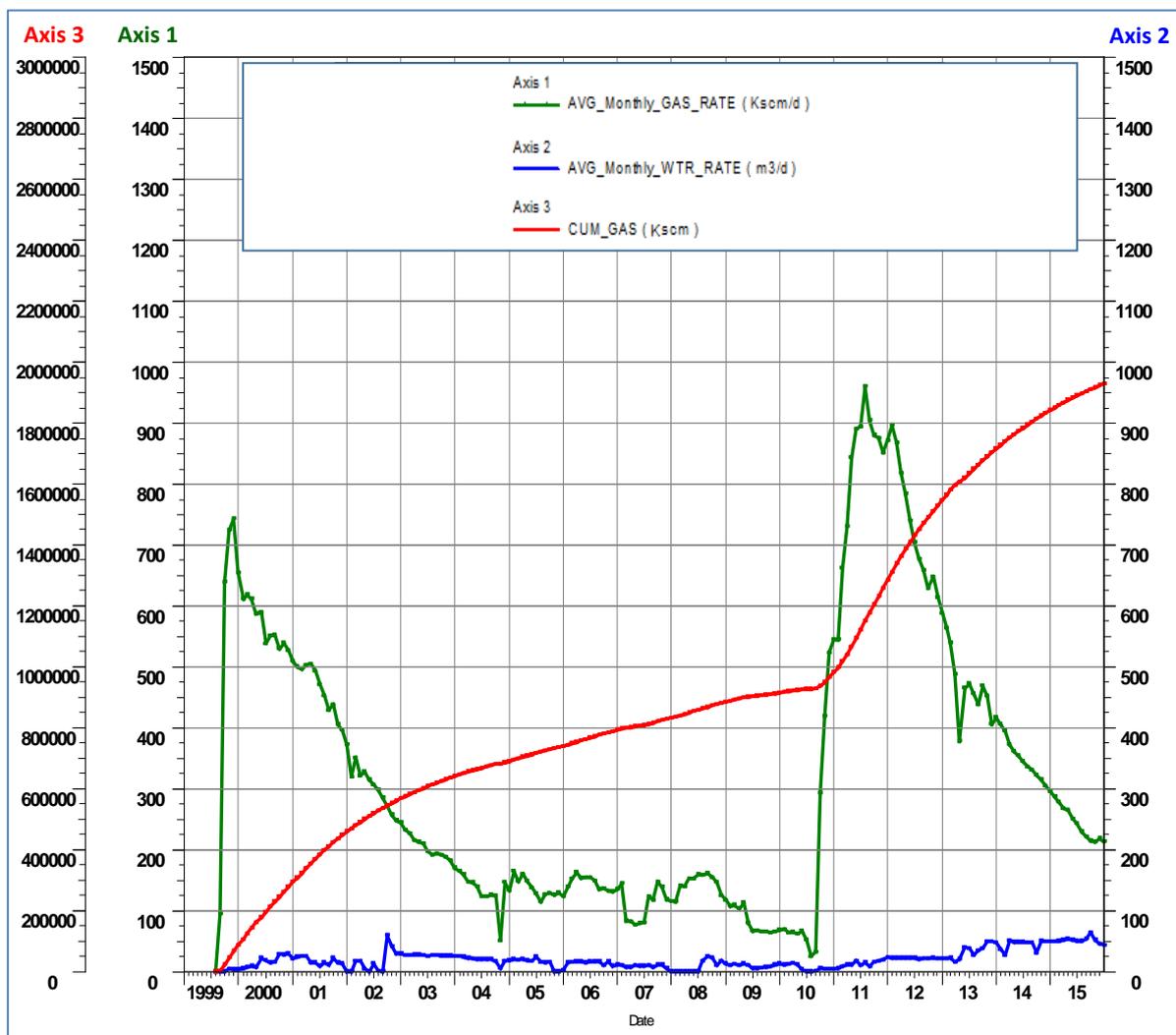


Figura 4– Campo di Barbara NW: grafico della produzione storica

CAMPO DI BARBARA NW						
Data	Livelli PLQ-C1+C2			Livelli PLQ-B+C1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
14/03/1999	112	6 Dir		111	6 Dir	
25/11/2004	99		6 C	92		7 C
31/01/2008				101		7 C
15/02/2010	102		6 C	97		7 C
02/09/2010	104	10 Dir		104	10 Dir	
19/05/2011	101	5 Dir A				
23/10/2013	100		9 L			
02/12/2014	99		9 L			
10/08/2015	100		9 L			

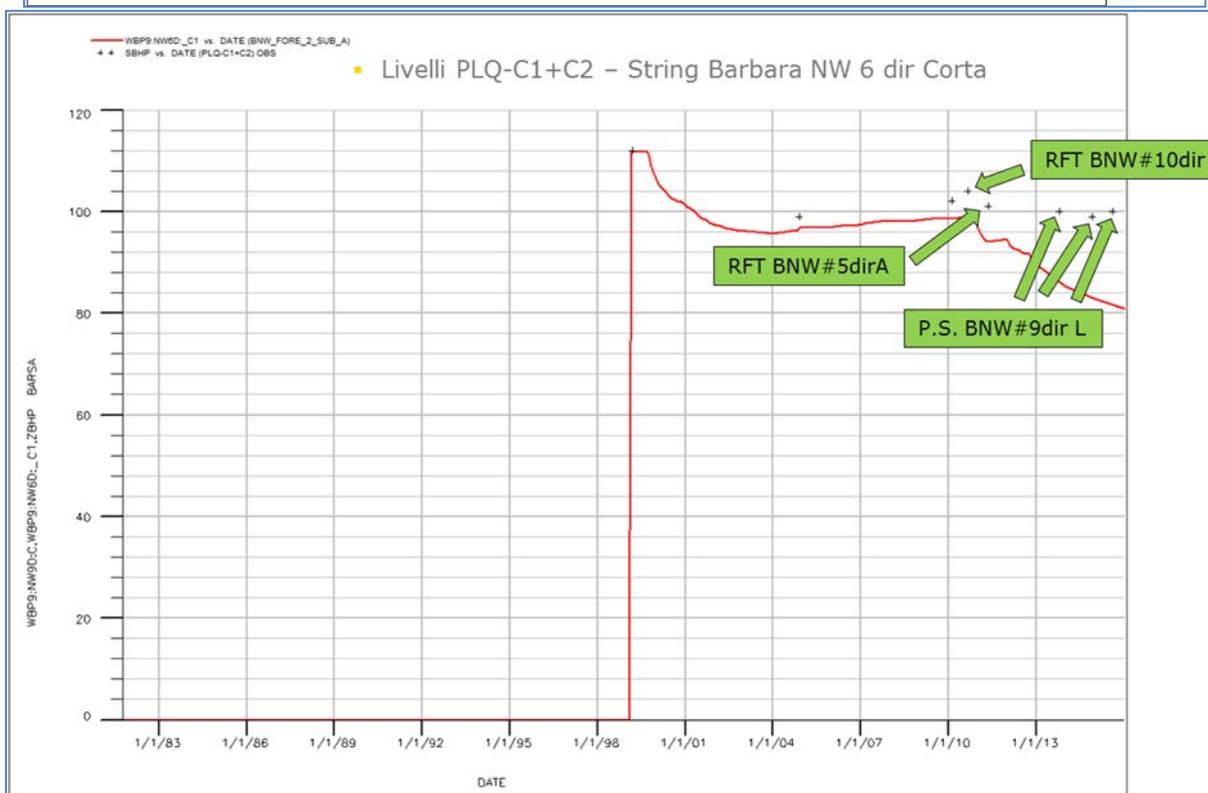
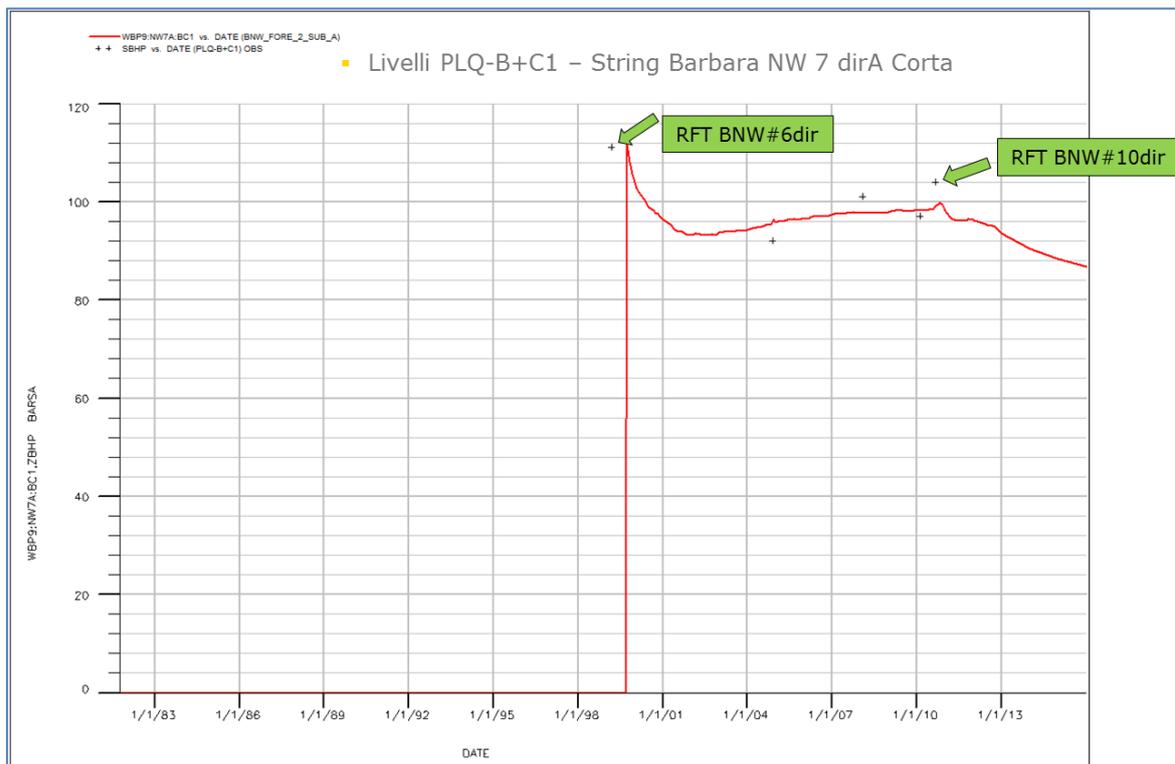


Figura 5 – Campo di Barbara NW: confronto tra i dati di pressione misurati e modello Eclipse (livelli PLQ-B+C1e PLQ-C1+C2)

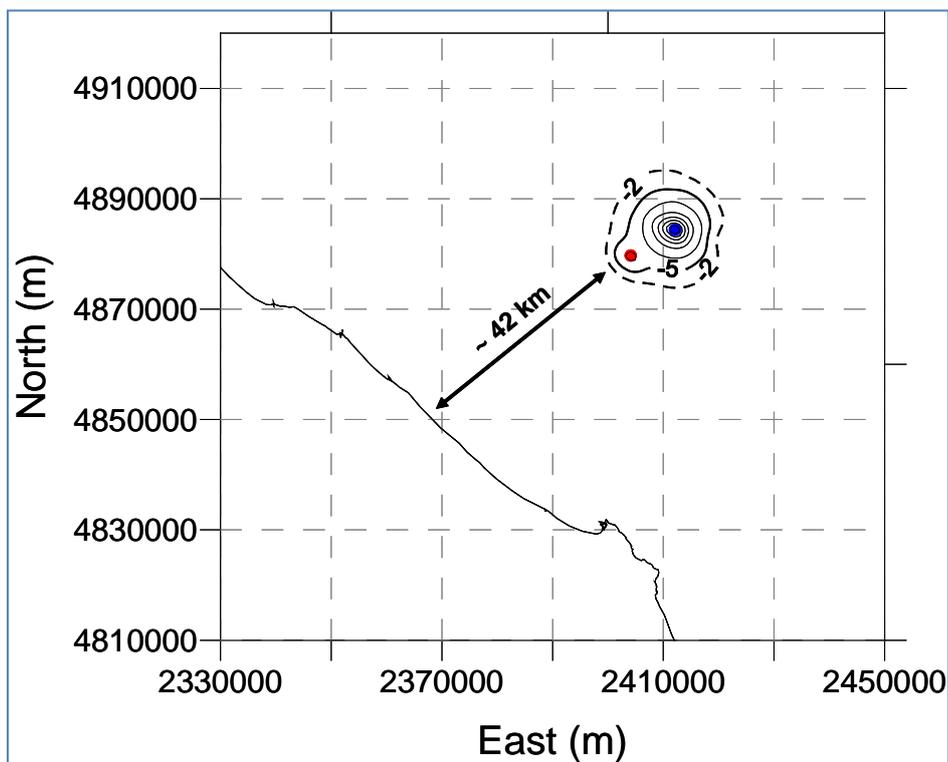


Figura 6 – Campo di Barbara NW: curve d'isosubsidenza per lo scenario di riferimento a fine simulazione (2060)

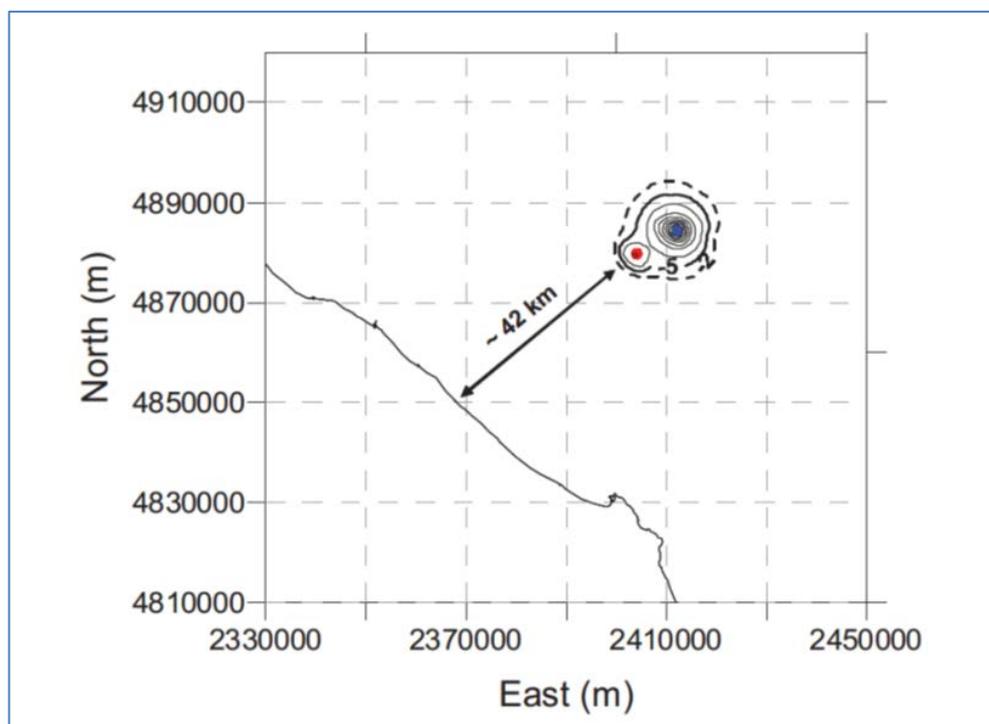


Figura 7 – Campo di Barbara NW: curve d'iso-subsidenza per lo scenario di riferimento a fine simulazione (2060)

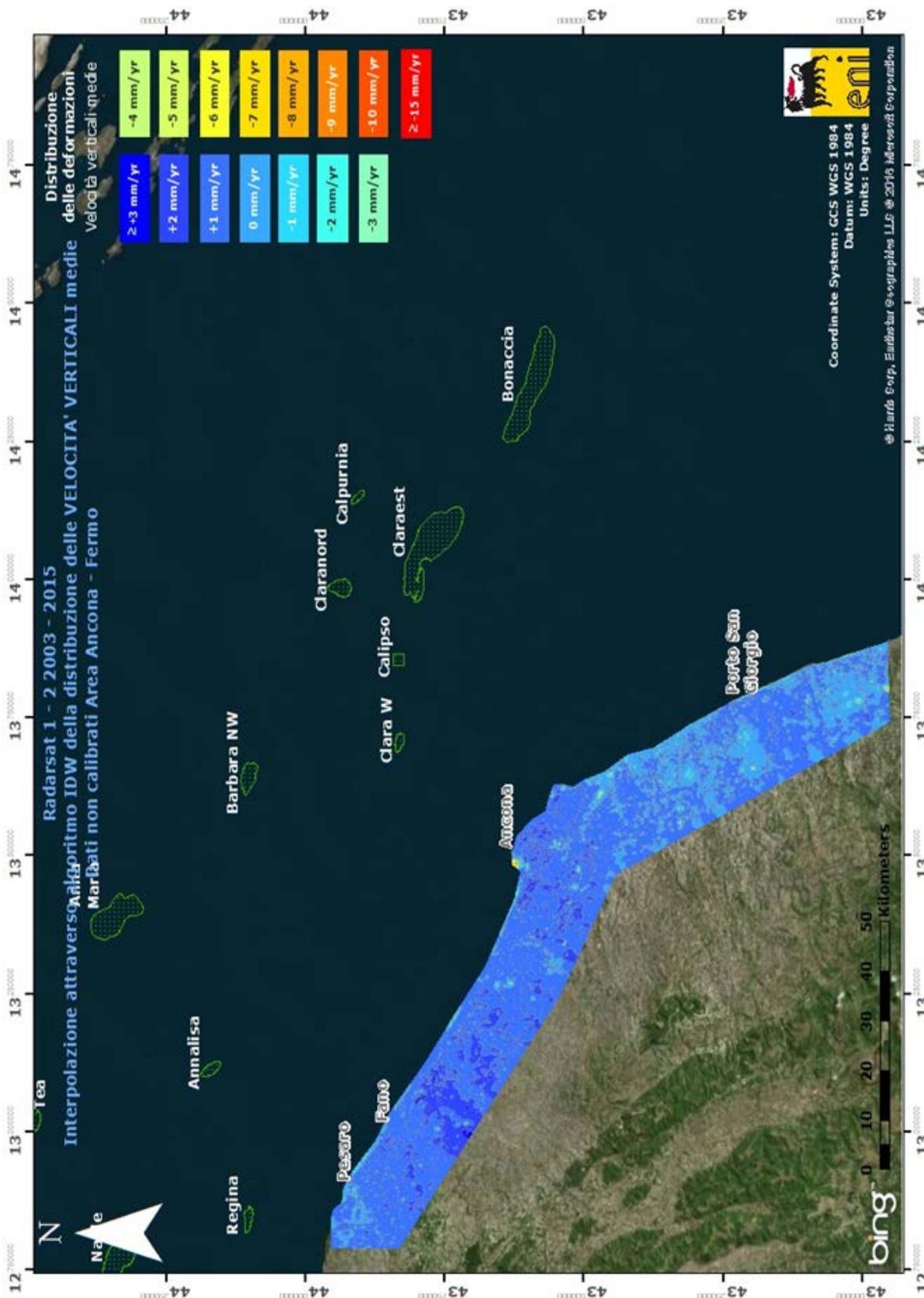


Figura 8 – Campo di Barbara NW: analisi dati SAR dal 2003 al 2015

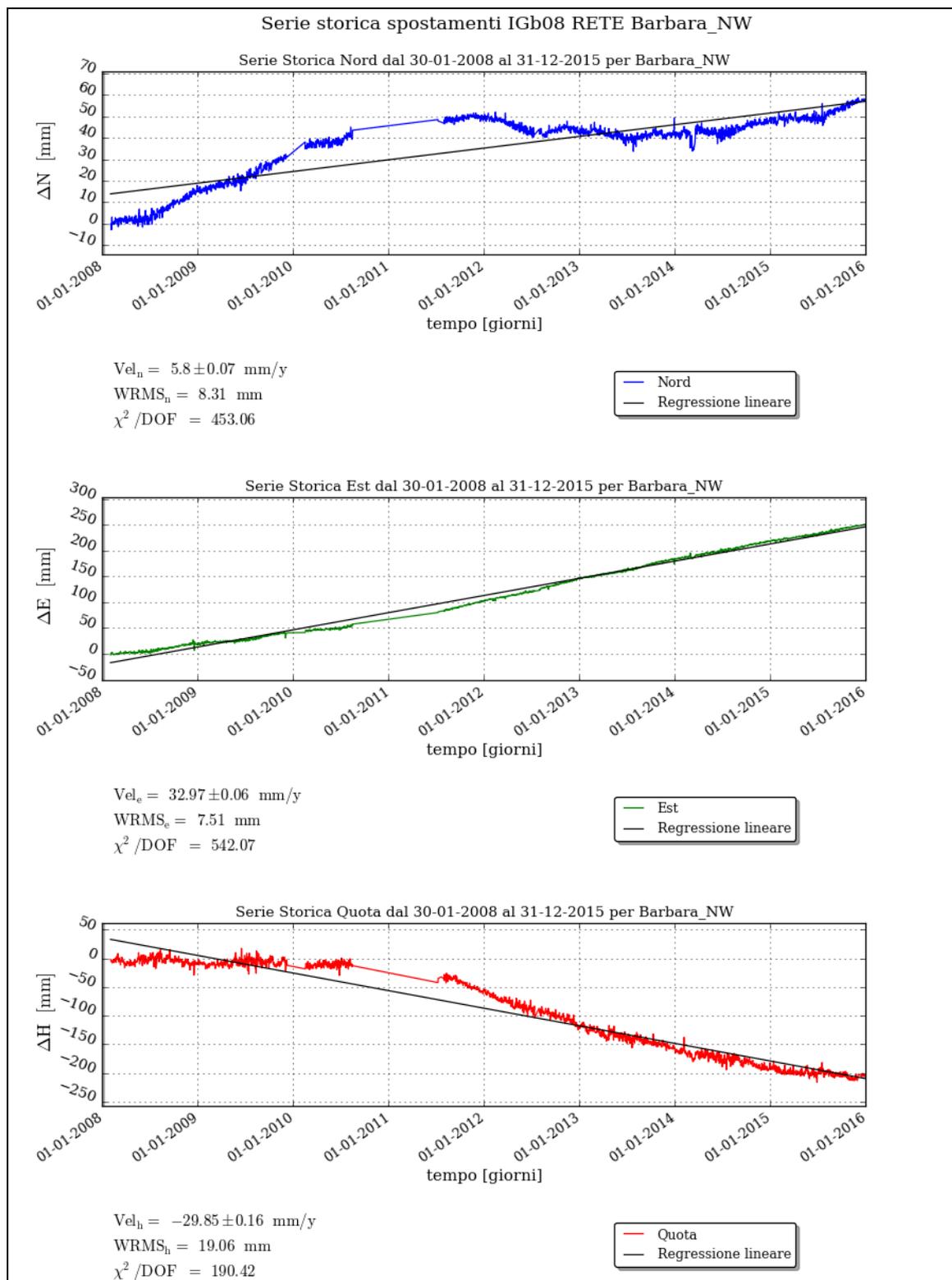
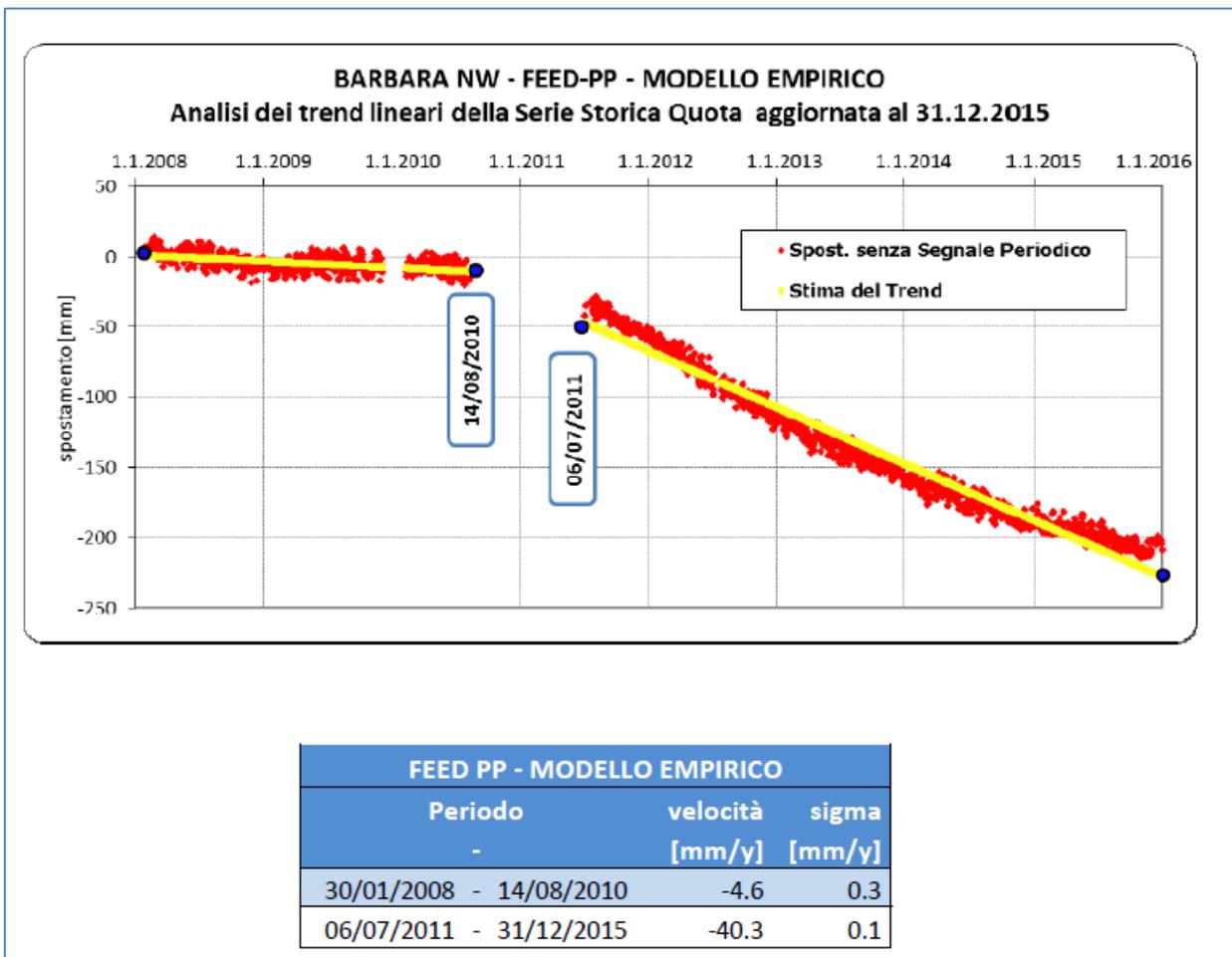


Figura 9 – Campo di Barbara NW: serie storica plano-altimetriche CGPS completa



**Note:** La piattaforma in cui è installata la stazione CGPS Barbara NW ha avuto delle attività di work-over nel periodo agosto 2010 – luglio 2011. Nonostante gli apparati siano stati alimentati durante il periodo del w-o, si è scelto di non utilizzare i dati acquisiti dalla stazione CGPS a causa della loro degradata qualità. La presenza infatti degli impianti in prossimità della stazione hanno causato un aumento del multipath e del n. di cycle slip.  
La mancanza di dati relativa al periodo 07/12/2009 – 12/02/2010 è da attribuirsi al riempimento della memoria del ricevitore della stazione che in quel periodo era configurata in modalità stand-alone.

**Figura 10 – Campo di Barbara NW: analisi della serie storica plano-altimetrica CGPS**



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

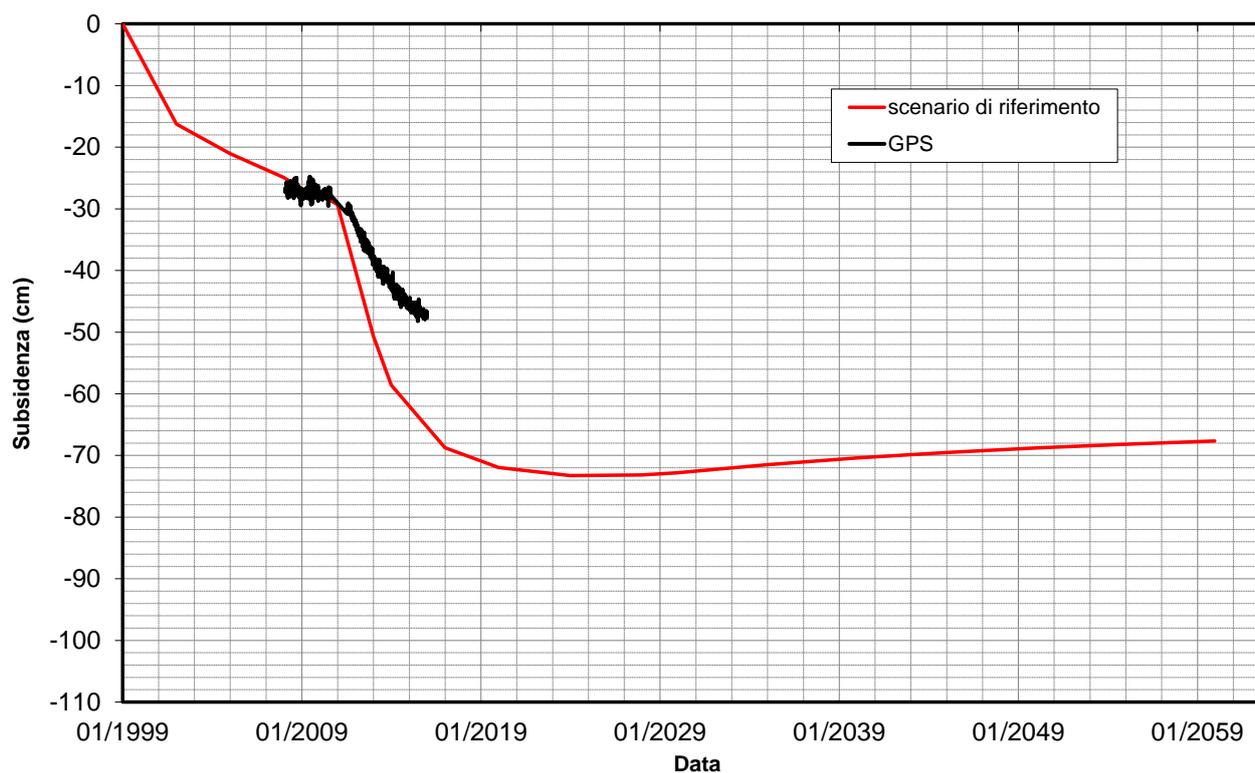


Figura 12 – Campo di Barbara NW: abbassamento misurato e calcolato in corrispondenza del CGPS



campo BARBARA NW (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO			
UBICAZIONE		offshore - 55 Km a NE di Ancona	
PROFONDITA' FONDALE		70 m	
LITOLOGIA		silt-sabbie fini in livelli sottili	
FORMAZIONE RESERVOIR		Carola	
ZONA MINERARIA		PLOT1- PLO	
PROFONDITA' RESERVOIR		1000 - 1300 (TVDSS)	
TIPO DI PIATTAFORMA		fissa - standard	
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE		TORBIDITI SOTTILI	
CONCESSIONE		D.M @dic '98	@ 31 dic 2015
DATA SCADENZA CONCESSIONE		12/11/2019	
N. POZZI		4	6
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)		2100	2646
START UP PRODUZIONE		set-99	
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2018	2029
GAS PRODOTTO (MSm3)		1923	
% RISERVE PRODOTTE		73%	
<b>DECRETO VIA n. 3477 del 15 DICEMBRE 1998</b>			
<b>AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (BARBARA NW)</b>			
STUDIO DI GIACIMENTO		SIA	
RISERVE (MSm3)		MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "SETT. '95"	
MOD. GEOMECCANICO		2100	
MAX SUBS.AL CENTRO (cm)		CILINDRICO	
MAX DIST. CULMINE (Km)		18.6 (dopo 20 anni)	
		3 (dopo 20 anni)	
		ULTIMO AGGIORNAMENTO	
		Management Summary, Rel. GISE n° 33/12 (dicembre 2012)	
		2646	
		ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ aprile 2013	
		70 cm nel 2024 - scenario di riferimento	
		13 km al 2030 dal punto di max subs	
		Il fenomeno si esaurisce a 42 km dalla costa	
<b>STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI</b>			
<b>LIVELLAZIONI</b>		ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE, CERTIFICATI UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM, RELATIVI AGLI ANNI: # 1998-2005 # 2006-2009 e 2011-2014 IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE ADRIATICA E PESARO-PT.S. GIORGIO" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO	
<b>MARKERS</b>		NON PRESCRITTI	
<b>CGPS</b>		NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 SONO STATI INSTALLATI 2 CGPS NELLE CENTRALI ENI DI FANO E FALCONARA(ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA	
<b>SAR</b>		ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2015 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.MA BARBARA NW NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	

Figura 13 – Campo di Barbara NW: scheda di sintesi dati campo



Figura 14 - 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.

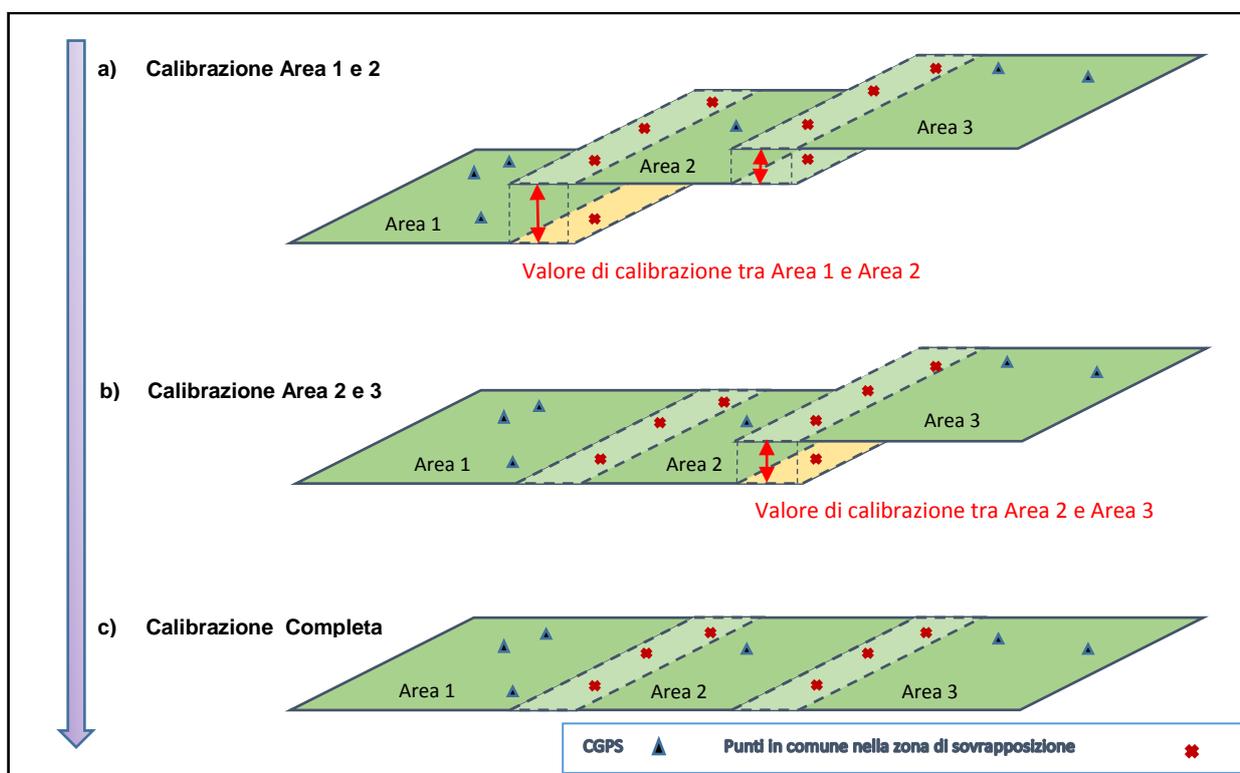


Fig. 2A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

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®.



### Analisi del tratto di costa da Fano a Porto Recanati

Per quanto riguarda l'area SAR di Ancona, si nota come le velocità dei CGPS di Fano e Falconara siano allineate con quelle misurate dal SAR: la differenza è, infatti, inferiore al millimetro.

Essendo i valori CGPS e SAR già perfettamente allineati, si è deciso, pertanto, di presentare un'analisi puntuale dell'area di Ancona non calibrando il dato SAR con il dataset dell'area SAR di Rimini. In Fig. 5A sono visualizzati i dati non calibrati per un confronto di dettaglio dell'area in oggetto. Come si può osservare la media delle velocità verticali misurate dal SAR sono inferiori al millimetro. Si ricorda che in questo caso i valori di velocità sono relativi a un punto di riferimento all'interno dell'area.

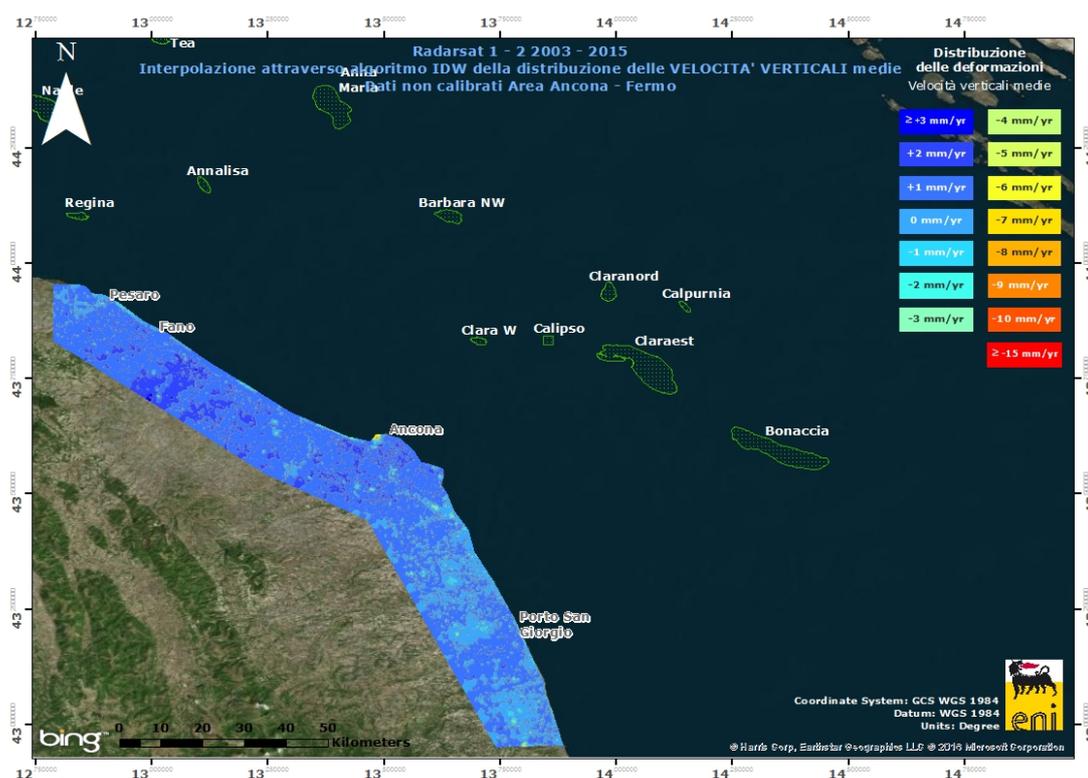


Fig. 5A- Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo ( dati Radarsat 1 – 2 non calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

### 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.

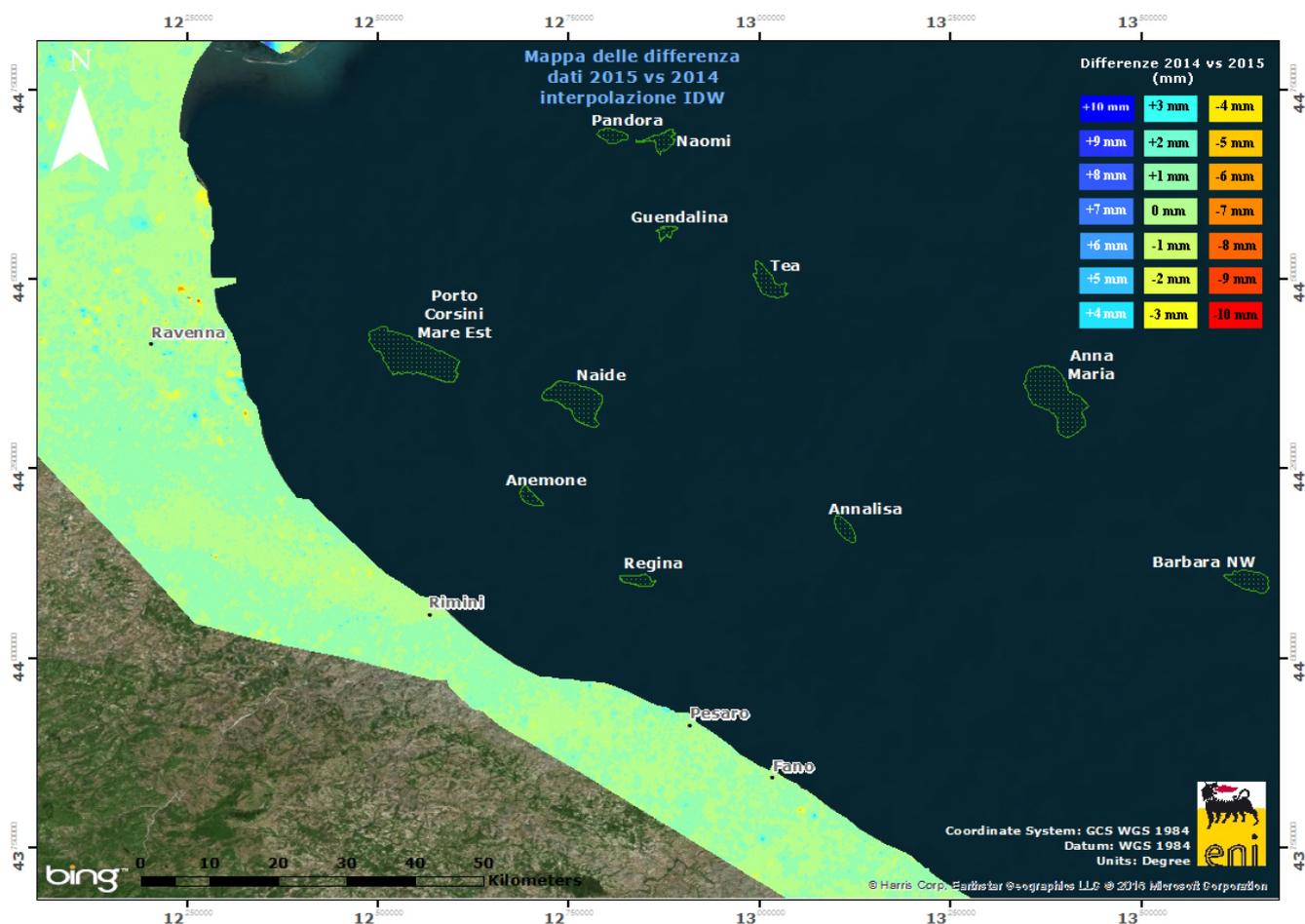


Fig. 6A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.  
Tratto di costa da Comacchio a Fano

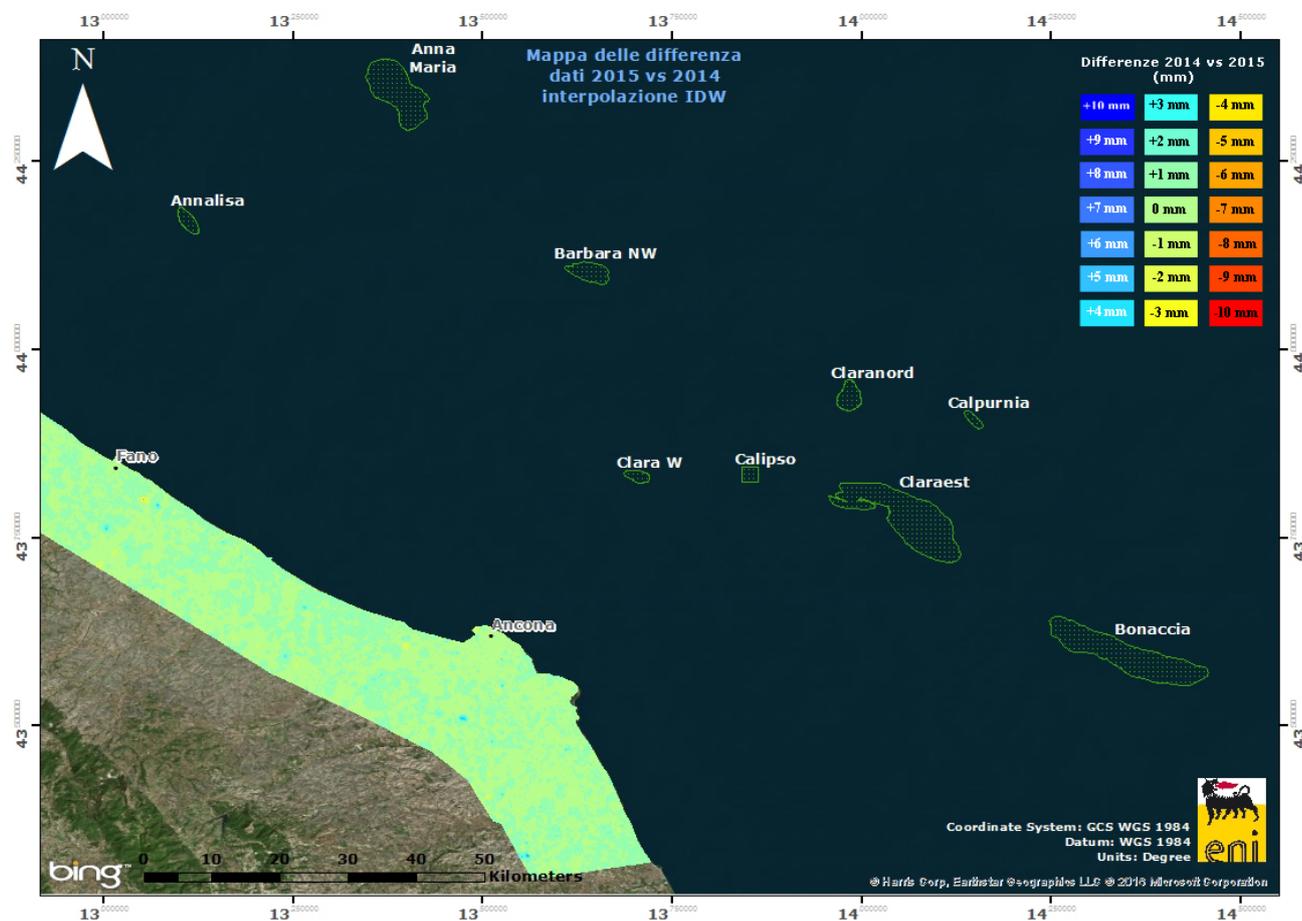


Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.  
Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

## Appendice 2: Stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento al dicembre 2015

Il monitoraggio della compattazione superficiale, lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Cervia e Ancona, è effettuato tramite 3 stazioni EPSU (Extensometric Piezometric Survey Unit) denominate: Rubicone, Fano e Falconara. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 2008 e il 2009, è riportata in figura 2A.

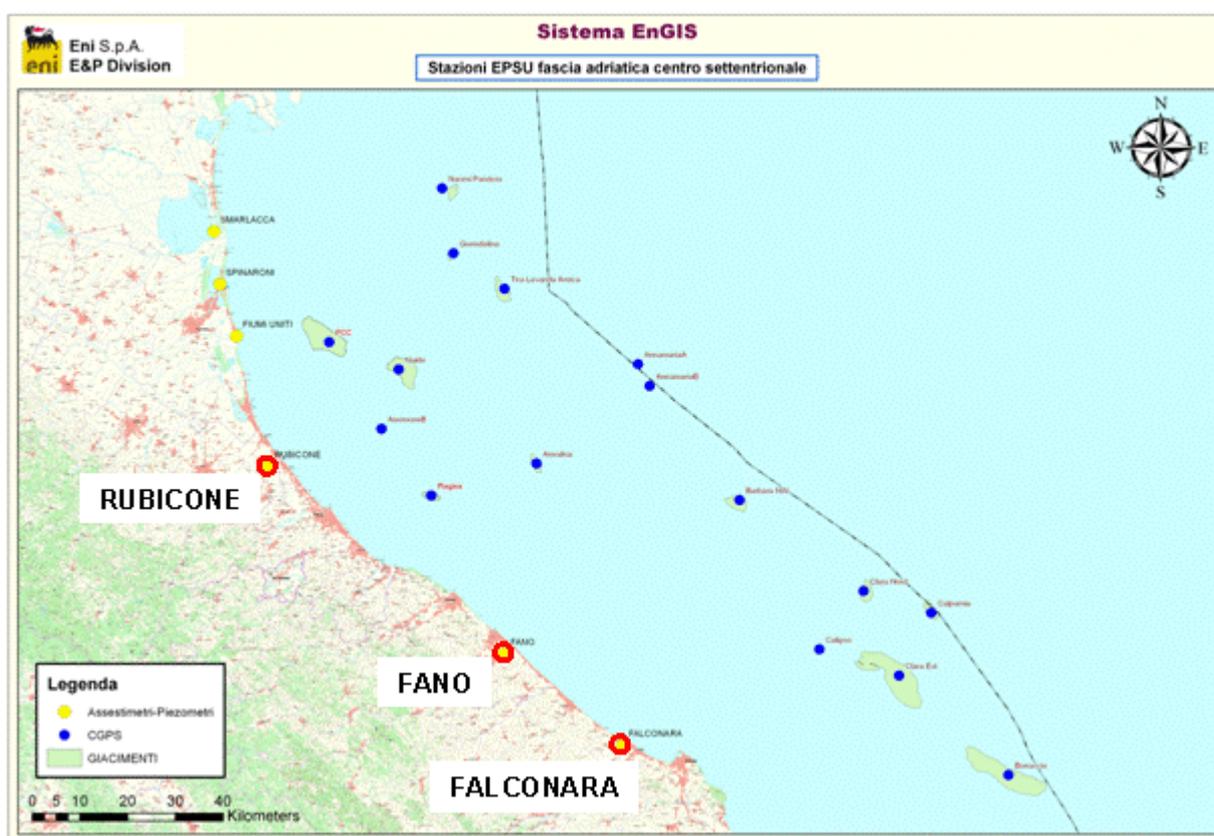


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU.

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 assestimetriche per le variazioni della temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

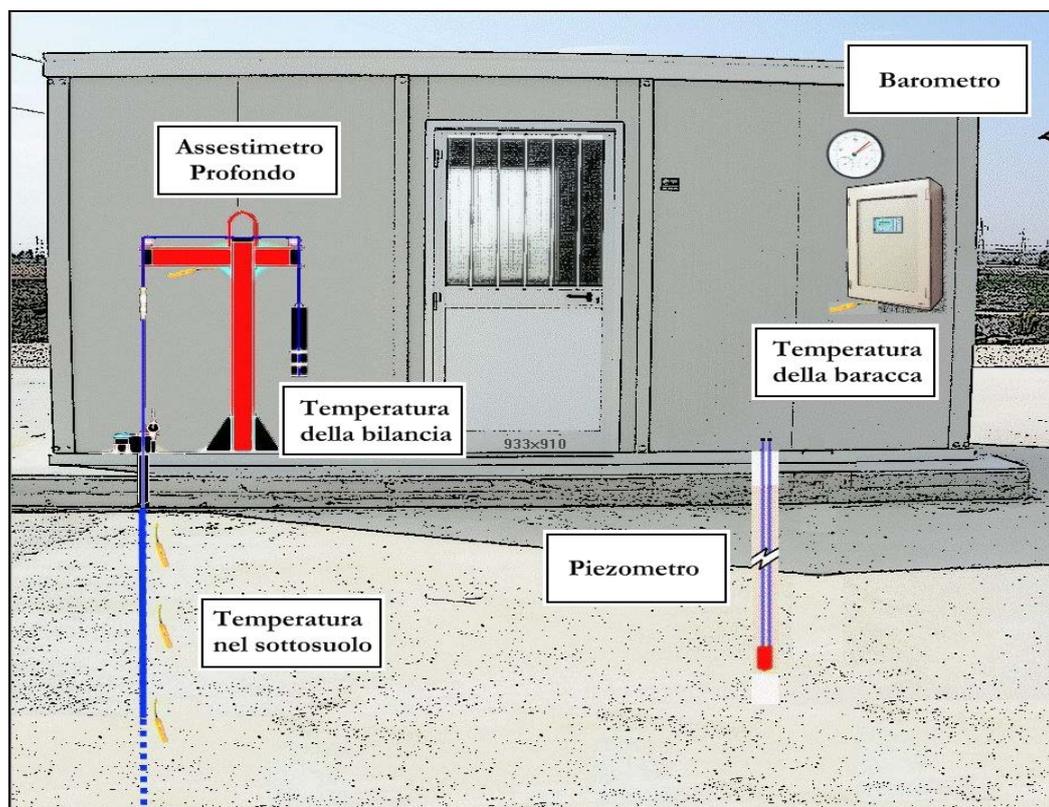


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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
Rubicone	CGRA-1	Assestometro profondo	320 m	Gen. 2009
	CGRP-1	Piezometro cella singola	178 m	Gen. 2009
	CGRP-2	Piezometro cella doppia	146 m e 70 m	Gen. 2009
Fano	CGFNA-1	Assestometro superficiale	40,8 m	Lug. 2008
	CGFNP-1	Piezometro superficiale	6,1 m	Lug. 2008
Falconara	CGFLA-1	Assestometro superficiale	40,3 m	Lug. 2008
	CGFLP-1	Piezometro cella singola	22 m	Lug. 2008

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'assestometro); al contrario i valori negativi costituiscono la componente dell'espansione (aumento dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestometro).



## **Stazione EPSU di RUBICONE (installata dicembre 2009)**

### **Strumentazione:**

- assestimetro - quota bottom: 316 m da p.c.
- piezometro singolo - quota cella: 178 m da p.c.
- piezometro doppio - quota celle: 146 e 70 m da p.c.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata l'8 aprile 2009. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" dei sensori di misura.

I dati sono stati acquisiti con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 8 aprile 2009 - 22 maggio 2009 una misura ogni ora,
- 22 maggio 2009 - 2 novembre 2009 una misura ogni 2 ore,
- 2 novembre 2009 - 31 dicembre 2014 una misura ogni 6 ore.

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione.

Nel 2011 c'è da segnalare un black-out dei dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre.

L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori è stata fatta nel dicembre 2015.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano campagna (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (316 m da p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. 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 2009, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano, quindi, una compattazione, valori negativi, viceversa, un



incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestometro si correla molto bene con le variazioni di quota delle due falde acquifere monitorate dai piezometri rispettivamente a 77 m e 150 m di profondità. Per tutto il periodo osservato si nota, infatti, un ritardo medio di circa  $1,5 \div 2$  mesi nella compattazione/espansione del terreno rispetto all'escursione massima (marzo/aprile) e minima (agosto/settembre) delle falde acquifere.

Nella stessa area della stazione assestimetrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento del suolo rilevata dai dati GPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestimetriche. Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012. Ciò potrebbe indicare che la causa principale d'abbassamento del suolo dipenda principalmente dalla compattazione dei primi 320 m di terreno e sia causata dalle oscillazioni stagionali delle falde acquifere.

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**

Nei grafici dei piezometri 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.

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno del resto era già osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo

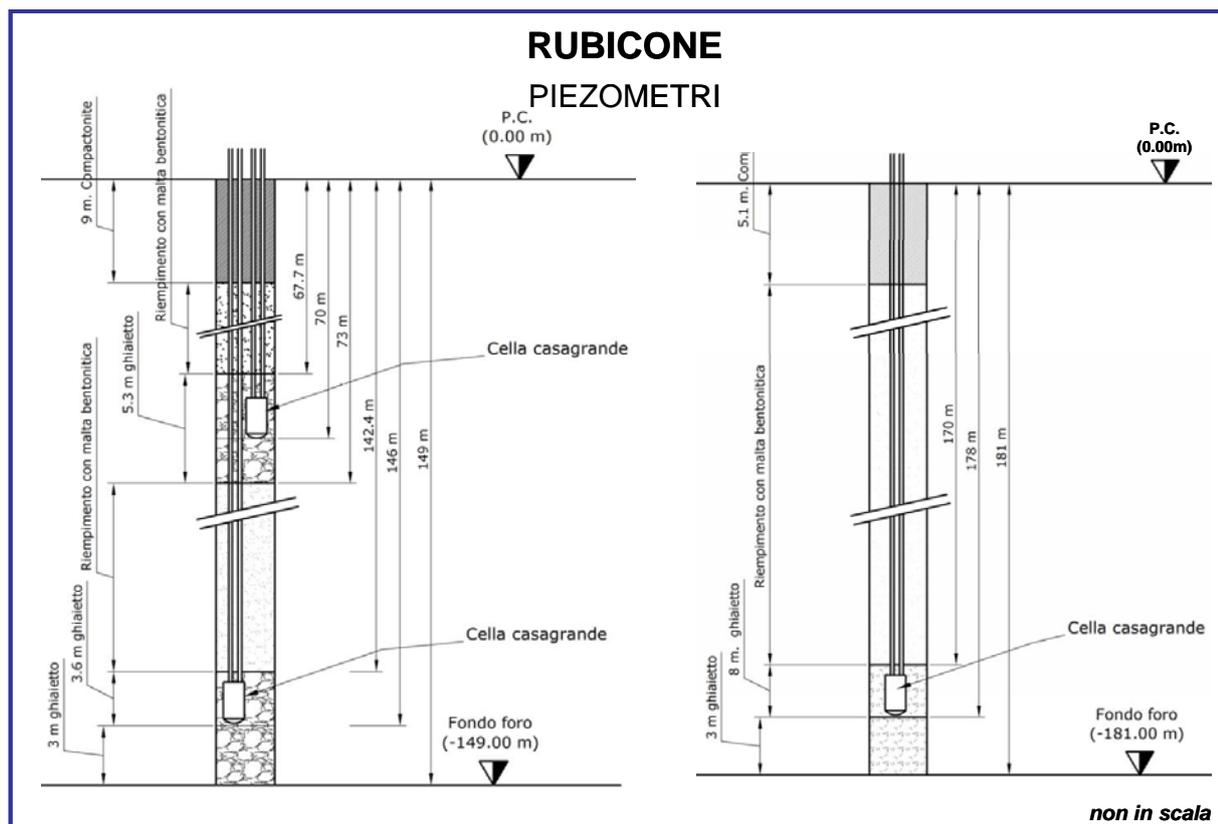


CGRP-1).

Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento.

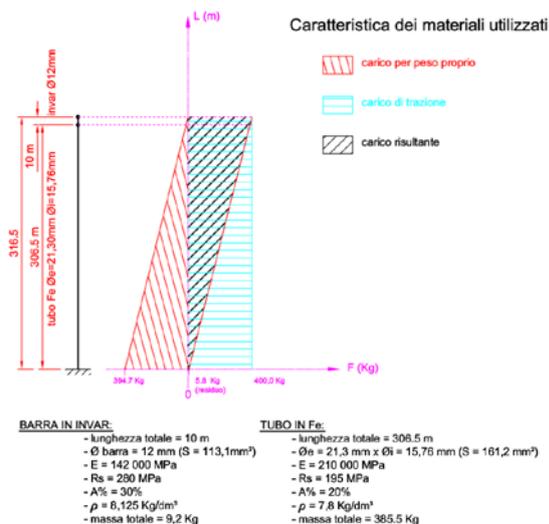
Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014, controllando accuratamente piezometri e trasduttori. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata accertata facendo alcune misure manuali con freatometro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche, consentendo di concludere che tutti i trasduttori erano perfettamente funzionanti e affidabili.

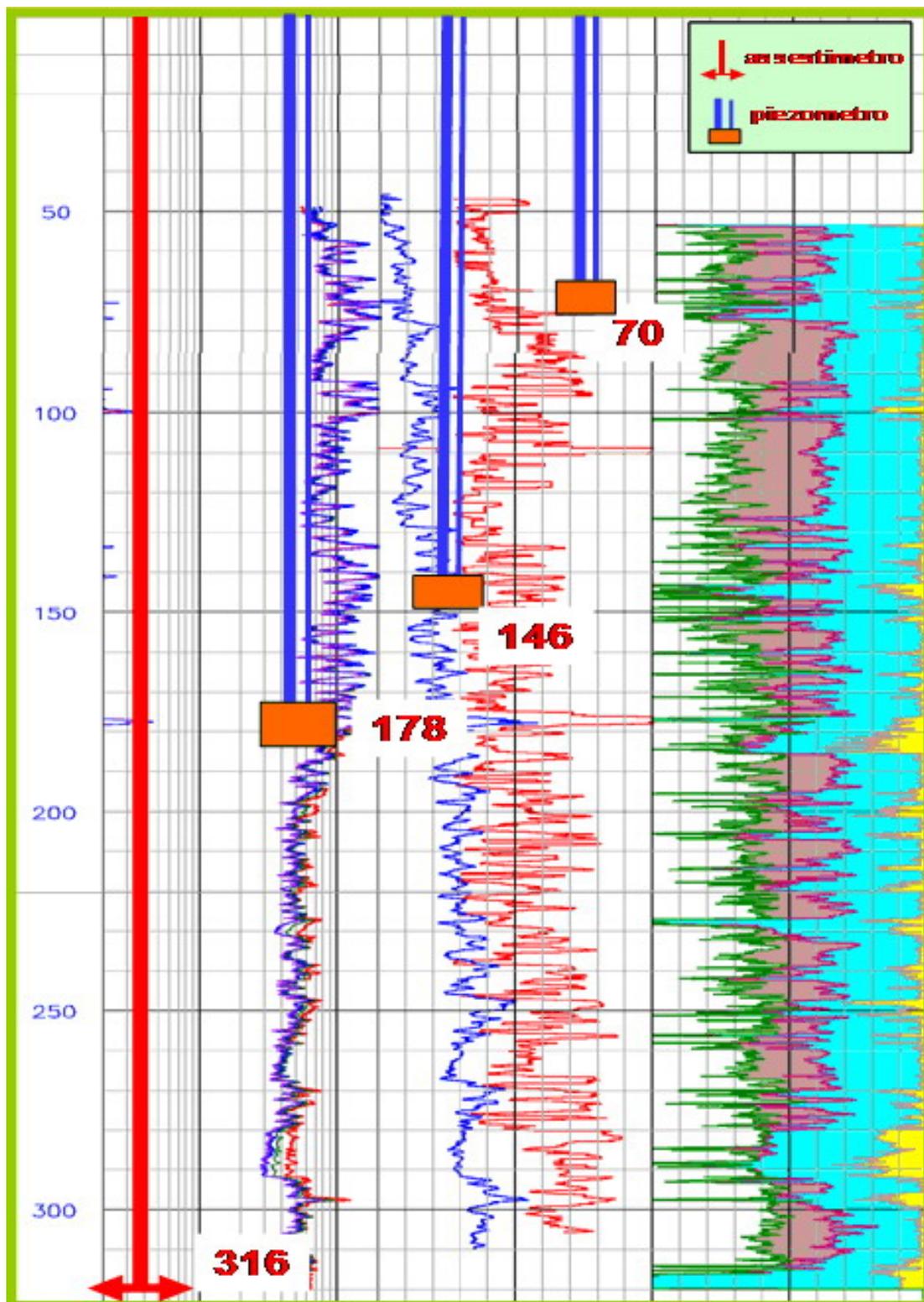
A dicembre 2015 si sono effettuati nuovi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.



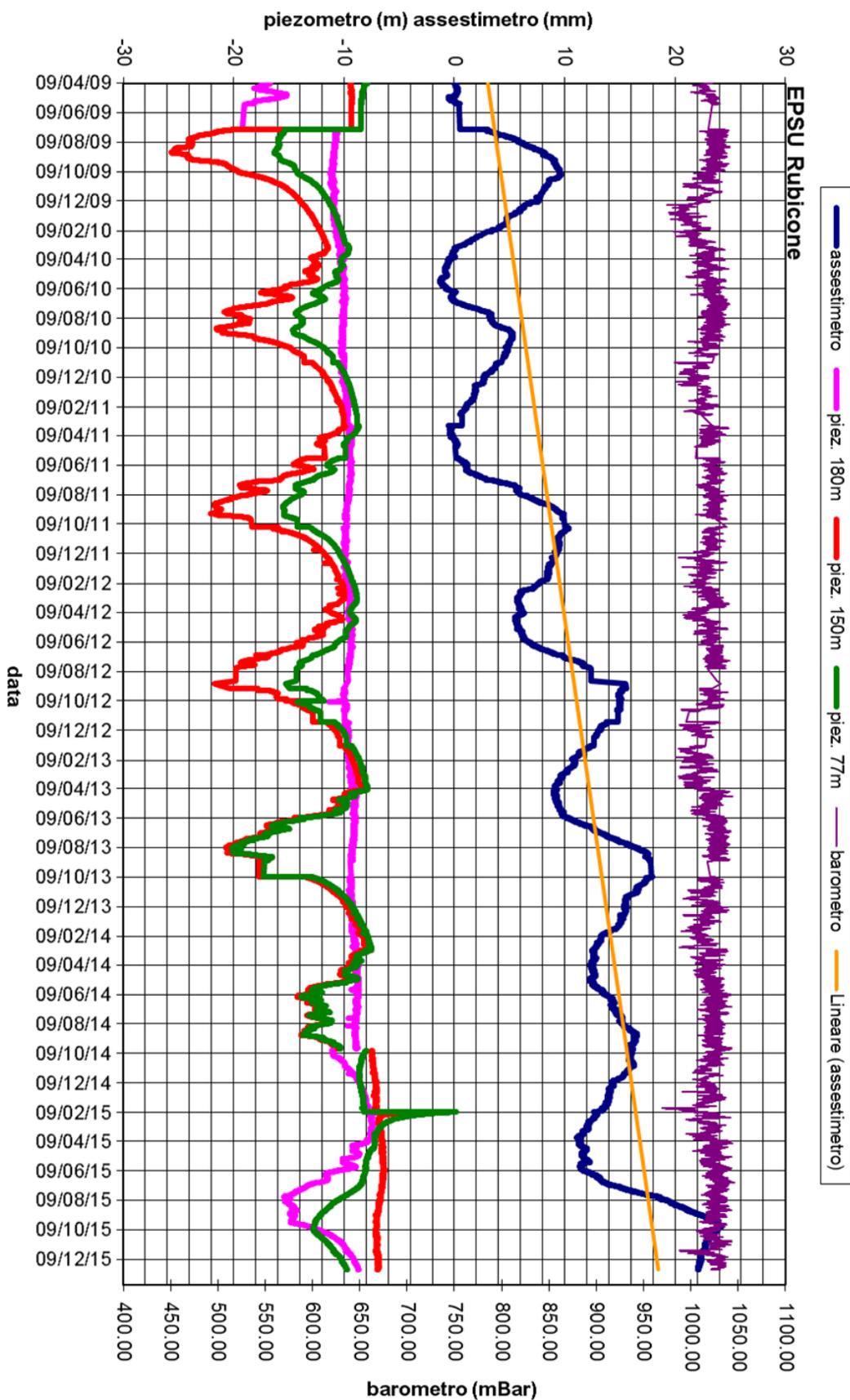
## RUBICONE ASSESTIMETRO

- Modello di assestimetro costituito da 49 aste in ferro da 6m ed ultimi 10m da aste in Invar con 12 giunti telescopici e con bocche a scorrimento assiale.
- Ancoraggio base assestimetro a 320m da p.c. .
- La forza imposta dal sistema a bilanciere sull'asta di misura ha direzione verticale verso l'alto e modulo di poco superiore al peso proprio della batteria d'asta, peso aste 397Kg, peso zavorra 427Kg.





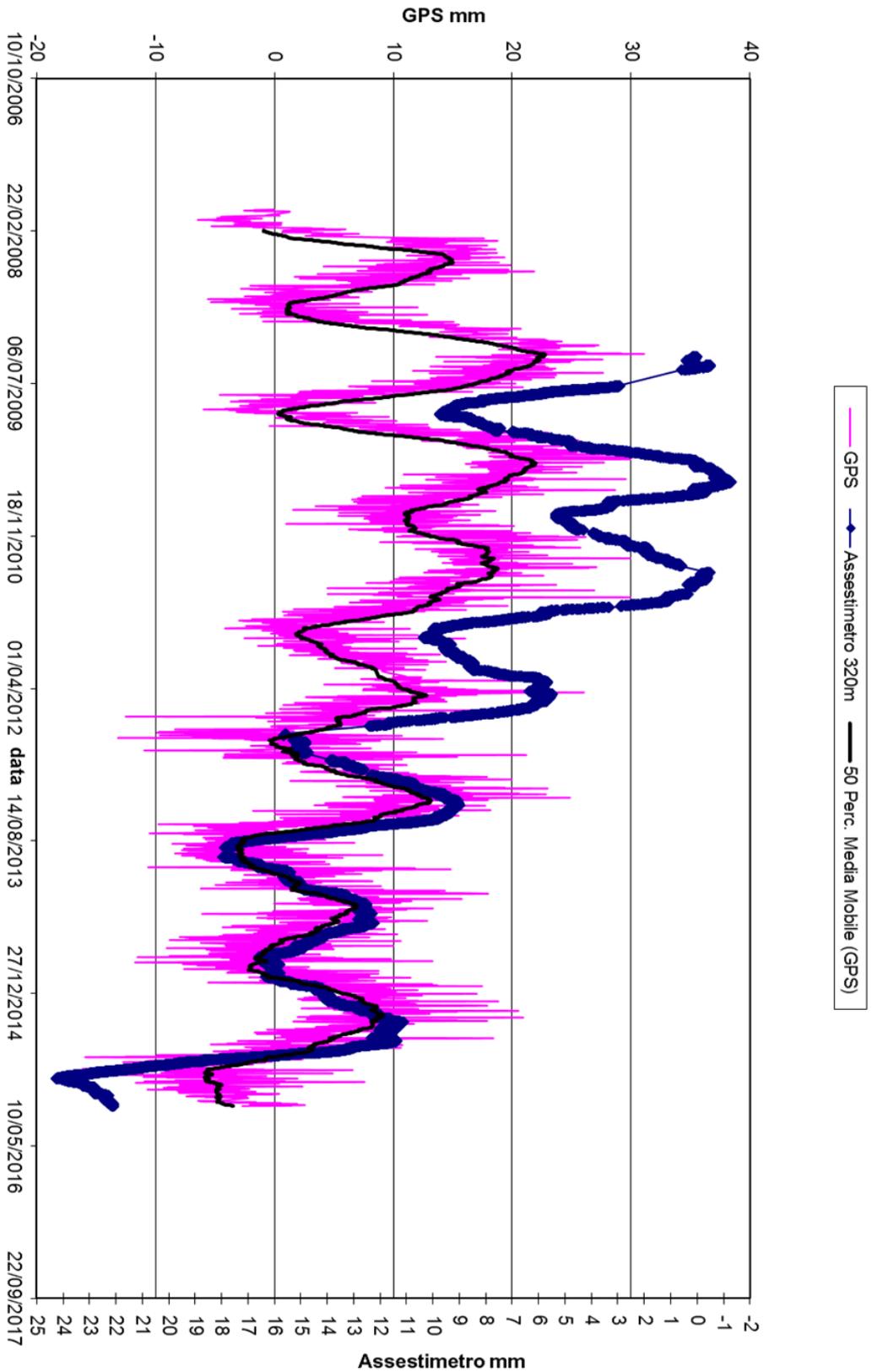
Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.



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



### RUBICONE - 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 FALCONARA (installata ottobre 2008)**

### **Strumentazione:**

- assestimetro - quota bottom: 40,3 m da p.c.
- piezometro a cella singola – quota cella: 22 m da p.c.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto “lo zero” dei sensori di misura.

L’acquisizione dati è stata fatta con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 16 ottobre 2008 - 18 maggio 2009 una misura ogni ora,
- 8 maggio 2009 - 31 dicembre 2014 una misura ogni 6 ore.

Nei periodi 7 ottobre 2011 - 2 novembre 2011 e 3 dicembre - 13 dicembre 2011 si è avuto un problema d’alimentazione all’apparecchiatura d’acquisizione automatica dei dati, con conseguente mancata registrazione degli stessi. Identico problema si è verificato tra febbraio e aprile 2012; si è perciò sostituito parte dell’hardware del sistema d’acquisizione.

L’ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata nel dicembre 2015.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

L’assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano di campagna (p.c.) e il punto più profondo d’ancoraggio dello strumento (40,3 m da p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. 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 del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestimetro indicano, quindi, una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio



molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua monitorata a 22 metri di profondità dal piezometro.

L'assestometro, che reagisce quasi immediatamente, senza ritardi, all'escursione massima e minima annuale della falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno assolutamente stabile, senza apprezzabile compattazione.

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. La correlazione tra le due curve, assestometrica e geodetica, è estremamente elevata, il loro sfasamento temporale è pressoché nullo e le "pulsazioni" (espansioni e compattazioni) del terreno (tutte di piccolissima entità) sono correlate alle variazioni di livello della falda acquifera.

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**

Nello stesso grafico dei dati assestometrici, si è riportata la piezometria.

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.

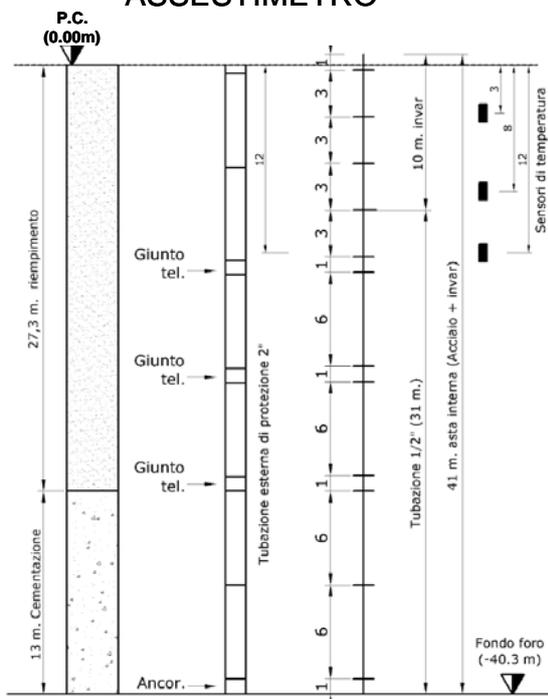
Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Nel dicembre del 2015 si è fatta la manutenzione dei piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un freatometro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori. Le differenze riscontrate sono risultate sempre molto piccole, dell'ordine di 2-3 cm, per cui i piezometri sono da considerarsi affidabili e funzionanti.

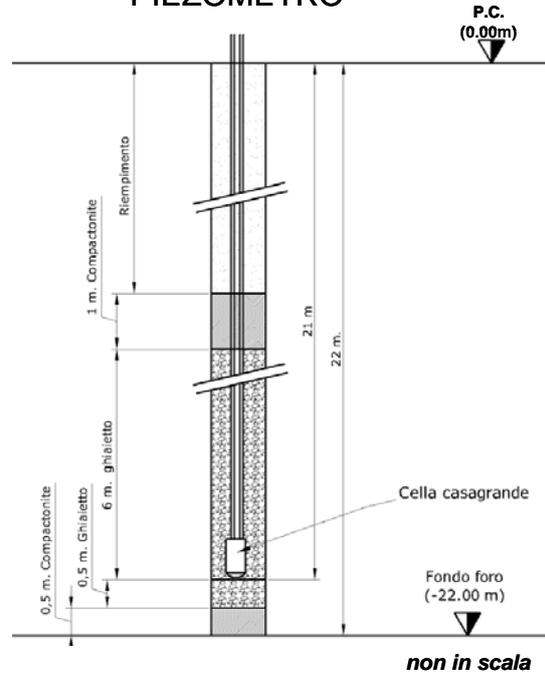


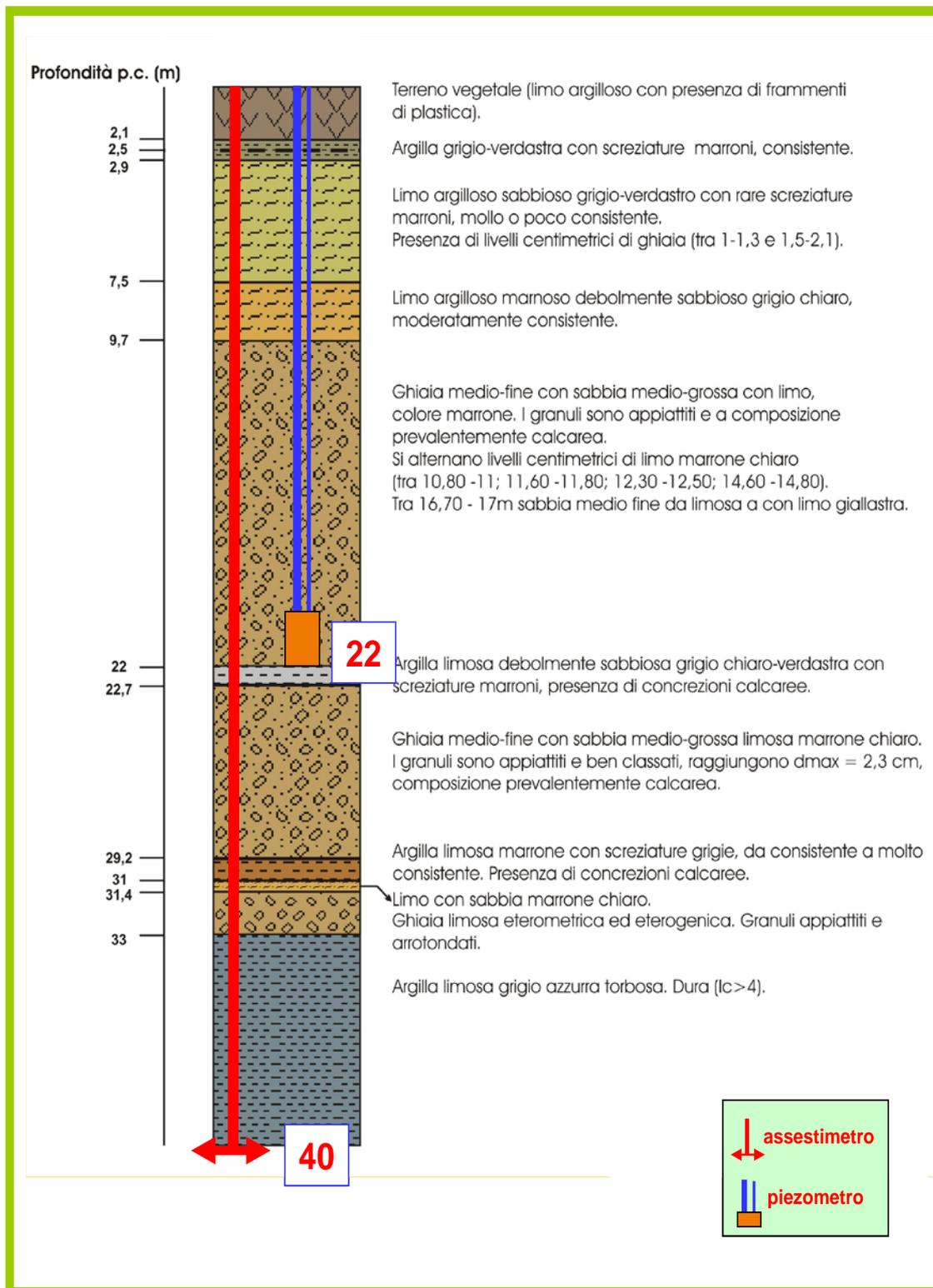
## FALCONARA

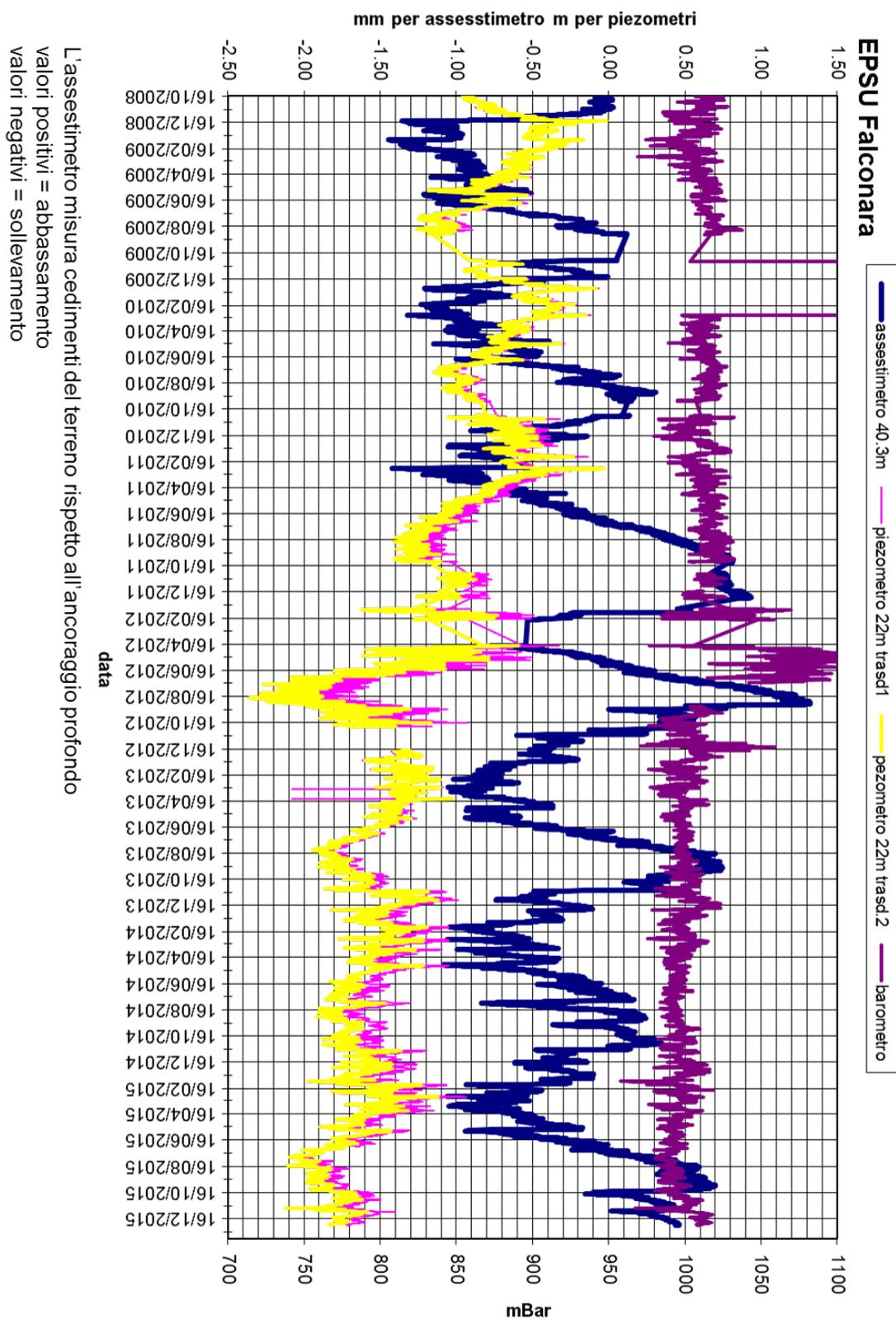
### ASSESTIMETRO



### PIEZOMETRO

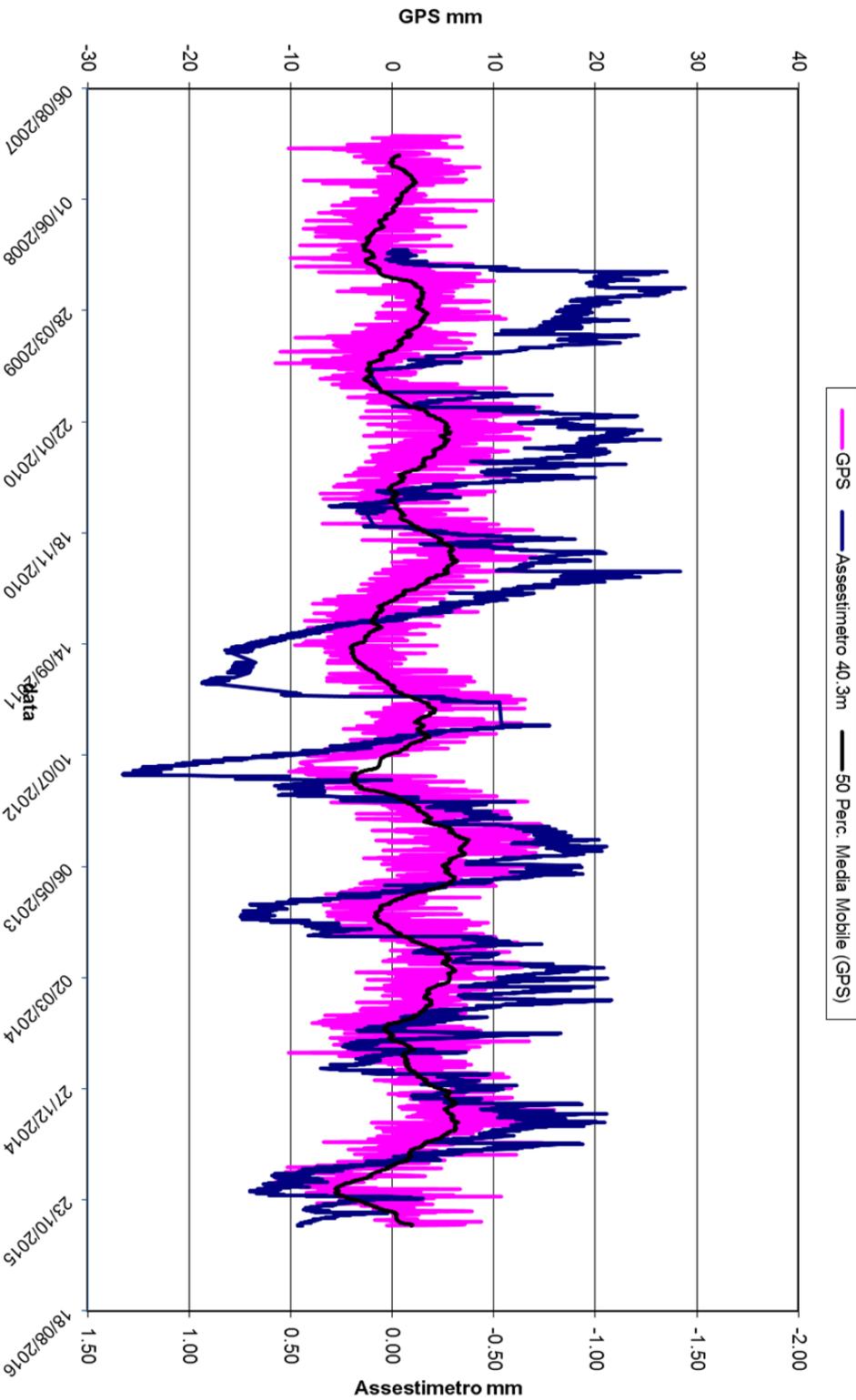








### FALCONARA - Confronto GPS ed assestimento superficiale



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 assestimentica 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 FANO (installata ottobre 2008)**

### **Strumentazione:**

- assestimetro - quota bottom: 40,8 m da p.c.
- piezometro a cella singola: quota cella 6,1 m da p.c.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto “lo zero” per tutti i sensori di misura.

L’acquisizione dati è stata fatta con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 16 ottobre 2008 - 18 maggio 2009 una misura ogni ora,
- 19 maggio 2009 - 31 dicembre 2014 una misura ogni 6 ore.

Nel periodo monitorato (10/2008 – 12/2014) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d’acquisizione dati.

L’ultimo controllo generale della strumentazione, con misure manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato fatto nel dicembre 2015.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

L’assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra la superficie (p.c.) e il punto più profondo d’ancoraggio dello strumento (40,8 m da p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. 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 del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestimetro indicano, quindi, una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Sin dall’inizio della sua installazione, lo strumento non ha mai fatto registrare significative variazioni di spessore (compattazioni o espansioni) della porzione di terreno monitorato. Tali escursioni - cicliche stagionali - sono dell’ordine di  $\pm 1$  mm, con una punta massima di



compattazione di circa 1,5 mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimetrica, inoltre, si correla bene con l'andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro a 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo) di qualche mese.

Nel corso del 2015 si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm a inizio anno è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva, per attestarsi poi intorno a circa 1 mm (nuova compattazione) a fine anno.

In questi primi cicli, quindi, le misure di questa stazione, analogamente a quelle di Falconara, mostrano una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva di circa di 1 mm in poco più di 7 anni di osservazione.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione EPSU. Le misure GPS danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,35 mm/a.

L'esame comparato delle due serie di misure (assestimetriche e geodetiche GPS) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare la curva assestimetrica sembra essere ritardata di ca. 4-5 mesi rispetto a quella geodetica E' bene osservare, però, che si tratta di movimenti del suolo di bassissima entità, per cui si è al limite del potere risolutivo delle due tecniche di misura.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che entrambe le curve - assestimetrica e geodetica GPS - mostrano una certa correlazione con gli andamenti stagionali della falda.

La curva assestimetrica si presenta, però, sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo circa tre mesi dopo il massimo del livello piezometrico. Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla (ca. 32 m) quando varia la sua saturazione in acqua. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico.

La curva dei dati GPS sembra invece più pronta a registrare in superficie i movimenti d'espansione e contrazione degli strati di terreno generati dalle variazioni del livello d'acqua nella falda. Va però notato che l'ubicazione dell'antenna CGPS (stazione SSU) dista circa 150-200 m dalla stazione EPSU, e probabilmente il terreno su cui è stata installata ha una



stratigrafia caratterizzata da una minore presenza di livelli argillosi.

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).

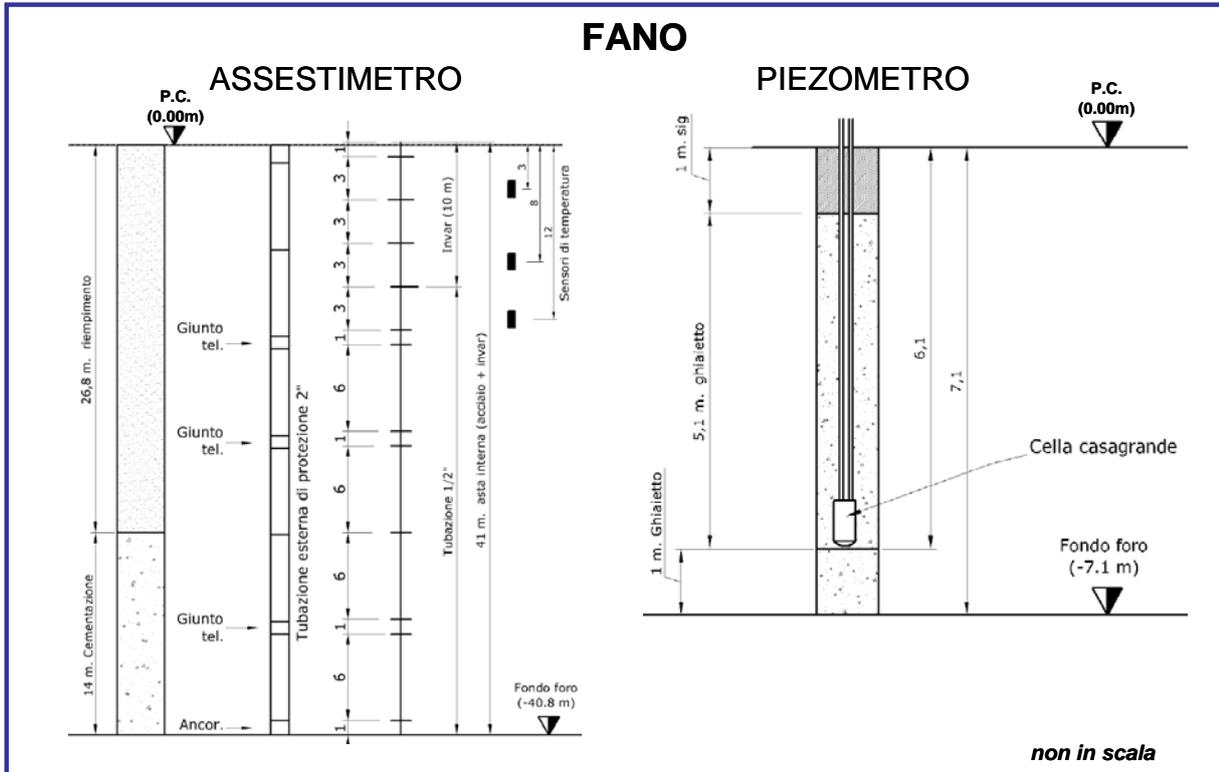
### **Analisi dei dati piezometrici**

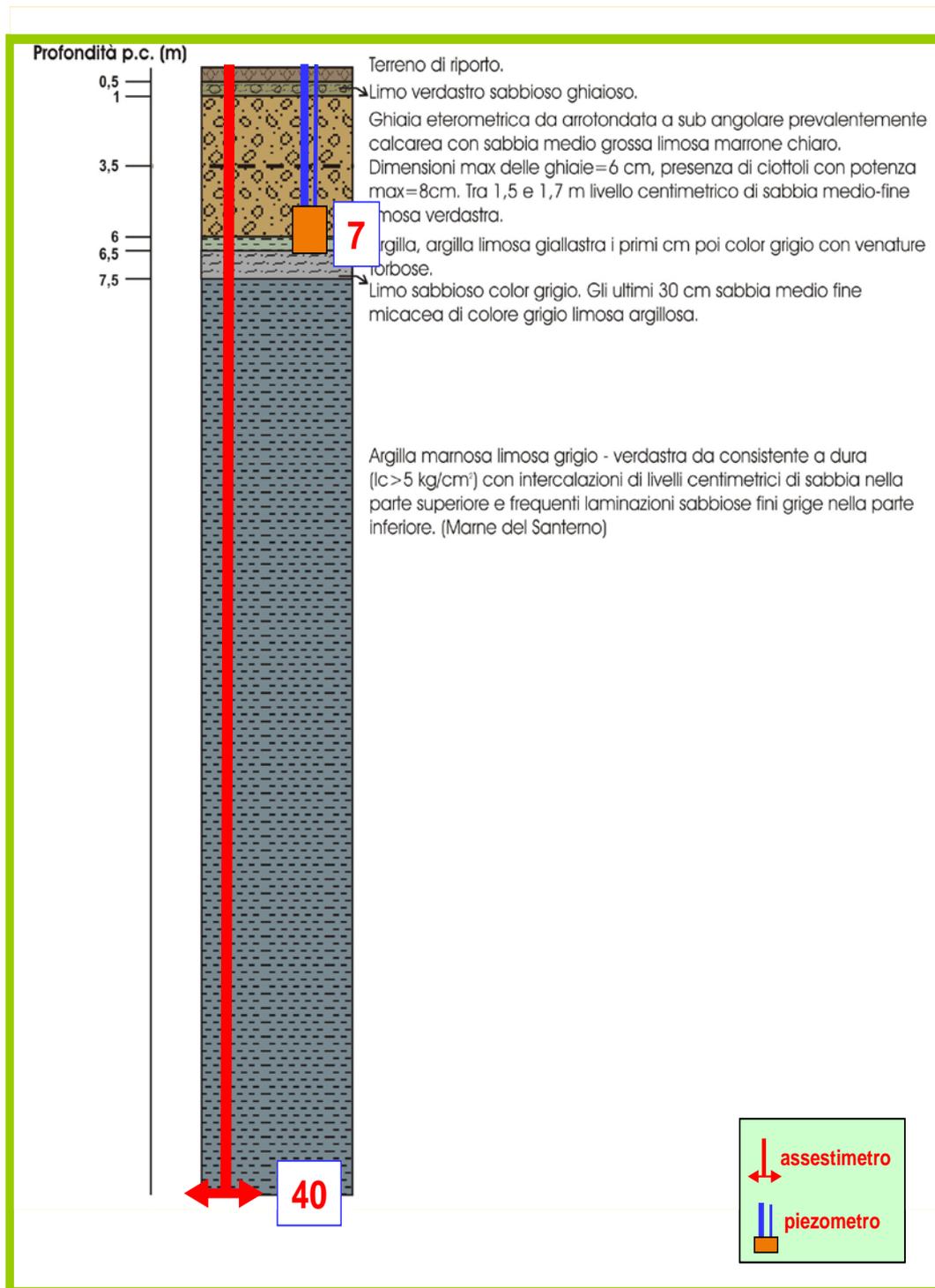
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria.

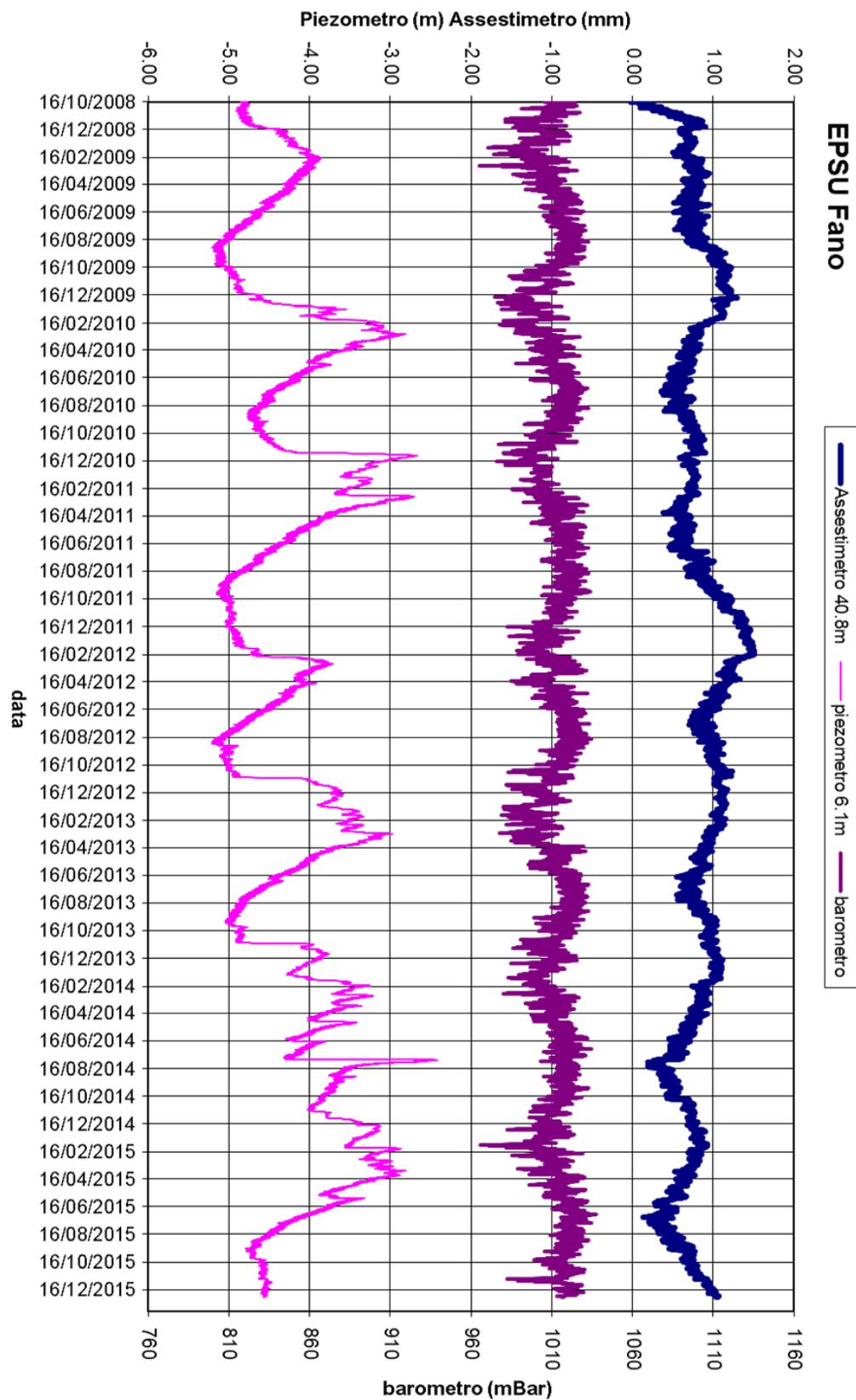
Nel grafico del piezometro l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casagrande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa  $\pm 8$  cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento.

L'ultimo controllo generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato fatto nel dicembre 2015.



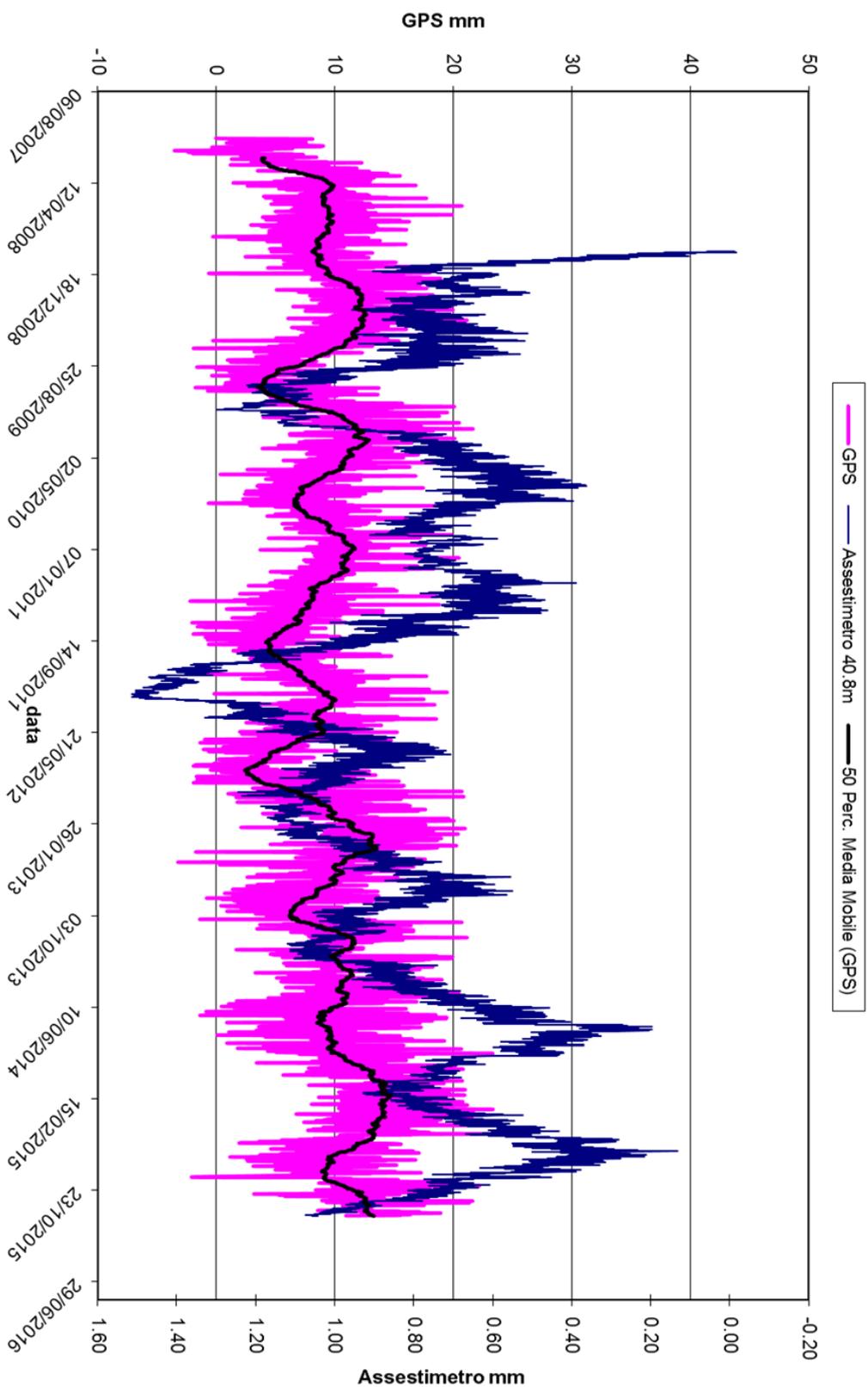




L'assestimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento



### FANO - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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

Dall'insieme dei dati sino ad ora raccolti nelle 3 stazioni EPSU si nota, in generale, una buona correlazione diretta tra l'andamento stagionale della piezometrica e la compattazione del terreno misurata dagli assestimetri.

Tale correlazione è più evidente nel caso di Falconara, dove il piezometro monitora le falde superficiali più sensibili a tutte le variazioni stagionali di piovosità.

Nel caso di Rubicone le variazioni stagionali sembrano essere monitorate solo dai 2 piezometri più superficiali (CGRP-2), mentre quello più profondo (CGRP-1) registra solo deboli variazioni di livello della falda, temporalmente sfasate rispetto all'andamento stagionale delle falde superiori. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo delle 3 EPSU, è anche quello che mostra una tendenza crescente nell'insieme delle misure di compattazione, registrando complessivamente 22,1 mm d'abbassamento totale del terreno in oltre 6 anni di funzionamento.

Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato alla base di uno strato argilloso spesso circa 32 m e scarsamente comprimibile: lo strumento, infatti, nei circa 7 anni di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1 mm circa).

Nella tabella seguente sono riportati i valori medi della compattazione (positiva) o espansione (negativa) del terreno e delle relative velocità ottenute dalle misure assestimetriche disponibili dall'inizio del funzionamento della strumentazione sino alla data del 31 dicembre 2015.

Si segnala che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche sono risultate molto basse, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di compattazione del terreno. In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.



Sito	Anni di osservazione	Assestometro profondo		Assestometro superficiale	
		Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)
<b>Rubicone</b>	6,75	22,1	3,3	-	-
<b>Fano</b>	7,21	-	-	1,0	-
<b>Falconara</b>	7,21	-	-	0,4	-