



## Campo di ANNALISA

Aggiornamento al 31/12/2014

Il campo di Annalisa è situato nell'offshore Adriatico circa 34 km a NE di Pesaro, a una profondità d'acqua di circa 55 m, nella concessione A.C32.AG evidenziata in Figura 2.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C32.AG	30/11/24	Eni	Eni	100%	Marche

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse in direzione NW-SE e si estende per una superficie di circa 4,2 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra i 2300 e 3400 m slm interessando 52 livelli della serie PL3 della Formazione P.to Garibaldi (Figura 3).

Il campo è stato scoperto nel 1984 con il pozzo Annalisa 1; successivamente nel 1985 è stato perforato il pozzo di appraisal Annalisa 2 per meglio definire l'assetto della struttura.

Nel novembre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Annalisa 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) del marzo 1997, che stimava riserve a vita intera pari a 1659 MSm<sup>3</sup> producibili in 8 anni con un picco di produzione giornaliera di 1000 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 essere pari a 3,2 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 1,6 km verso la costa.

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

- comprimibilità uniassiale  $C_m = 0,367 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,33$ .



In seguito al Decreto VIA n° 3547 del 7/01/99 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo maggio-dicembre 1999 si è sviluppato il campo perforando tre nuovi pozzi (Annalisa 3, Annalisa 4 e Annalisa 5) da una piattaforma di tipo BEAF.

La produzione di gas è iniziata nel marzo del 2000 con una portata di circa 900 kSm<sup>3</sup>/g che, però, è rapidamente declinata. 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 1660 MSm<sup>3</sup>) aggiornata al 31/12/14.

Mentre i pozzi di sviluppo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura, la loro produttività è risultata notevolmente inferiore a quanto atteso. Nei primi 4 anni d'erogazione, infatti, si è avuto un arrivo prematuro e inizialmente non previsto dell'acqua di formazione ai pozzi; tale comportamento produttivo ha, pertanto, reso necessaria una revisione degli studi statico e dinamico del campo.

Con tale revisione (aprile 2005) non solo si è aggiornato il valore del GOIP che è risultato in diminuzione (*GOIP studio statico del marzo 1998 pari a 3091 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico dell'aprile 2005 pari a 2440 MSm<sup>3</sup>*), ma, soprattutto, si è potuto meglio calibrare il meccanismo di produzione, evidenziando una spinta dell'acquifero con conseguente sostegno della pressione nei singoli livelli messi in produzione. Ciò ha comportato una riduzione pari a circa il 46% delle riserve producibili a vita intera dal campo. Il nuovo profilo di produzione ha previsto, infatti, il recupero in 15 anni di 890 MSm<sup>3</sup> con una graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale di acqua prodotta.

Nel maggio 2008 si sono di nuovo aggiornati i modelli statico e dinamico del campo di Annalisa (*Studio di giacimento - Nota Tecnica "Proposta pozzi di infilling" del maggio 2008 - rel. Eni-INPE n° 52-08*) allo scopo d'ottimizzarne la coltivazione e valutarne le residue potenzialità minerarie.

Il nuovo valore del GOIP è stato di 2637 MSm<sup>3</sup>, con un incremento di circa il 10% rispetto alla stima dell'aprile 2005.

Le riserve producibili in 21 anni sono a loro volta aumentate di circa 84% rispetto alla valutazione precedente, risultando pari a 1636 MSm<sup>3</sup>. Tale aumento è riconducibile sia a una rivalutazione delle riserve associate ai completamenti esistenti, sia al progetto di porre in produzione livelli mineralizzati non ancora sviluppati. Tale progetto è stato realizzato nel



2009 con la perforazione del nuovo pozzo Annalisa 6 dir e l'esecuzione di due side-track dai pozzi Annalisa 3 dir e Annalisa 5 dir.

Nel maggio 2014 si sono aggiornati gli studi statico e dinamico sia del campo di Annalisa, sia di quello di Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella - Studio di giacimento, rel.GISE n°13-14 - ottobre 2014"*). I due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi.

Nei nuovi modelli di giacimento di Annabella e di Annalisa si è tenuto conto dei dati storici di produzione sino ad aprile 2014, onde valutare ancora le residue potenzialità minerarie di detti campi e; inoltre, individuare interventi mirati a aumentarne il fattore di recupero finale.

In base ai risultati di questa revisione è stato programmato un side-track (Annalisa 4dirA) sul pozzo Annalisa 4dir da realizzarsi nel 2015.

Per quanto riguarda il campo di Annabella si sono previsti 2 side-track dalla piattaforma; il relativo programma operativo non è stato, però, ancora definito.

Il nuovo valore del GOIP per il campo di Annalisa è stato di 3966 MSm<sup>3</sup>, con un incremento di circa il 50% rispetto alla precedente stima del maggio 2008.

Sempre per il campo di Annalisa, le riserve a vita intera sono aumentate a loro volta di circa 23%, risultando pari a un volume di 2012 MSm<sup>3</sup> producibile al 2023 (Figura 5).

In Figura 6 sono riportati per il campo di Annalisa sia i profili di pressione statica di giacimento calcolati con il modello Eclipse dell'ottobre 2014, sia le pressioni statiche misurate nei livelli ritenuti più rappresentativi (PL3 B10-B12, PL3 B11-B12, PL3 G1-H1, PL3 D4a-b).

Il buon accordo fra i valori di pressione misurati e calcolati consente di ritenere che le previsioni aggiornate sul comportamento futuro del campo in termini di produzione e pressione abbiano un elevato grado di affidabilità.

Già nel marzo 2009 è stata rivista la previsione iniziale di subsidenza, seguendo l'approccio modellistico e le metodologie di lavoro descritte nel provvedimento direttoriale del Ministero dello Sviluppo Economico del 20/03/08. Per tale nuova previsione, si sono considerati i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra il campo di Annalisa e il campo di Annabella data la loro vicinanza (7 km ca.). La descrizione tecnica dello studio e i risultati



ottenuti sono riportati in dettaglio nella “rel. Eni-TERA n° 02-09 del marzo 2009”. Tali previsioni di subsidenza sono eseguite per tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato valutato assumendo un diverso valore (Low, Medio, Up) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione.

Una sintesi di tali risultati è presentata nella seguente Tabella 1 e nelle Figure 7-8-9.

**Tabella 1 – Scenari di subsidenza**

Scenario	2006			2022			2045		
	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)
Low	1	-	-	2	-	-	2	-	-
Medio	3	9	1	6	11	3	6	11	3
Up	8	13	3	18	14	5	18	15	5

In tutti i casi esaminati si può notare come la subsidenza massima a fine produzione (anno 2022) raggiunga valori modesti, e, soprattutto, come la distanza del cono di subsidenza dalla costa sia sempre superiore ai 27 km.

La recente revisione (ottobre 2014) degli studi statico e dinamico di giacimento per i campi Annalisa-Annabella ha comportato anche l'aggiornamento del relativo modello geomeccanico (rel. Eni-TERA n° 07-2014 del dicembre 2014), che è stato effettuato tenendo sempre conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra i campi stessi.

Come nello studio del 2009, le nuove previsioni di subsidenza sono state fatte per tre diversi scenari, valutati assumendo differenti valori (Lower, Middle, Upper) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione.

Le simulazioni con modello geomeccanico sono state protrate fino al 2061 (a pozzi chiusi) così da seguire nel tempo l'evoluzione della pressione nei livelli mineralizzati e negli acquiferi dopo la fine della produzione (anno 2027).

I principali risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 2:

**Tabella 2 – Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per i tre scenari considerati.**

Scenario	1-gen-2015		Fine produzione		1-gen-2061	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
Lower	3	9	4	10	4	10
Middle	8	12	10	13	10	13
Upper	16	13	21	14	21	14

L'analisi di tali risultati consente di concludere che:

- il valore massimo di subsidenza è previsto verificarsi per tutti e tre gli scenari esaminati in corrispondenza del punto di coordinate 2366492 m E 4899497 m N, ed è pari a 4 cm per lo scenario Lower, 10 cm per lo scenario Middle (scenario più probabile e, quindi, assunto di riferimento) e 21 cm per lo scenario Upper;
- a fine produzione, la massima estensione del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) per lo scenario di riferimento risulta pari a 14 km in direzione parallela alla costa (Figura 7);
- la distanza del cono di subsidenza dalla costa è sempre di circa 27 km (Figura 10) per tutti i tre scenari considerati. Tale distanza rimane sempre pressochè inalterata tra il 2027 e il 2061 (Figura 8).

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di Controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell'Ambiente), viene rilevata da oltre un decennio con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle "Linee Guida per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell'Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas" emesse dal Dip. DMMMSA dell'Università di Padova nel 2007.



Le specifiche tecniche adottate sono quelle ora in uso per i rilievi della rete Eni e rispettano le indicazioni contenute nelle già citate linee guida emesse dall'Università di Padova.

Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della documentazione e della metodologia utilizzata a un ente esterno, che attualmente è il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna.

La rete di livellazione, rilevata nel 2014, è suddivisa nelle seguenti aree di attività:

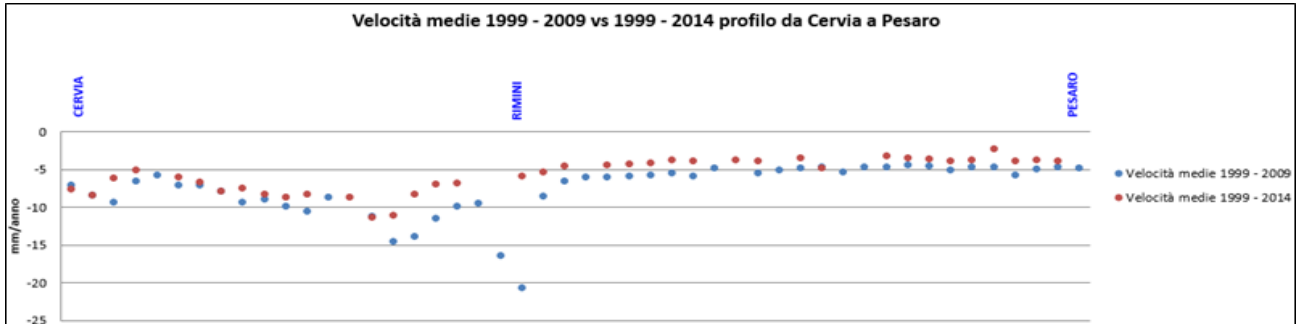
- dorsale Adriatica, da Treviso fino a Pesaro, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po, per un totale di circa 1100 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 110 km di sviluppo lineare.

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

Si ritiene opportuno sottolineare che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra Ortona 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/a, e solo per pochi capisaldi supera detto valore.

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



Si deve osservare che i dati di livellazione, misurati sul singolo caposaldo, non sono di solito sufficienti per caratterizzare la distribuzione areale della subsidenza. Le misure sul singolo caposaldo, infatti, possono essere talvolta alterate da “disturbi” accidentali intervenuti nel tempo sul manufatto su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza 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 il 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  $V_a^1$  sono state poi raggruppate nelle seguenti 5 classi:

- classe 4: include i capisaldi con  $V_a > 10$  mm/a;

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



- 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 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 trattandosi 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 9), 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 sulle 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 anche le nuove stazioni CGPS di Elettra, Fauzia, la cui serie storica è, però, troppo breve per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la realizzazione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 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 costruite 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 questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, facoltà di Fisica.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Annalisa, 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 nella seguente Tabella 3.

**Tabella 3 – 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
Annalisa	17,90	21,05	-4,82	17,58	21,30	-5,70	0,32	-0,25	0,88

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 Annalisa, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>2</sup> misurata da CGPS pari a -4,7 mm/a (Figura 10), in leggera diminuzione rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-5,1 mm/a al 2013).

La serie storica di misure CGPS presenta una interruzione dovuta a lavori di work-over e a un guasto della strumentazione; i calcoli di regressione sono stati comunque fatti a partire dall'inizio della serie (01/01/08) e fino al 31/12/2014.

---

<sup>2</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.



I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del dicembre 2014 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS, senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale. Come si vede dalla Figura 12, le misure CGPS si collocano sullo scenario *Middle (scenario di riferimento)*, confermando l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza e il carattere conservativo delle previsioni fornite.

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

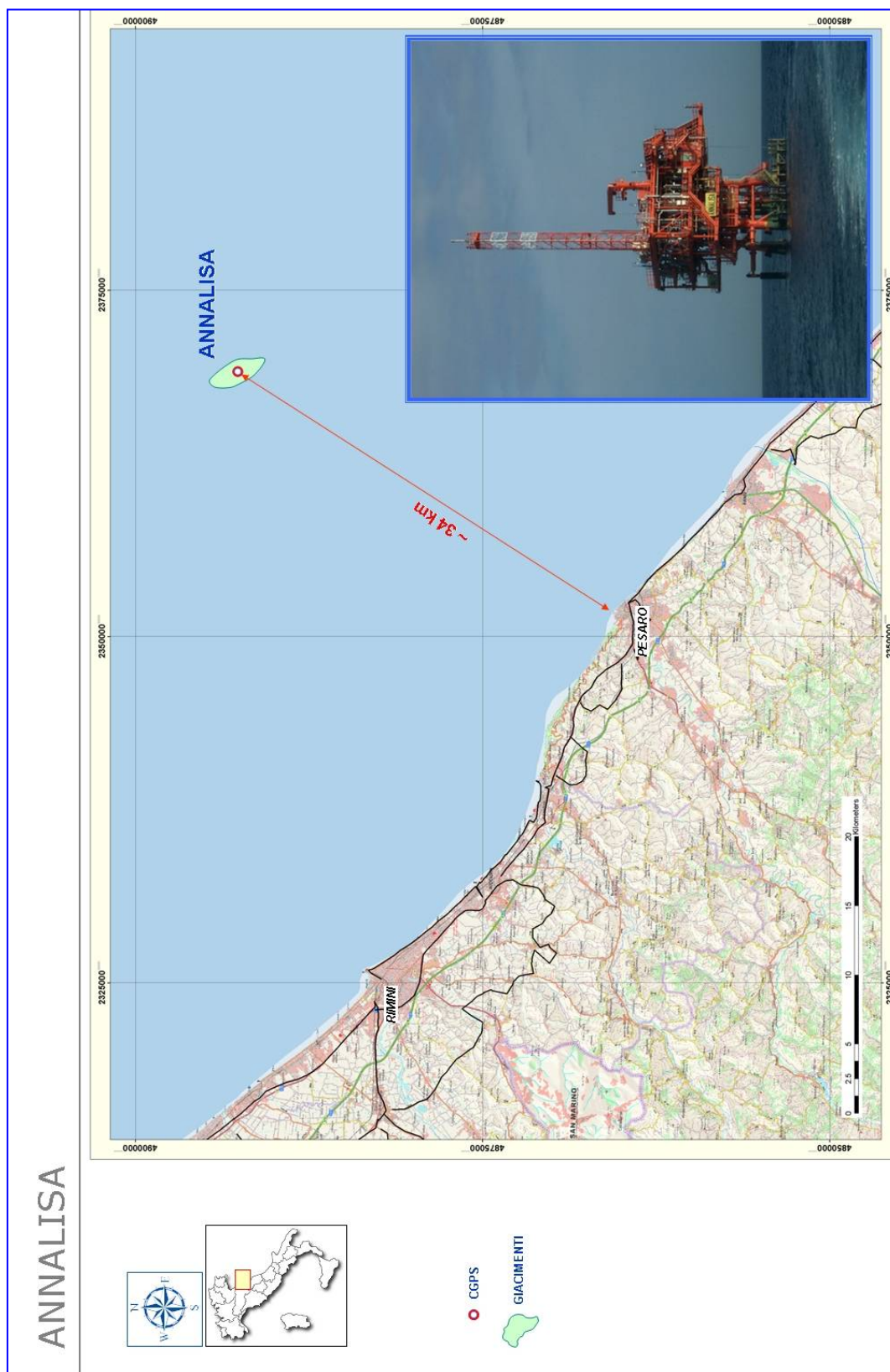


Figura 1 – Ubicazione del campo di Annalisa

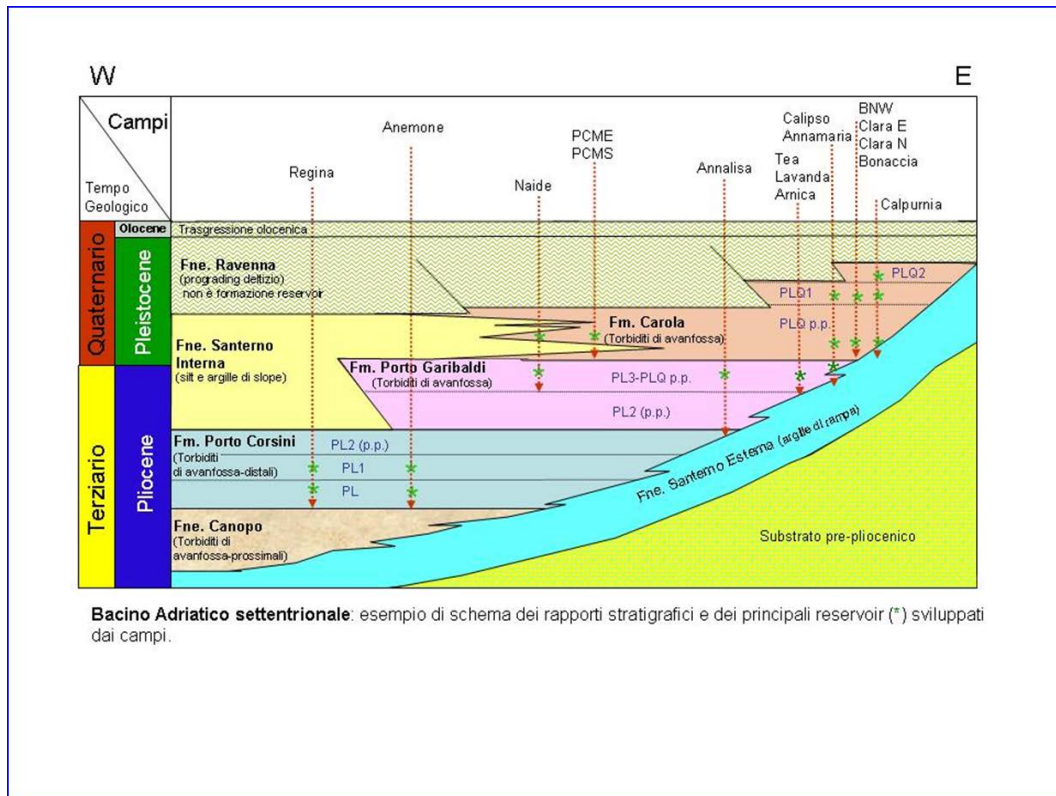


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

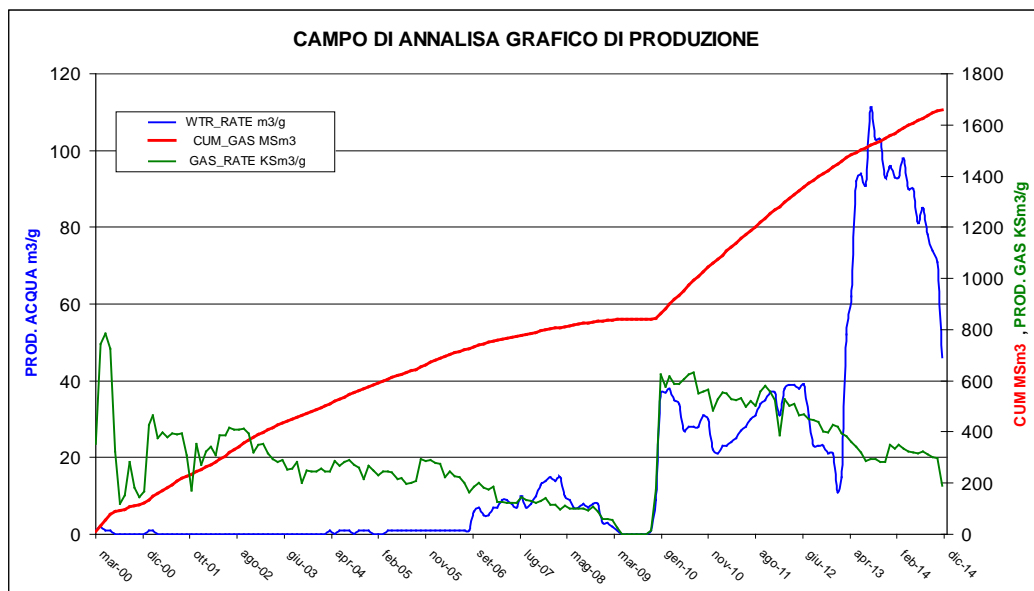


Figura 3 – Campo di Annalisa: grafico della produzione storica



CAMPO DI ANNALISA	GAS PRODOTTO REALE 31/12/2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 10/2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 05/2008	GAS PRODOTTO REALE 31/12/2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 10/2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 05/2008	Percentuale Gas Prodotto VS Riserve calcolate da modello 3D del 10/2014
	(Cumulativa)	(Cumulativa)	(Cumulativa)	(Produzione anno)	(Produzione anno)	(Produzione anno)	
ANNO	Msm3	Msm3	Msm3	Msm3	Msm3	Msm3	
2000	116	116	122	116	116	122	6%
2001	245	245	253	129	129	132	12%
2002	378	378	389	133	133	136	19%
2003	481	481	488	103	103	99	24%
2004	576	576	584	95	95	96	29%
2005	663	663	672	87	87	88	33%
2006	744	744	750	81	81	78	37%
2007	794	794	799	50	50	49	39%
2008	833	833	835	39	39	36	41%
2009	839	839	861	6	6	26	42%
2010	1069	1069	1033	230	230	172	53%
2011	1254	1254	1190	185	185	157	62%
2012	1422	1422	1298	168	168	108	71%
2013	1546	1546	1380	124	124	82	77%
2014	1660	1660	1441	114	114	61	83%
2015		1712	1498		52	57	
2016		1804	1557		92	59	
2017		1869	1591		65	34	
2018		1921	1602		52	11	
2019		1943	1622		22	20	
2020		1961	1633		18	11	
2021		1989	1636		28	3	
2022		2007			18		
2023		2012			5		
2024							
2025							
2026							
2027							

0.187037773

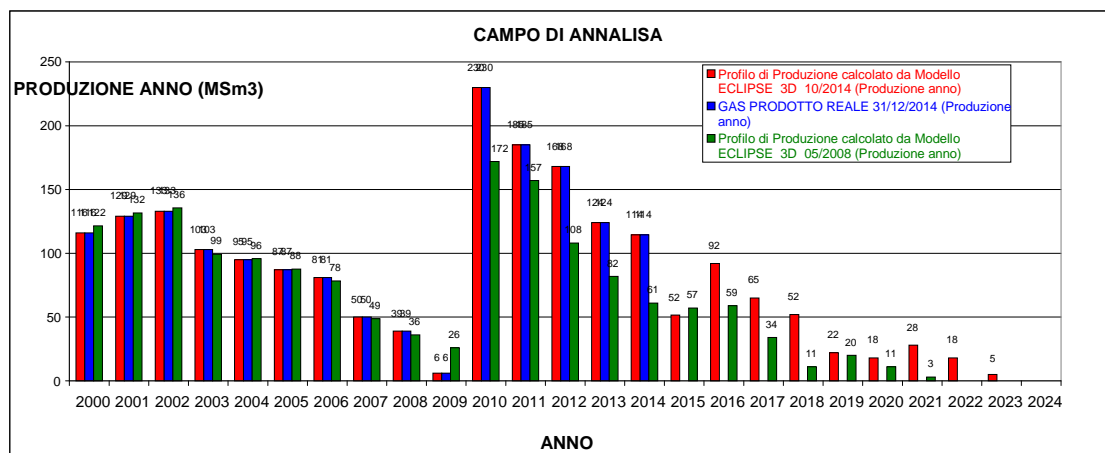
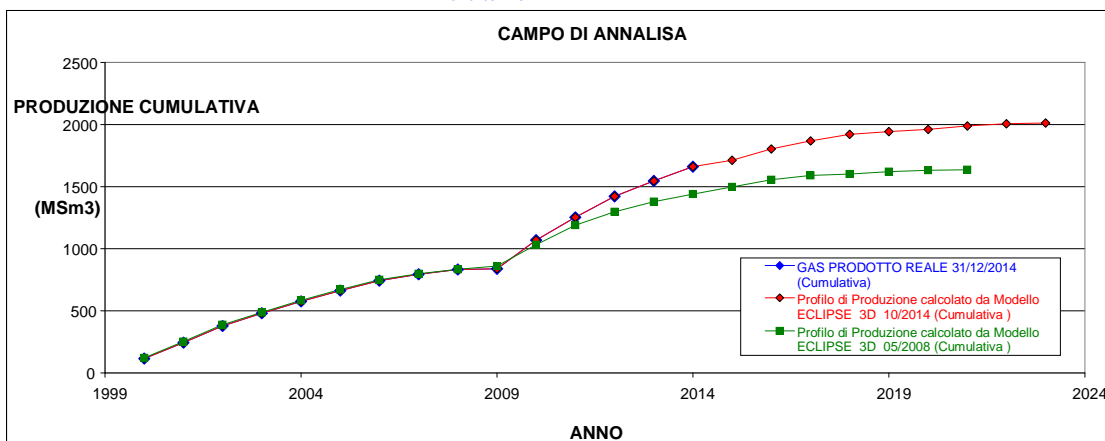


Figura 4 – Campo di Annalisa: tabella di produzione vs. modelli Eclipse 2008 e 2014

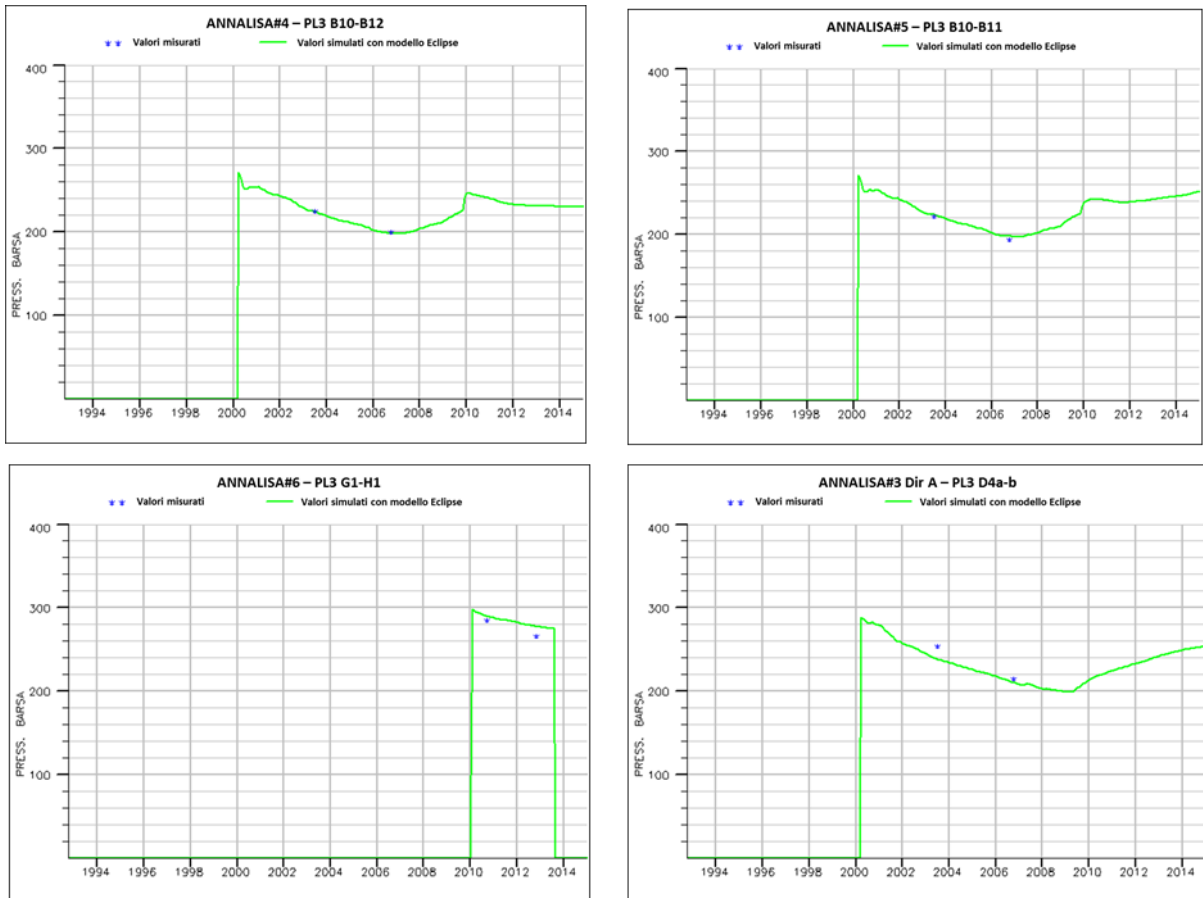


Figura 6 – Campo di Annalisa: confronto fra i dati misurati di pressione statica e i profili di pressione calcolati (modello Eclipse - Ott. 2014)



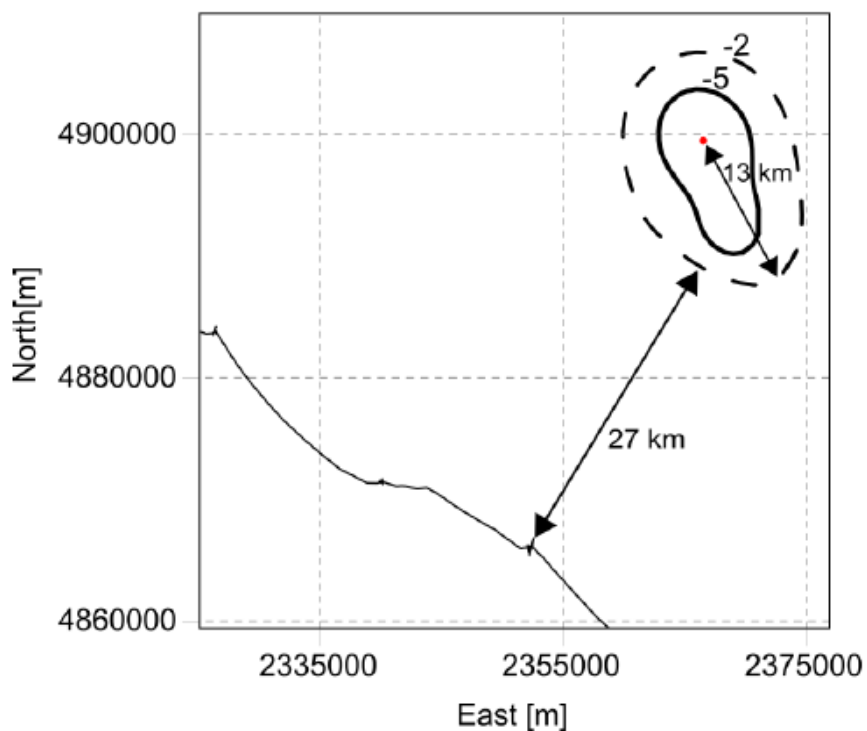


Figura 7 – Campo di Annalisa: mappa di subsidenza al 2027 (fine prod.) per lo scenario di riferimento

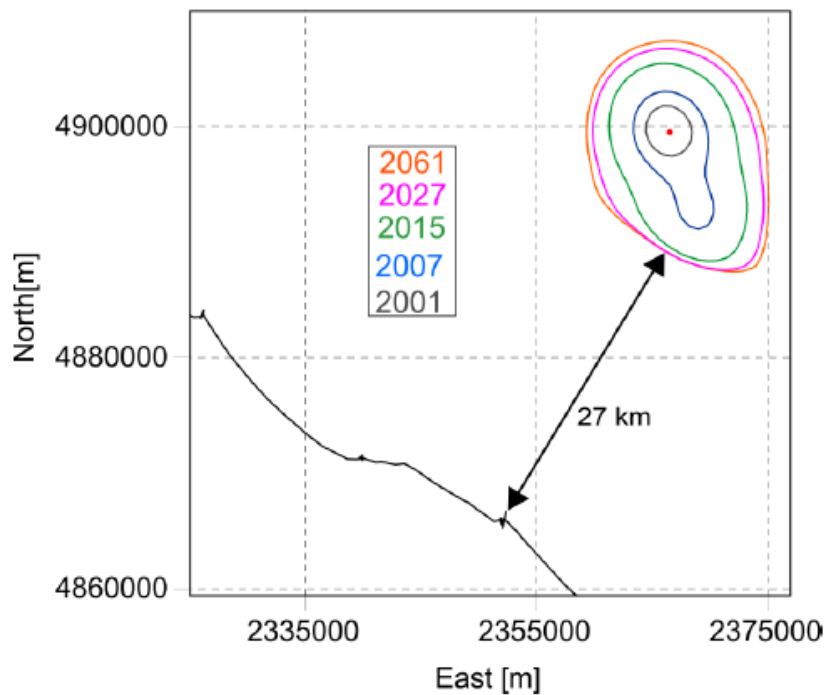


Figura 8 – Campo di Annalisa: evoluzione nel tempo della linea di iso-subsidenza di 2 cm per lo scenario di riferimento

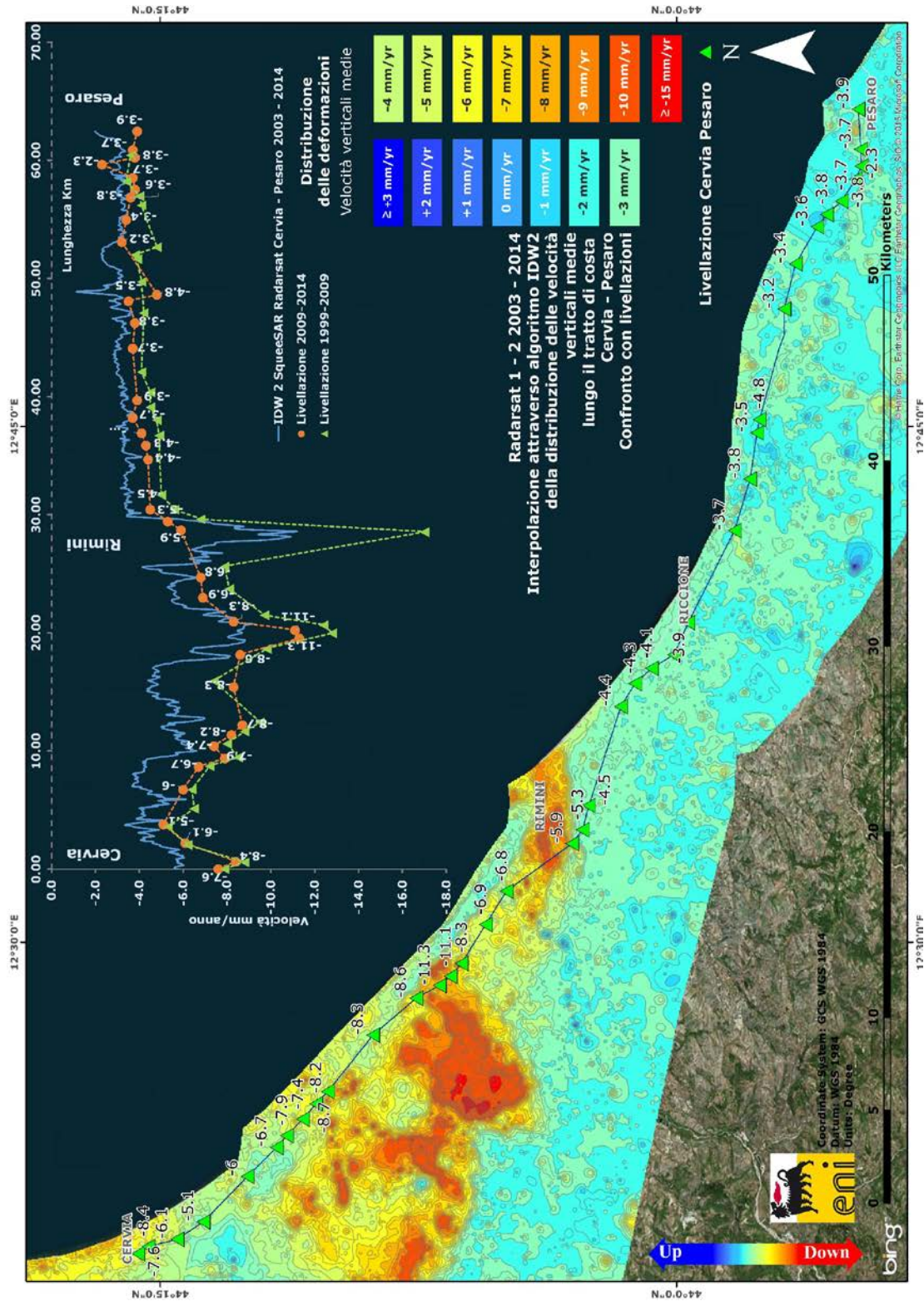
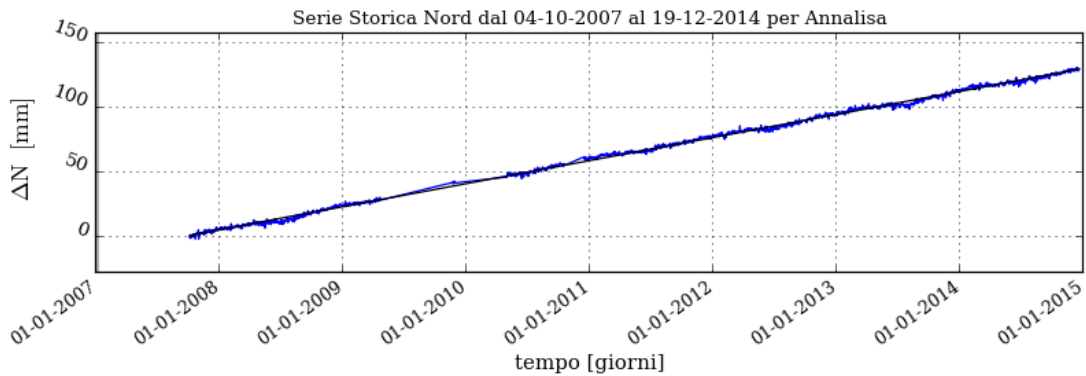


Figura 9 – Campo di Annalisa: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2014

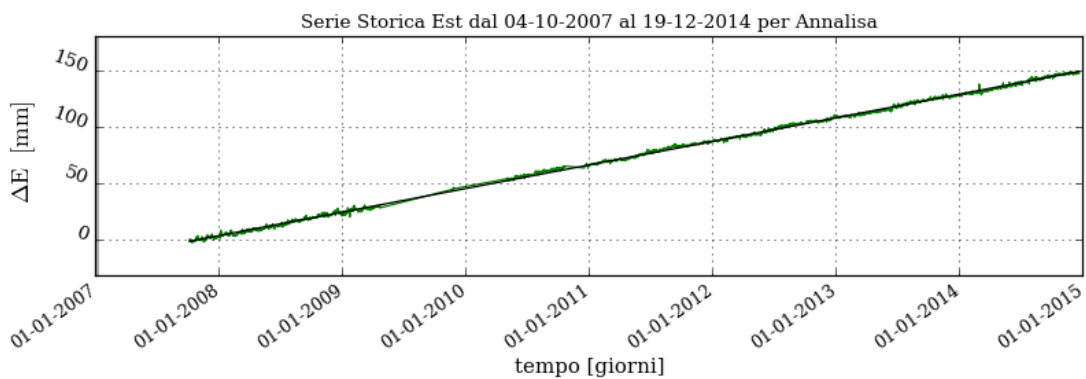


Serie storica spostamenti IGB08 RETE Annalisa



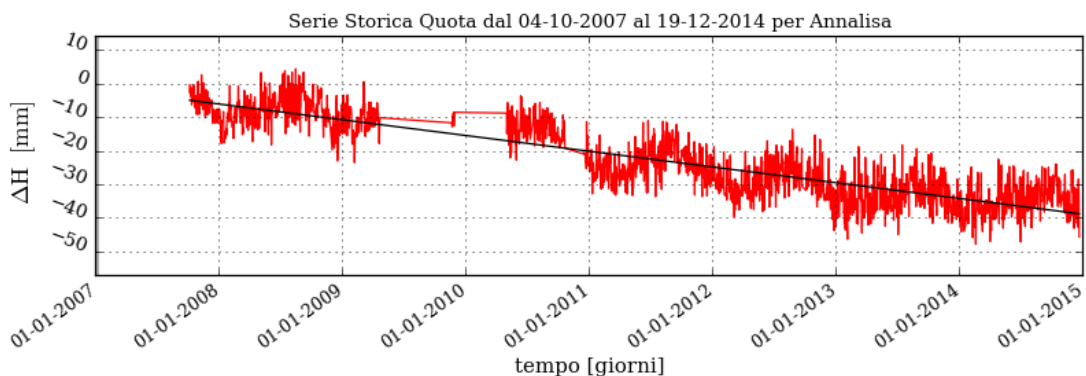
$Vel_n = 17.89 \pm 0.01$  mm/y  
 $WRMS_n = 1.39$  mm  
 $\chi^2 / DOF = 11.19$

— Nord  
— Regressione lineare



$Vel_e = 21.0 \pm 0.01$  mm/y  
 $WRMS_e = 1.34$  mm  
 $\chi^2 / DOF = 16.19$

— Est  
— Regressione lineare



$Vel_h = -4.73 \pm 0.05$  mm/y  
 $WRMS_h = 5.24$  mm  
 $\chi^2 / DOF = 12.57$

— Quota  
— Regressione lineare

Figura 10 – Campo di Annalisa: serie storiche plano-altimetriche CGPS



CAMPO	Inizio produzione	Fine Produzione	Riserve prodotte @ dic.2014	Subsidenza prevista a fine produzione (scenario di riferimento)	CGPS		
					inizio registrazione	velocità media (mm/a) @ fine 2014;	mesi di registrazione
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	nd	3
ELETTRA	2014	2025	12%	-16cm al 2035	lug-14	nd	5

Figura 5 – Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. modelli

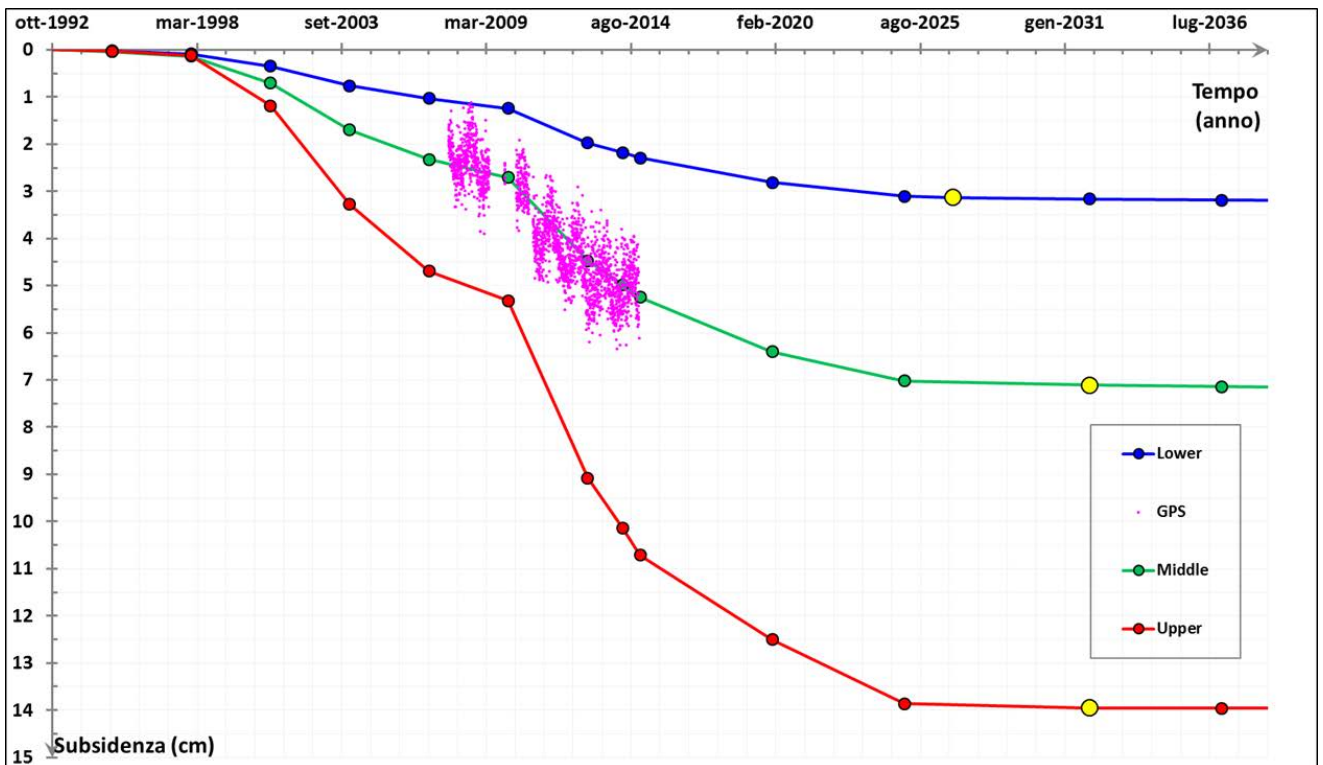


Figura 6 – Campo di Annalisa: misure CGPS (al 31 dic. 2014) vs. previsioni di subsidenza da modello geomeccanico (in corrispondenza della piattaforma)



campo ANNALISA ( Eni 100% )			
DECRETO VIA n. 3547 del 7 gennaio 1999			
DATI DI CAMPO			
UBICAZIONE	offshore- a circa 34 Km a NE di Pesaro		
PROFONDITA' FONDALE	55 m		
LITOLOGIA	sabbie fini		
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Garibaldi		
ZONA MINERARIA	P13		
PROFONDITA' RESERVOIR	2300-3400 (TVDS)		
TIPO DI PIATTAFORMA	BEAF		
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	blanda anticlinale		
	D.M @ gen '99	@ 31 dic 2014	
CONCESSIONE	A.C32.AG		
DATA SCADENZA CONCESSIONE	30/11/2024		
N. POZZI		3	3
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)		1659	2012
START UP PRODUZIONE	mar-00		
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2007	2023
GAS PRODOTTO (MSm3)			1660
% RISERVE PRODOTTE			83%
<b>AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNALISA)</b>			
		<b>SIA</b>	<b>ULTIMO AGGIORNAMENTO</b>
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MARZO '97"		MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "OTTOBRE '14"
RISERVE (MSm3)	1659		2012
MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA CILINDRICO		ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ 12/2014
MAX SUBS SUL CAMPO (cm)	3,2 (dopo 10 anni)		10 @ 2027 (scenario di riferimento-Middle)
MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	1,6 (dopo 10 anni)		13 @ 2061 (scenario di riferimento-Middle)
N.B.: IL MODELLO DI SUBSIDENZA E' STATO AGGIORNATO COERENTEMENTE ALLA REVISIONE DEL MODELLO DINAMICO DI CAMPO. I RISULTATI DELLO STUDIO TENGONO CONTO ANCHE DELL'INTERFERENZA CON IL VICINO CAMPO DI ANNABELLA. LA DISTANZA DEL CONO DI SUBSIDENZA DALLA COSTA RISULTA SEMPRE SUPERIORE AI 27 KM			
<b>STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI</b>			
<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>	NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA		
<b>SAR</b>	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2014 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.MA ANNALISA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO		

Figura 7 – Campo di Annalisa: scheda di sintesi



Figura 8 - 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.

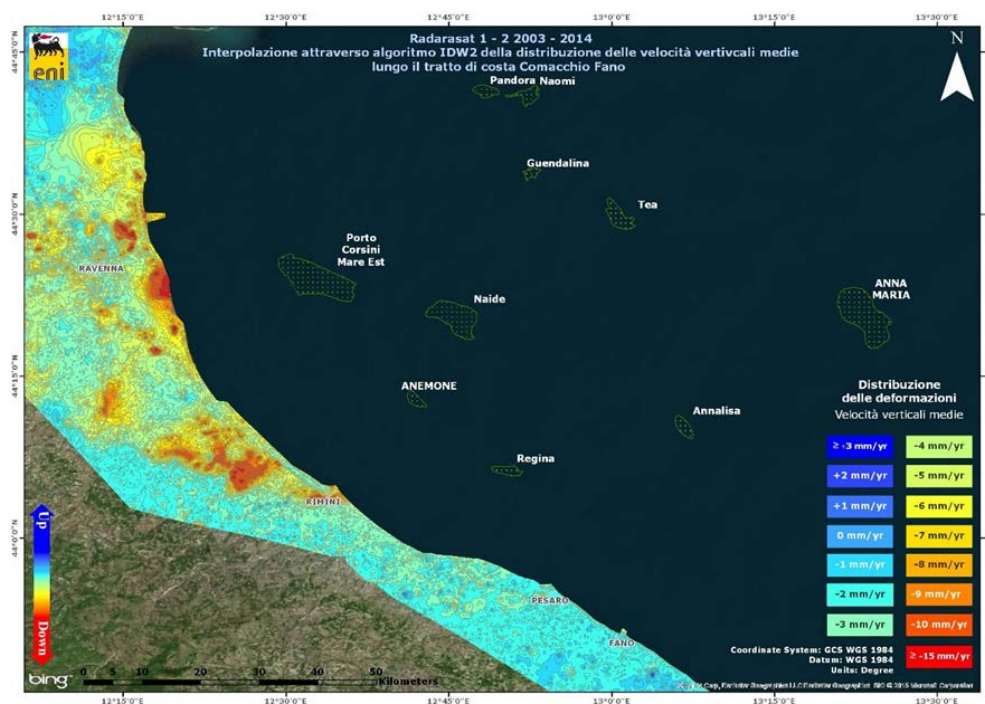


Fig. 2A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS



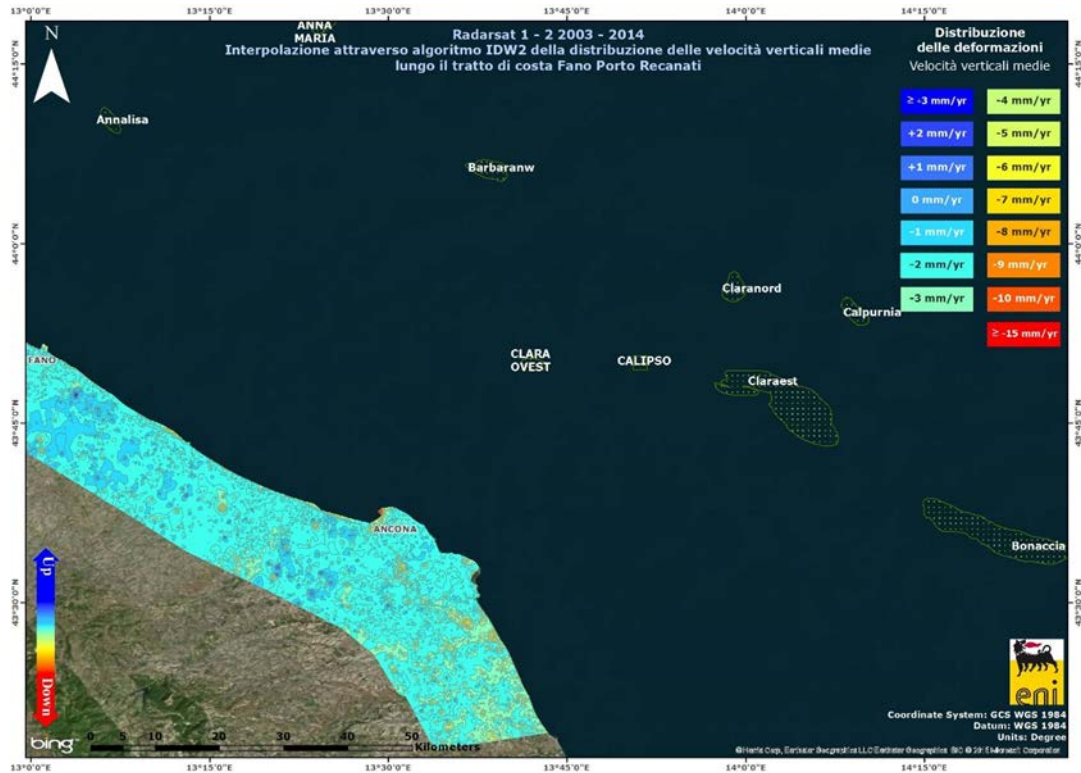


Fig. 3A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

### 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.

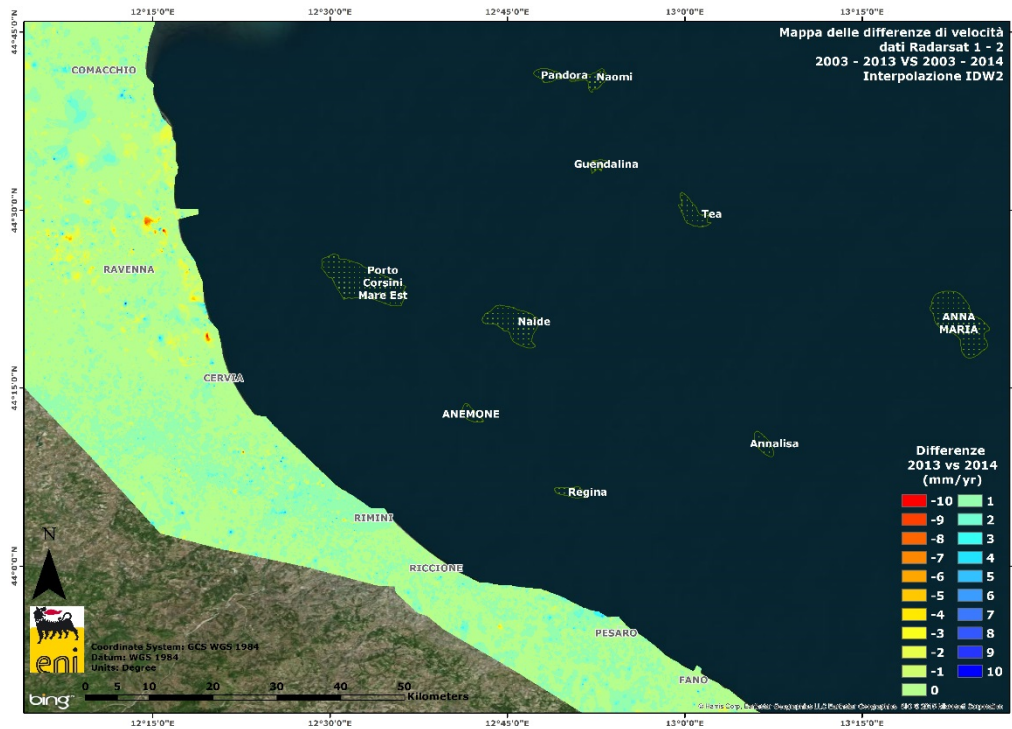


Fig. 4A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

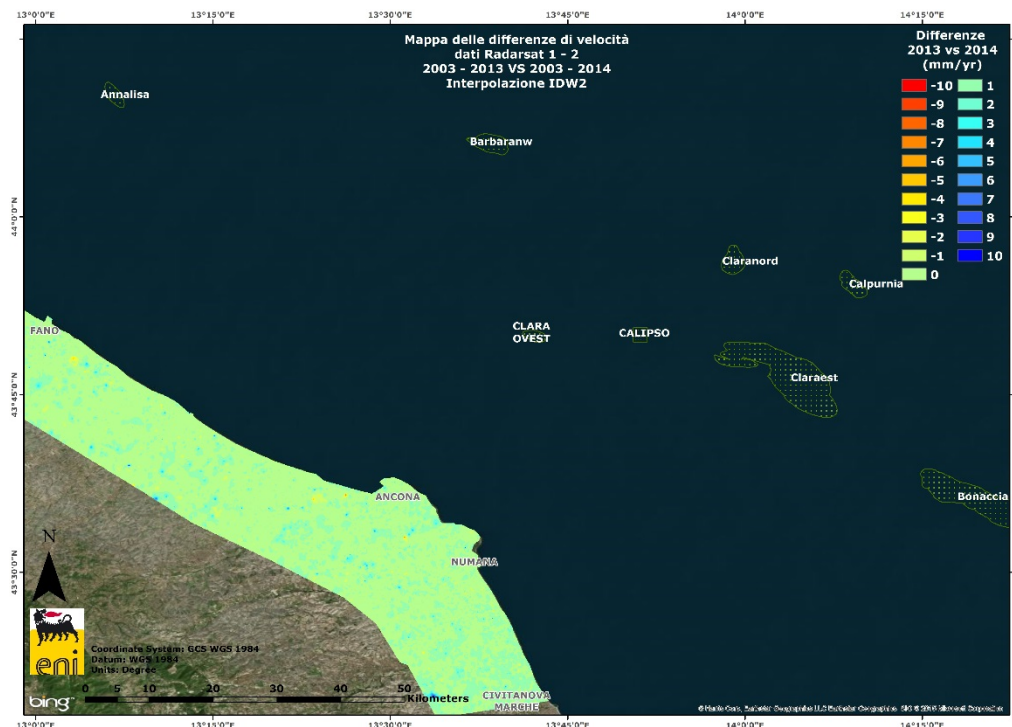


Fig. 5A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

### 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.

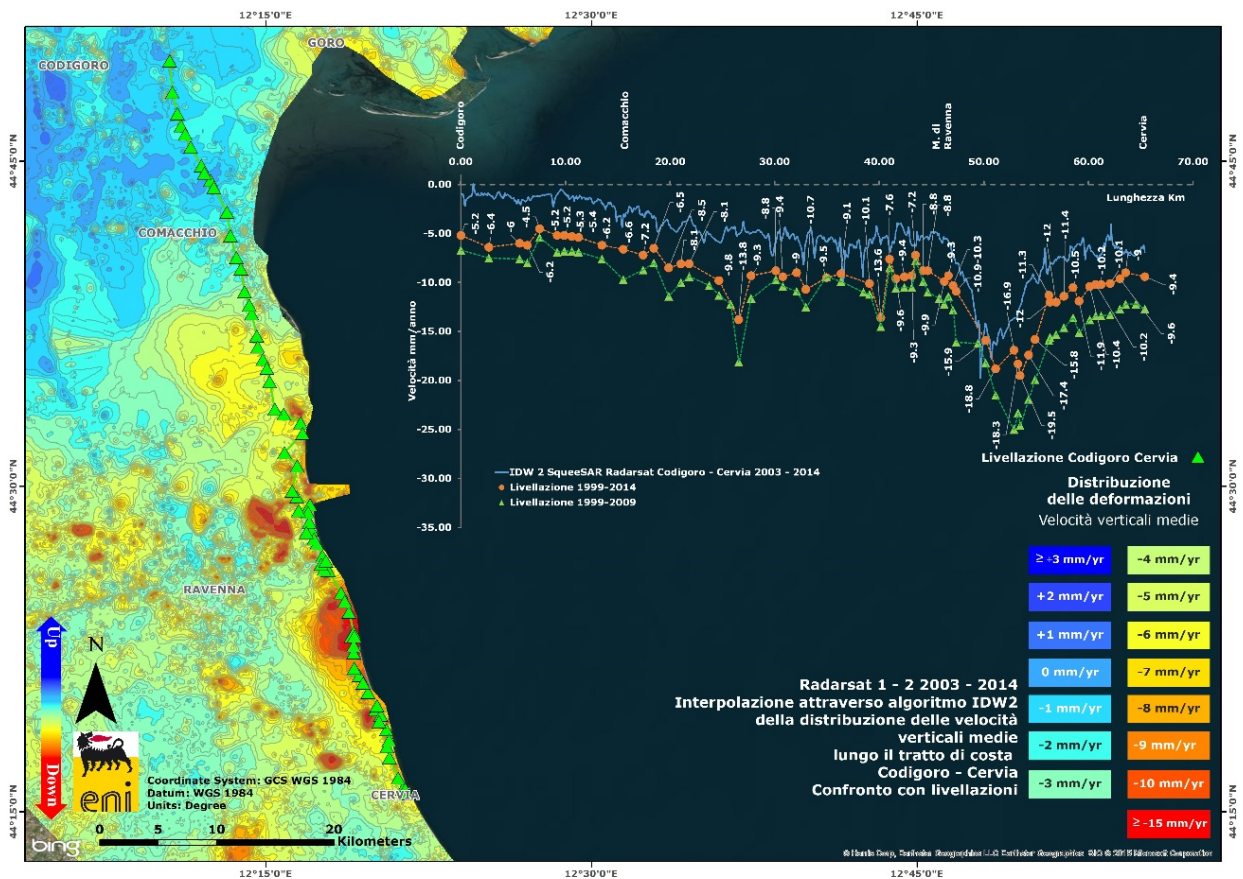


Fig. 6A – Tratto Codigoro – Cervia: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014e le campagne di livellazione 1999-2009 e 1999-2014

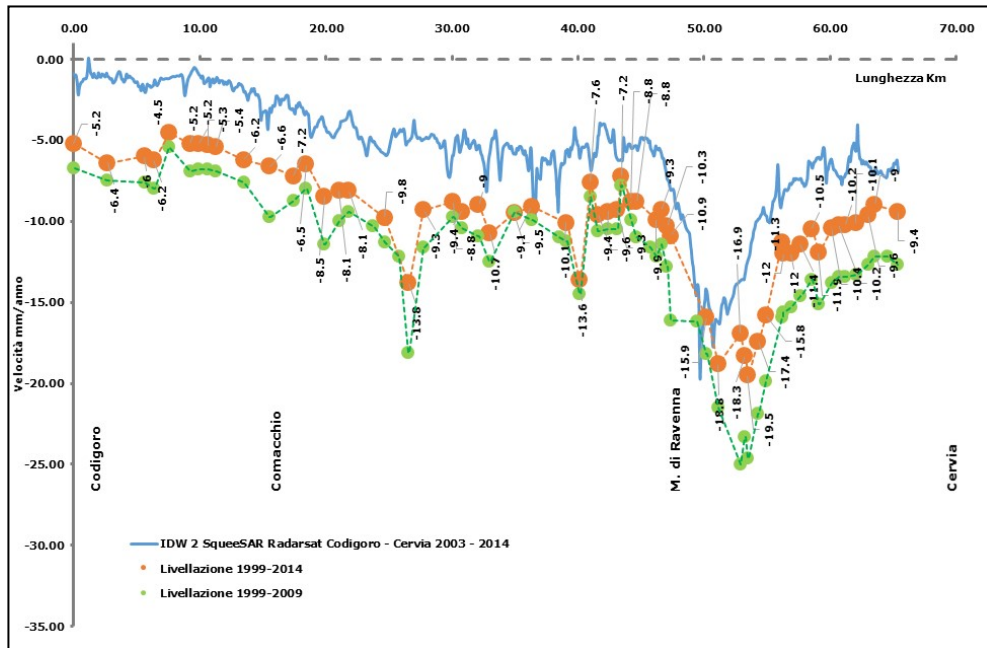


Fig. 7A – Tratto Codigoro – Cervia: dettaglio del grafico di confronto (Fig. 6A) tra il database Radarsat 1-2 (1999-2014) e le campagne di livellazione (1999-2014).

Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

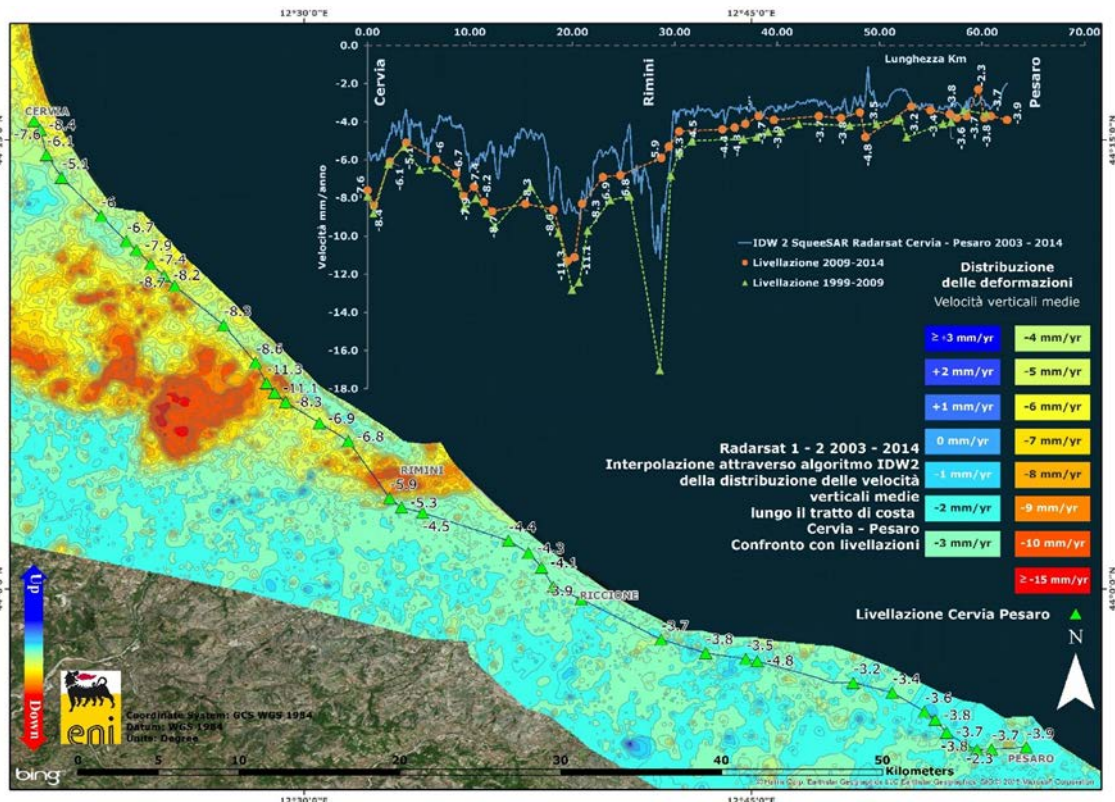


Fig. 8A – Tratto Cervia-Pesaro: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014

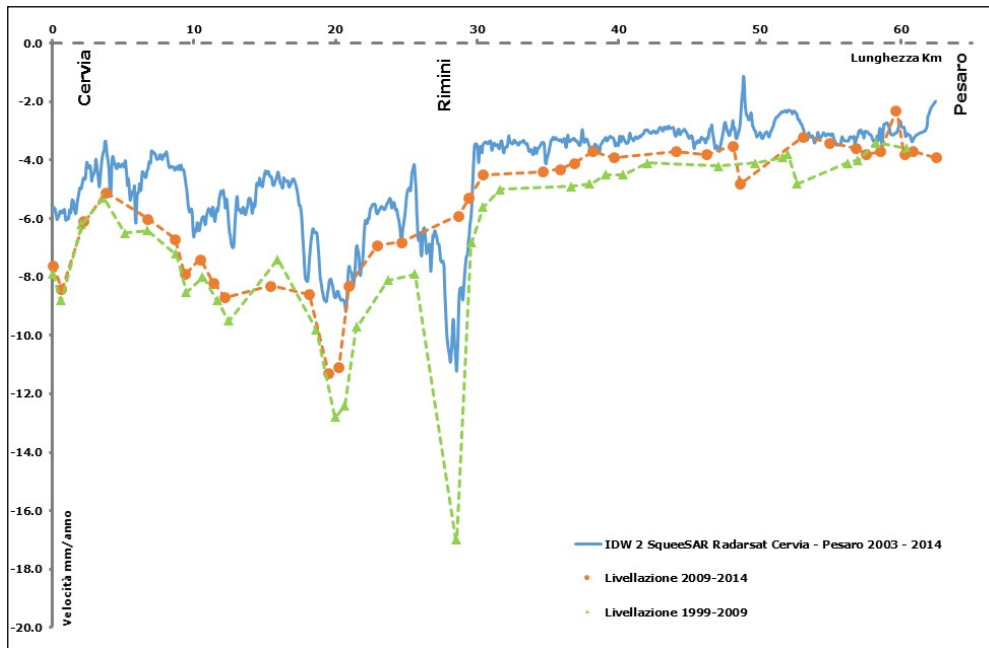


Fig. 9A – Tratto Cervia – Pesaro: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014.

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

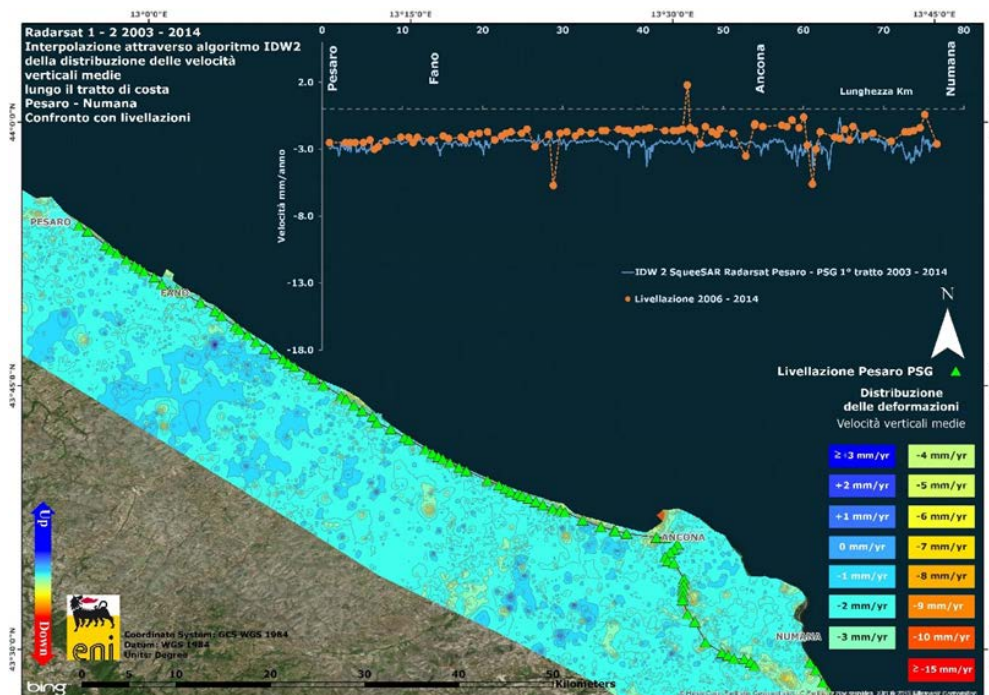
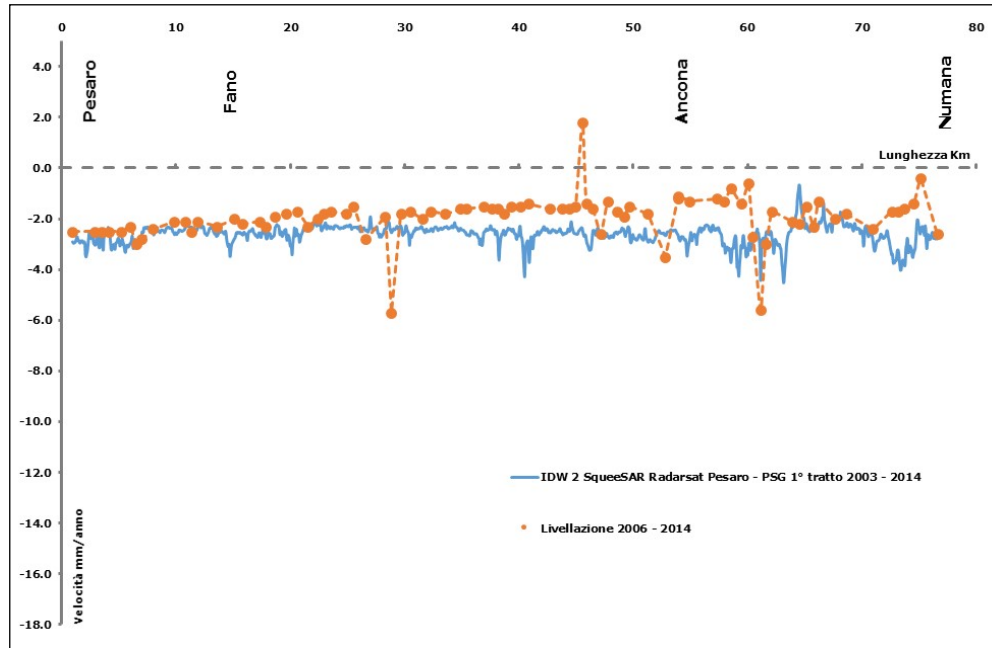
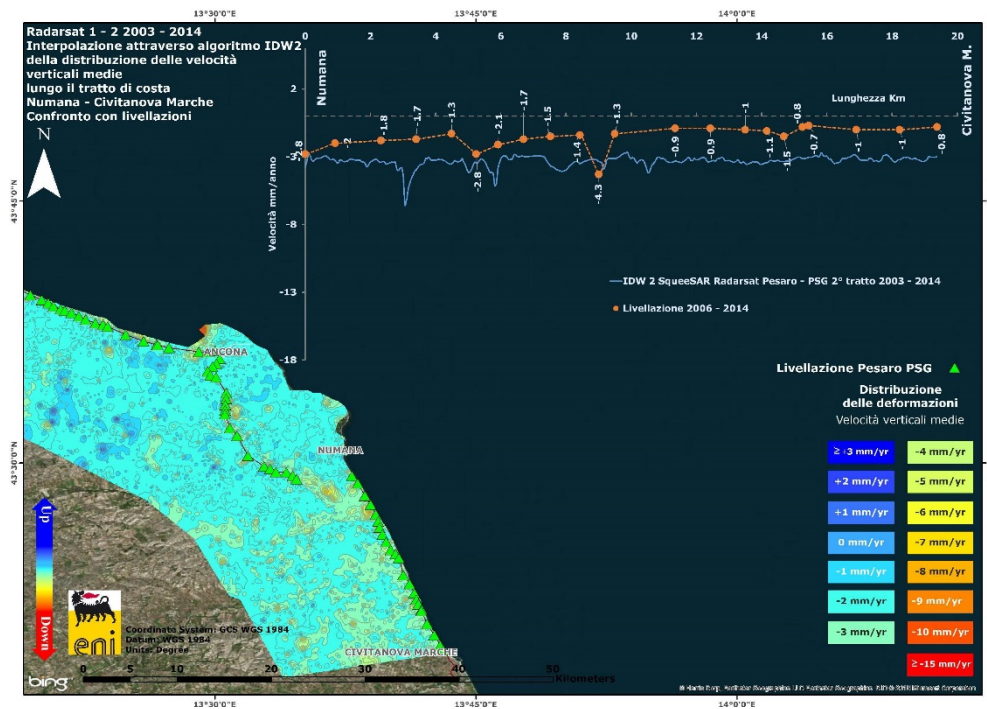


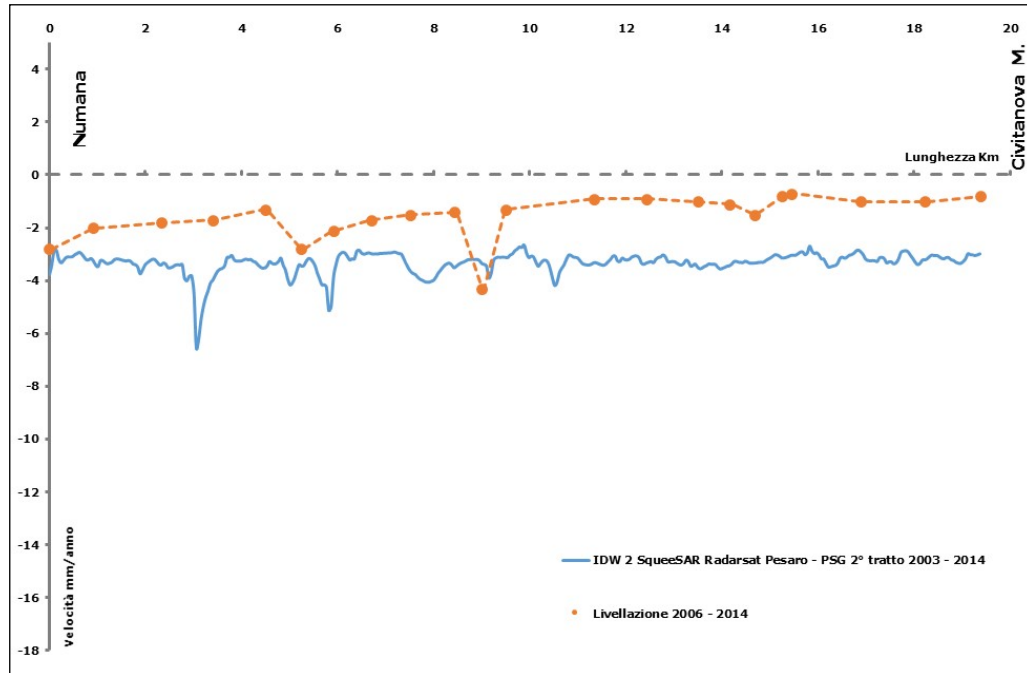
Fig. 10A – Tratto Pesaro – Numana: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014



**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 Radar-sat 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 Cervia e Ancona - aggiornamento al dicembre 2014

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, realizzate tra il 2008 e il 2009, è riportata in figura 1B.

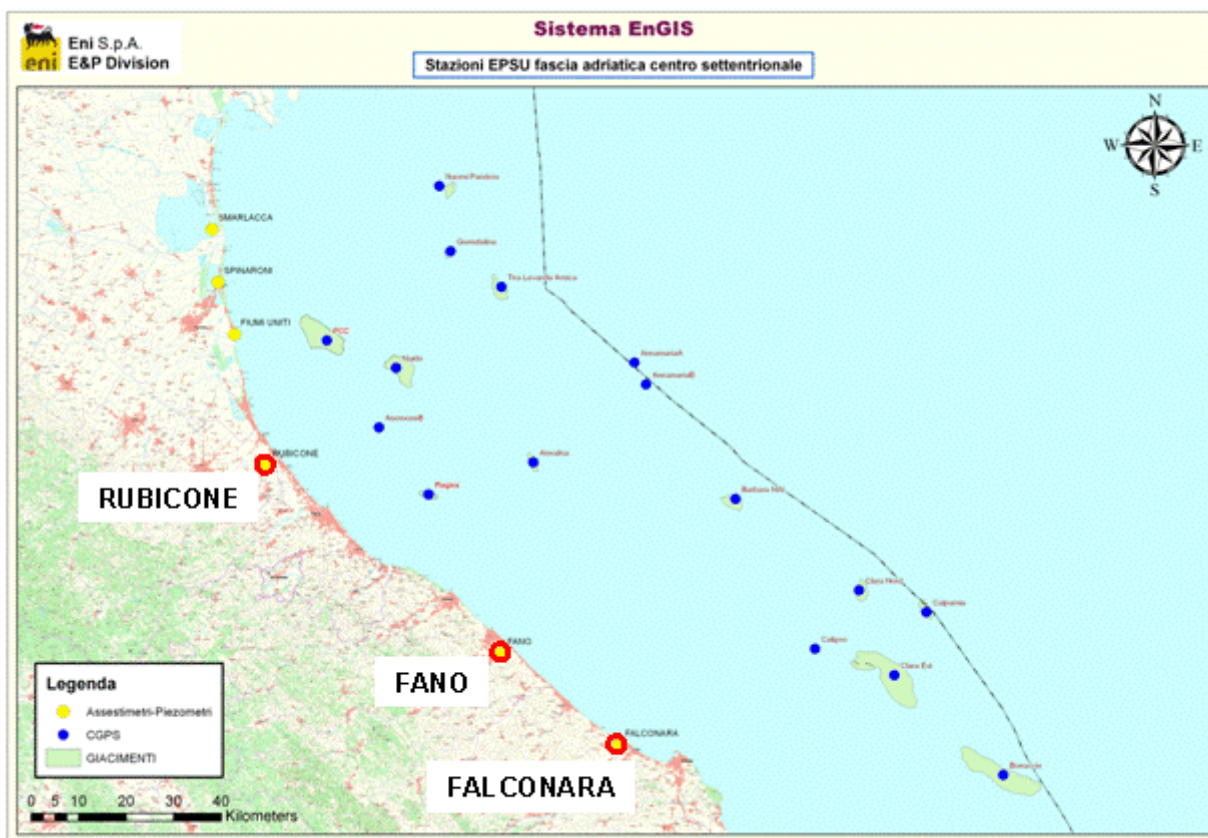


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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



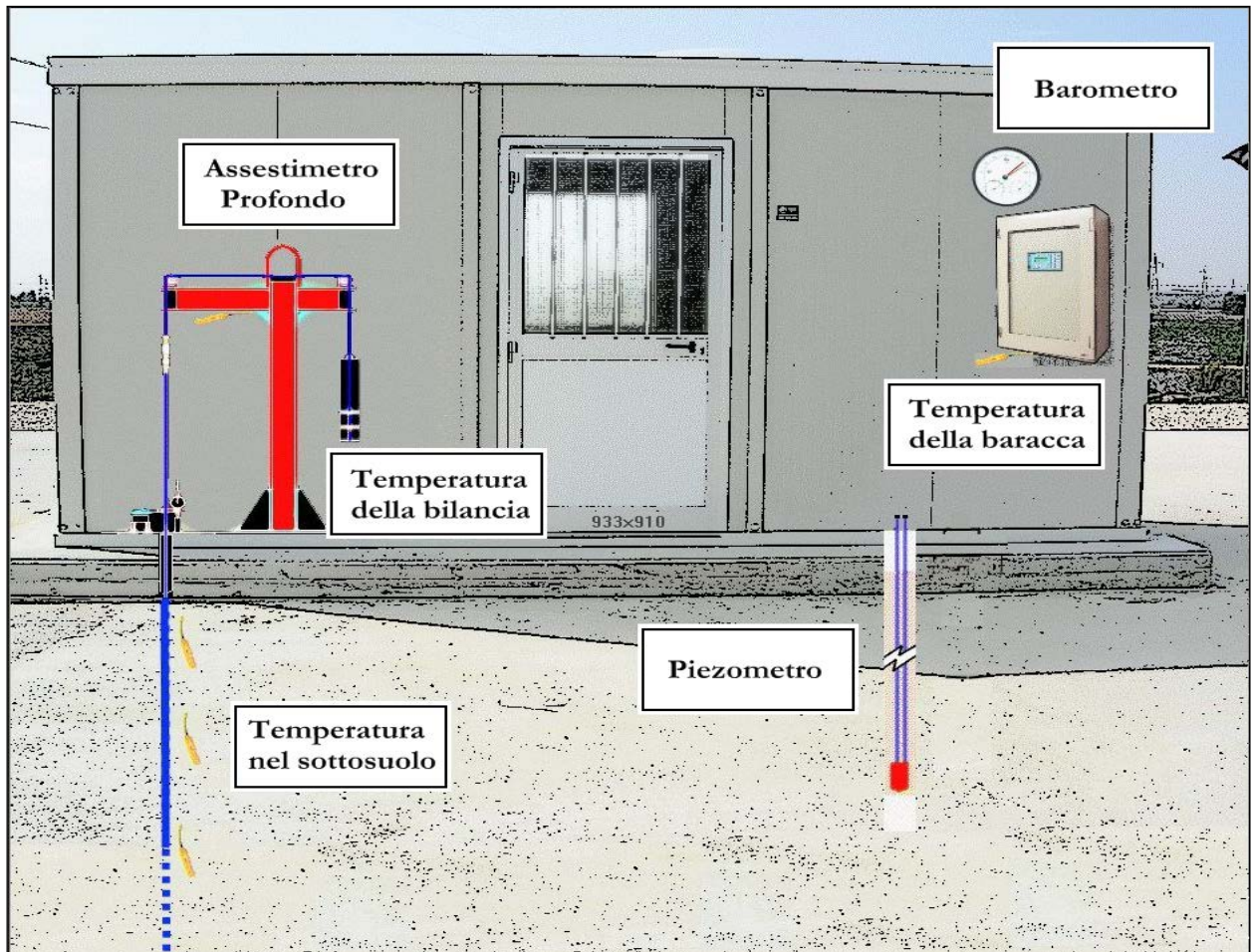


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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
Rubicone	CGRA-1	Assestimetro 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	Assestimetro superficiale	40,8 m	Lug. 2008
	CGFNP-1	Piezometro superficiale	6,1 m	Lug. 2008
Falconara	CGFLA-1	Assestimetro superficiale	40,3 m	Lug. 2008
	CGFLP-1	Piezometro cella singola	22 m	Lug. 2008

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 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 2014.

### **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 una compattazione, valori negativi, viceversa, un incremento del-



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

Nel caso della stazione di Rubicone, la variazione nel tempo delle misure assestometriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio ben correlabile con le variazioni di livello delle falde acquifere registrate dal piezometro doppio.

In particolare, l'assestometro ha registrato a partire dai primi mesi di funzionamento una compattazione crescente giunta a un massimo di circa 9,5 mm (ottobre 2009), per poi decrescere, fino quasi ad azzerarsi, nel periodo marzo-aprile 2010. A partire da metà maggio 2010 le misure mostrano una ripresa nel verso positivo (cioè aumento della compattazione) fino a circa metà settembre 2010 per un valore di picco di 5,3 mm. Da questa data si è registrata una riduzione della compattazione tanto che al 31 dicembre 2010 il valore registrato è stato pari a 1,9 mm. Tale riduzione è proseguita fino alla metà del mese di marzo 2011 raggiungendo 0,4 mm. Si nota poi un'inversione di tendenza, ovvero un aumento della compattazione che ha raggiunto, alla fine di giugno 2011, un valore di 2,7 mm. Da giugno 2011 a ottobre 2011 la compattazione è di nuovo aumentata giungendo a un valore di picco intorno ai 10 mm, per poi decrescere attestandosi intorno agli 8,5 mm al 31 dicembre 2011.

Nel corso del 2012, dopo un piccolo decremento della misura di compattazione durato sino ad aprile, si registra un aumento della stessa sino a 15,6 mm (settembre 2012) con un successivo assestamento sui 12,6 mm a fine 2012.

L'andamento oscillatorio delle misure è stato osservato anche nel corso del 2013-2014 con una compattazione complessiva di ca. 14 mm al dicembre 2014, dopo aver raggiunto un picco massimo di circa 16 mm al settembre dello stesso anno.

Nella stessa area della stazione assestometrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento del suolo stimata dai dati GPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestometriche. Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in buon accordo, essendo rispettivamente di ca. 1,6 mm/a per il GPS e di ca. 2,4 mm/a per l'assestometro.

Un'analisi qualitativa delle due serie temporali di misure (assestometriche e geodetiche GPS - vedere grafico all.) mostra poi come queste siano ben correlate tra loro e come gli anda-



menti di entrambe le curve ben si correlino a loro volta con le oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere, fatto del resto già fatto notare in precedenza. Una possibile interpretazione di tale evidenza è che l'abbassamento del suolo registrato dal CGPS sia in buona parte prodotto dalla compattazione degli strati più superficiali di terreno; compattazione che a sua volta è controllata dal livello dell'acqua nelle falde.

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).

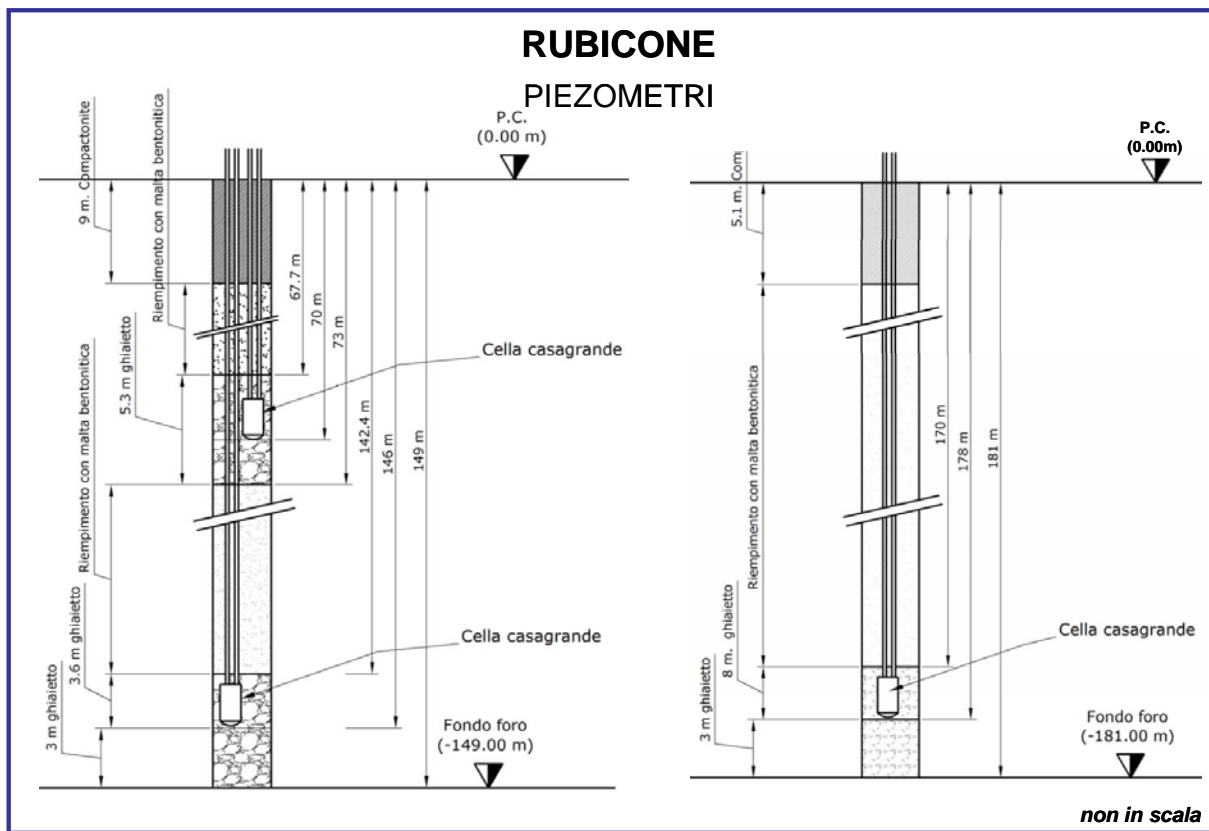
## **Analisi dei dati piezometrici**

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), differenze che sono dell'ordine di 30 - 40 cm.

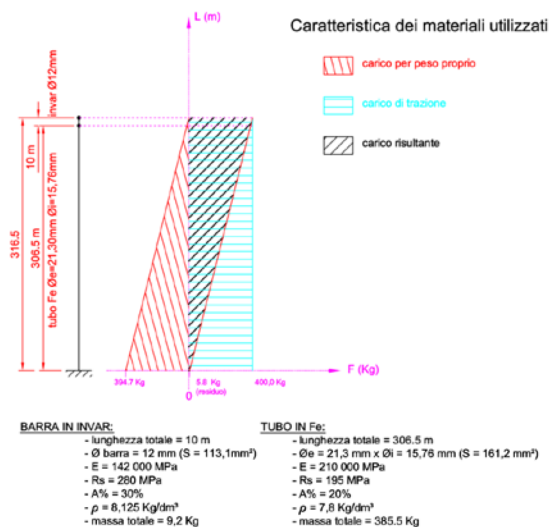
Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento.

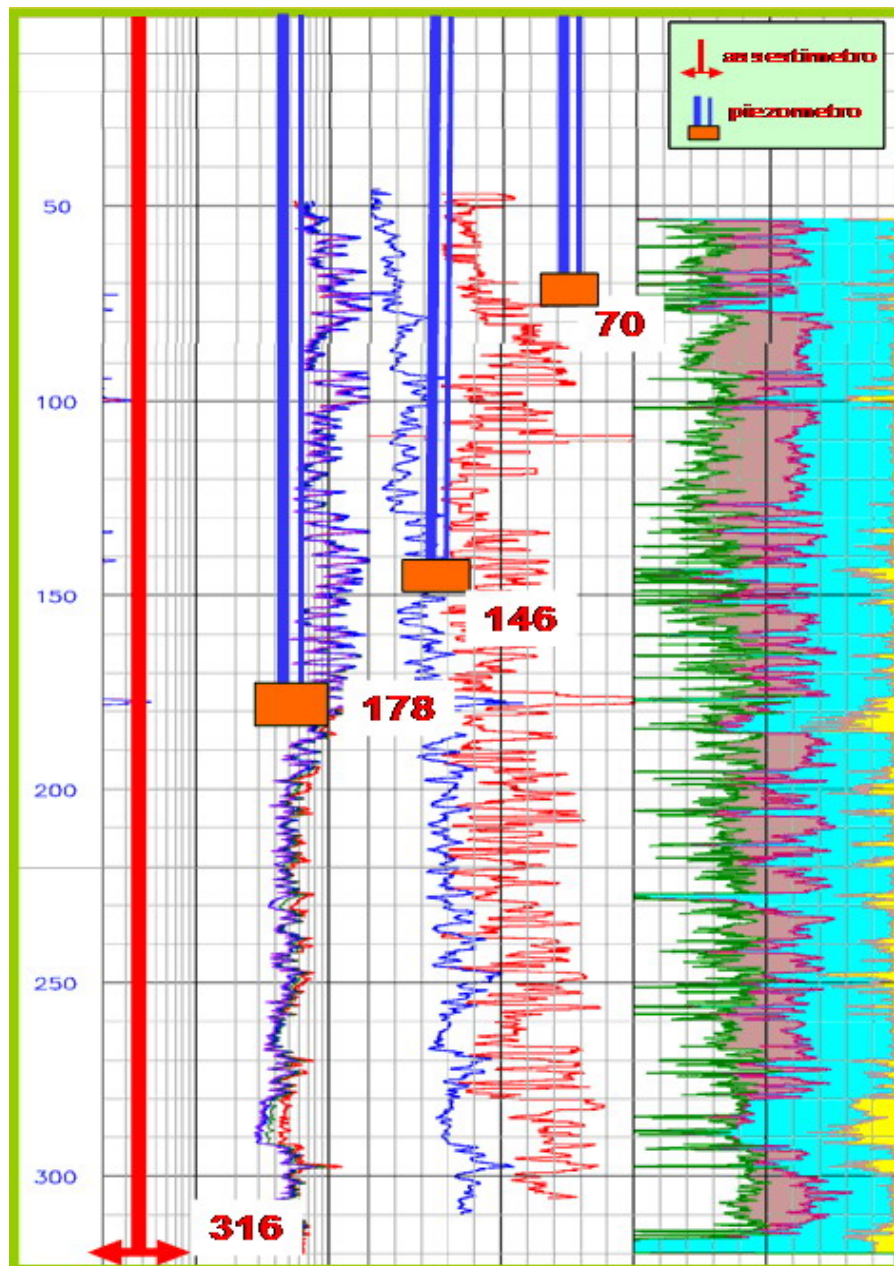
Un nuovo intervento di spurgo è stato fatto a fine settembre 2014, controllando accuratamente piezometri e trasduttori. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata verificata effettuando alcune misure manuali con freatometro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche,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



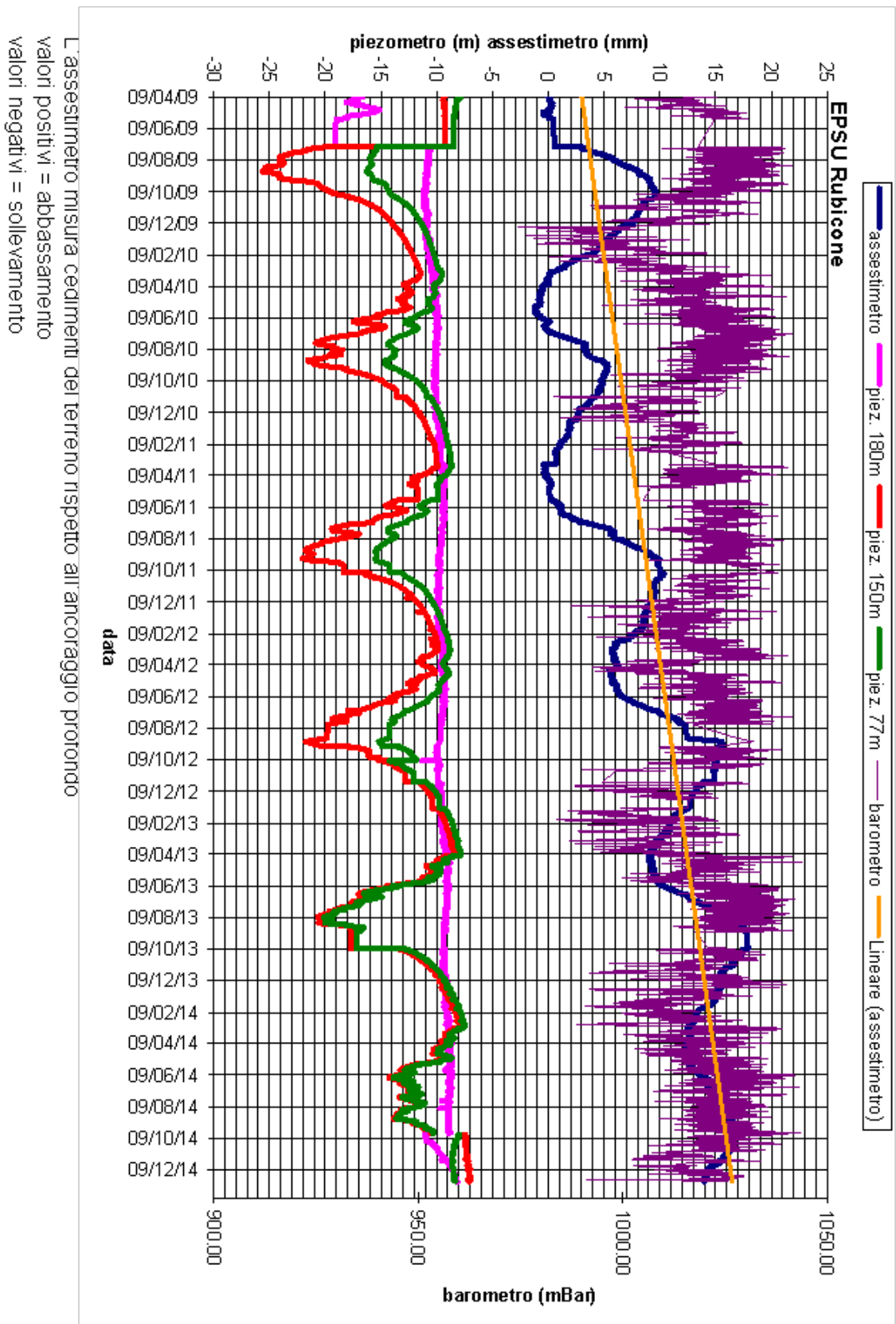
### RUBICONE ASSESTIMETRO

- Modello di assestimetro costituito da 49 aste in ferro da 6m ed ultimi 10m da aste in Invar con 12 giunti telescopici e con boccole 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.





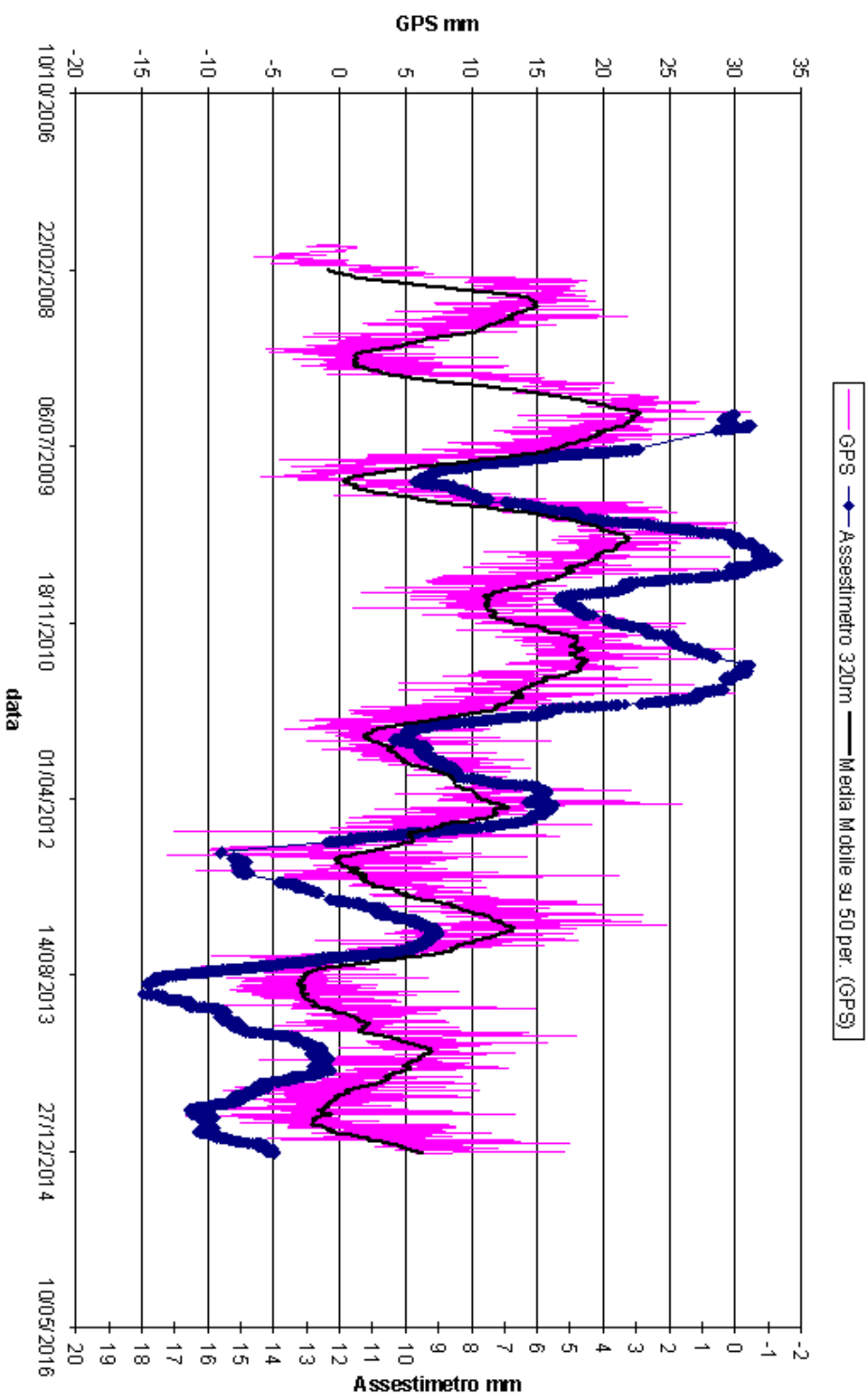
Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.







### RUBICONE - 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 assesimetrica 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 2014.

### **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 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



ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua registrate dal piezometro.

In particolare, lo strumento ha registrato in un primo periodo (fino a metà dicembre 2008) un'espansione di circa -1,3 mm, che si è poi assestata intorno a circa -1 mm fino a metà giugno 2009. Si è avuta successivamente un'inversione di tendenza con un lento ma costante aumento dei valori misurati (cioè compattazione); valori che nei primi nove mesi del 2012 hanno raggiunto i 1,3 mm. Tale trend si è poi attenuato nell'ultimo scorcio del 2012 con i valori misurati che sono scesi a circa -0,4 mm (fine 2012). Nel corso del 2013 si è osservato un ciclo simile a quello dell'anno precedente con un massimo di espansione del terreno verso marzo (circa -1 mm), e un massimo di compattazione intorno a settembre 2013 (ca. 0,7 mm) per attestarsi poi a fine anno intorno a - 0,5 mm.

Anche nel 2014 si osserva nelle misure un andamento oscillatorio, sostanzialmente ben correlabile con i cicli stagionali: si registra un massimo di espansione intorno a marzo (circa -1 mm), una compattazione di circa 0,5 mm a fine estate che tende lievemente a decrescere (0,4 mm) verso la fine dell'anno.

Pur con un andamento oscillatorio nel tempo, non si nota nel grafico allegato un trend crescente di compattazione nel tempo. Le misure assestimetriche mostrano, quindi, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con assenza di un'apprezzabile compattazione.

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure della componente verticale di velocità di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. Il valore medio annuo di tale velocità è, infatti, di circa 0,4 mm/a in leggero sollevamento.

Un'analisi qualitativa delle due serie temporali di misure (assestimetriche e geodetiche GPS – vedere grafico all.) mostra poi come queste siano ben correlate tra loro con “pulsazioni” del terreno (espansioni e compattazioni) di piccolissima entità. Gli andamenti di entrambe le curve ben si correlano a loro volta con le oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere, come del resto si è osservato 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).

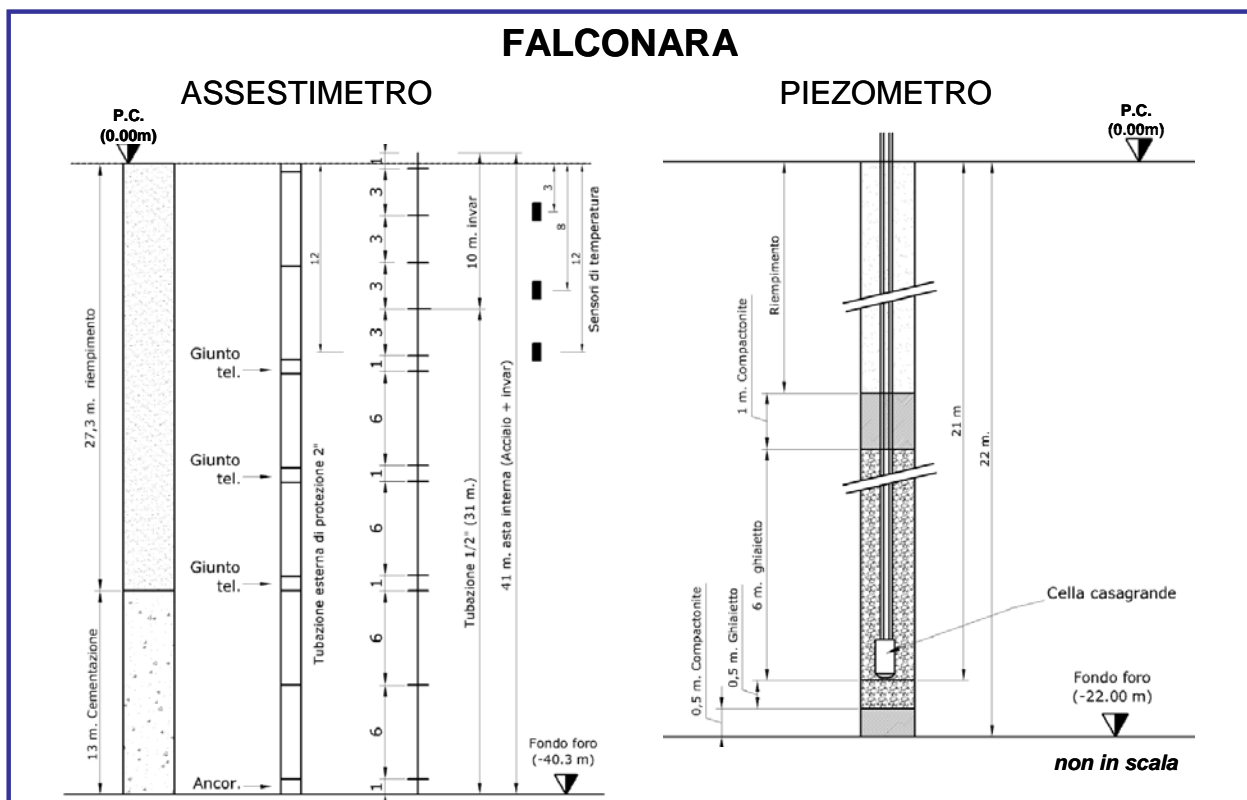
## Analisi dei dati piezometrici

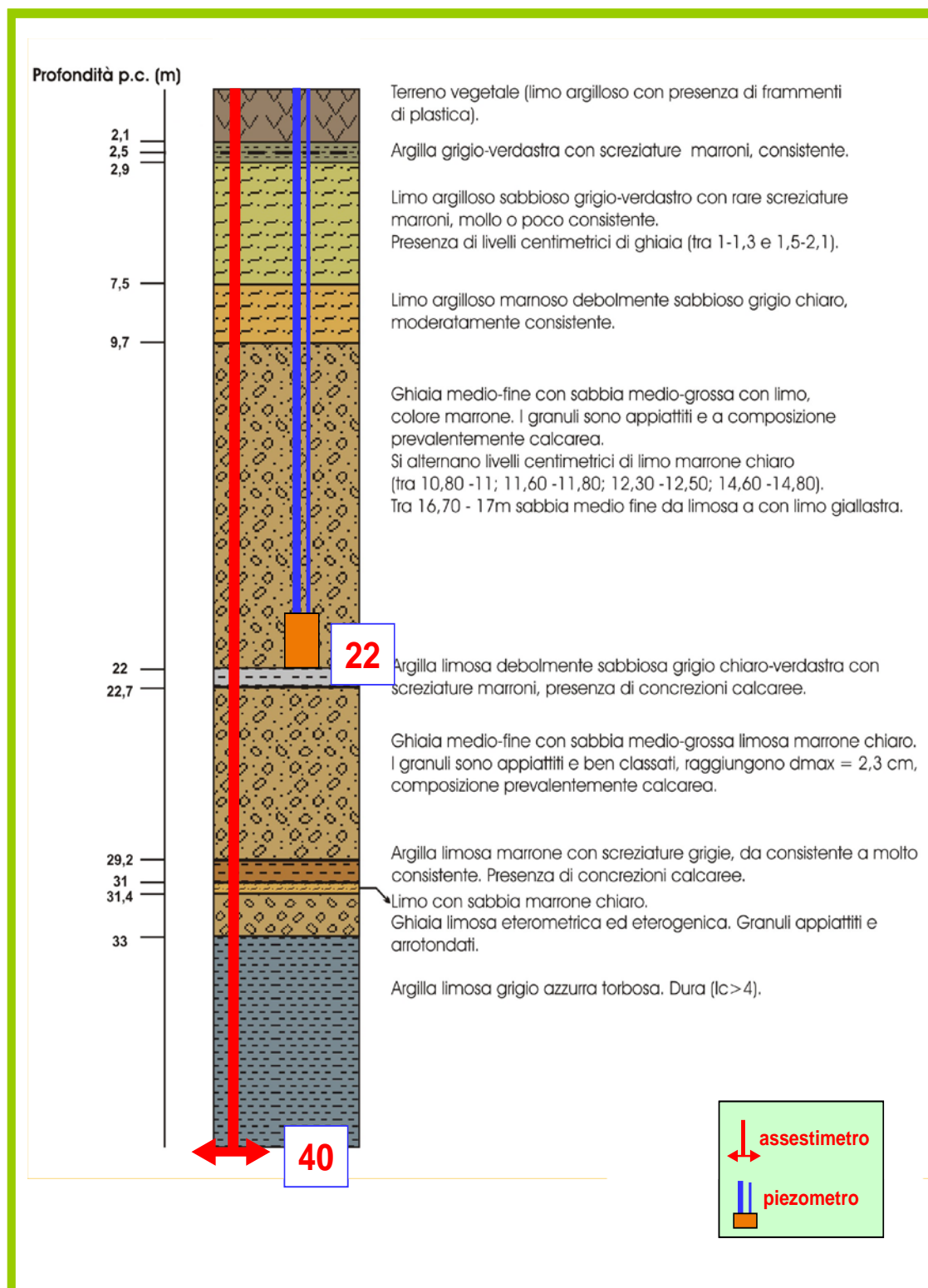
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici, si è riportata la piezometria.

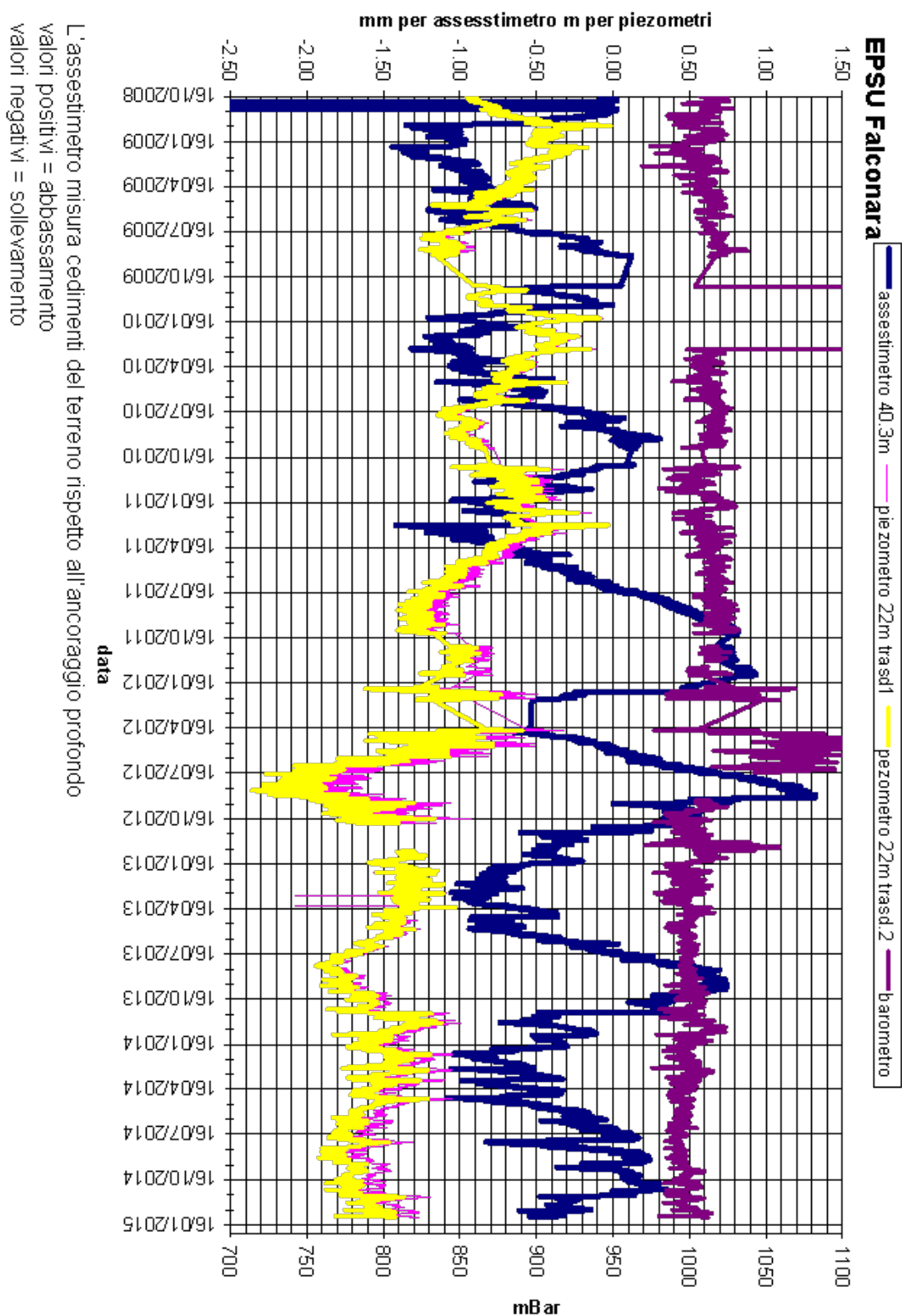
Nel grafico del piezometro l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

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.

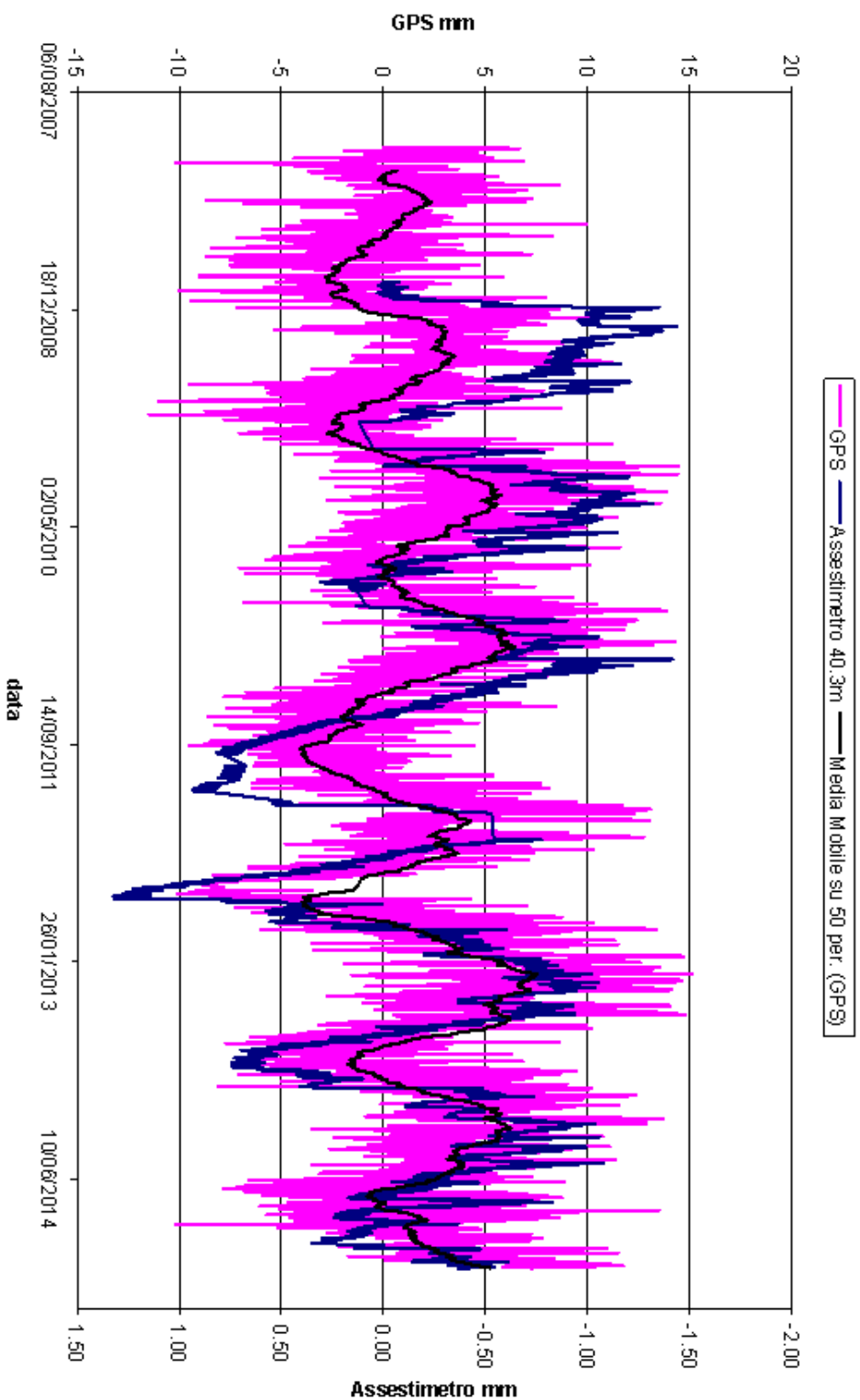
Nel dicembre del 2014 si è fatta la manutenzione dei piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un freatimetro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori. Le differenze riscontrate sono risultate sempre molto piccole, dell'ordine di 2-3 cm, per cui i piezometri sono da considerarsi affidabili e funzionanti.







## FALCONARA - 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)



## **Stazione EPSU di FANO (installata ottobre 2008)**

### **Strumentazione:**

- assestometro - 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 2014.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

L’assestometro 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’assestometro 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’assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Anche nel caso della stazione di Fano, la variazione nel tempo delle misure assestimetriche mostra un andamento oscillatorio, sfasato, però, rispetto alle variazioni di livello della falda d’acqua. E’ da segnalare, inoltre, che l’entità delle oscillazioni è meno marcata rispetto a





quanto registrato dagli assestimetri delle stazioni di Rubicone e Falconara.

Il valore massimo di compattazione si è avuto a inizio 2012 ed è risultato pari a circa 1,4 mm. Tale valore è poi sceso a circa 0,8 mm nel luglio 2012, per incrementarsi nuovamente a 1,2 mm verso la fine dello stesso anno.

Nel corso del 2013 si è assistito a un ciclo simile all'anno precedente, con la compattazione che si è attestata verso fine anno intorno a un valore di circa 1 mm.

Le misure assestimetriche acquisite nel 2014 mostrano un andamento praticamente identico a quello degli altri anni: si è, infatti, registrata una compattazione di ca. di 1 mm a inizio anno, annullatasi praticamente nel periodo estivo (agosto) in corrispondenza del massimo della quota della falda. Verso fine anno la misura si è riportata nuovamente a ca. 1 mm.

In questi primi cicli di misure l'assestometro mostra, quindi, una situazione sostanzialmente stabile, con assenza di un'apprezzabile compattazione del terreno.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione EPSU. I dati GPS danno la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,2 mm/a.

L'esame comparato delle due serie di misure (assestimetriche e geodetiche GPS – vedere grafico all.) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare la serie assestimetrica sembra essere ritardata di ca. 3-4 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 un 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).

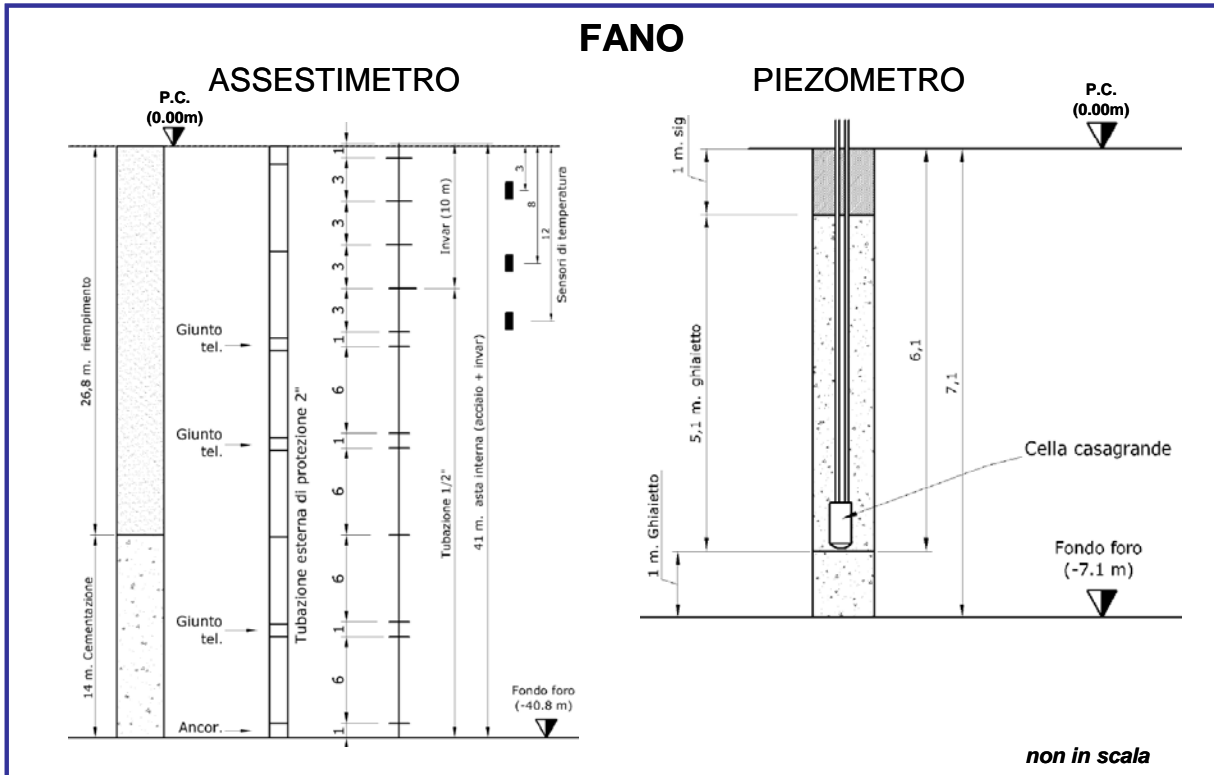
### **Analisi dei dati piezometrici**

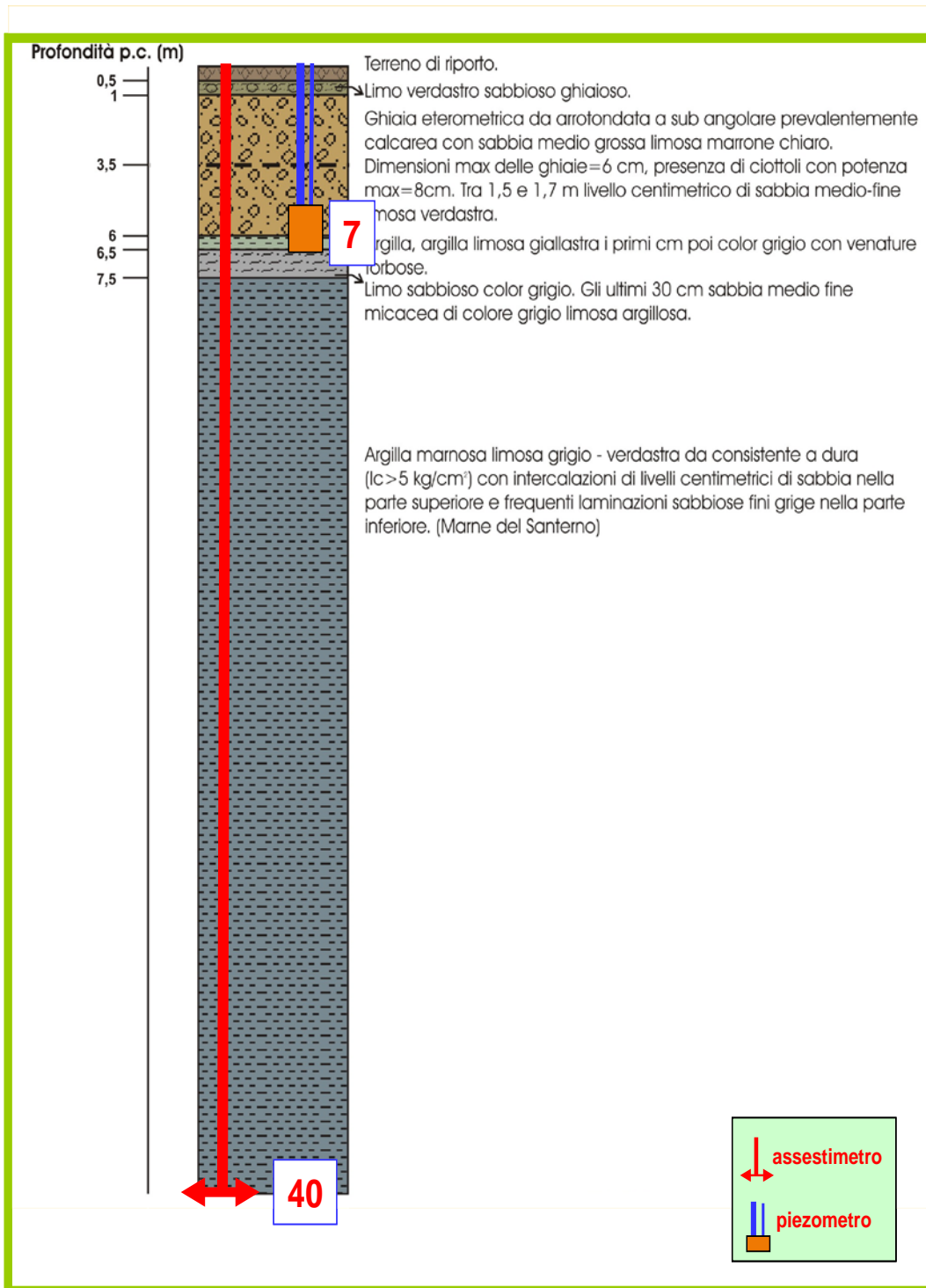
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria.

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 risultata di circa  $\pm 8$  cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento.

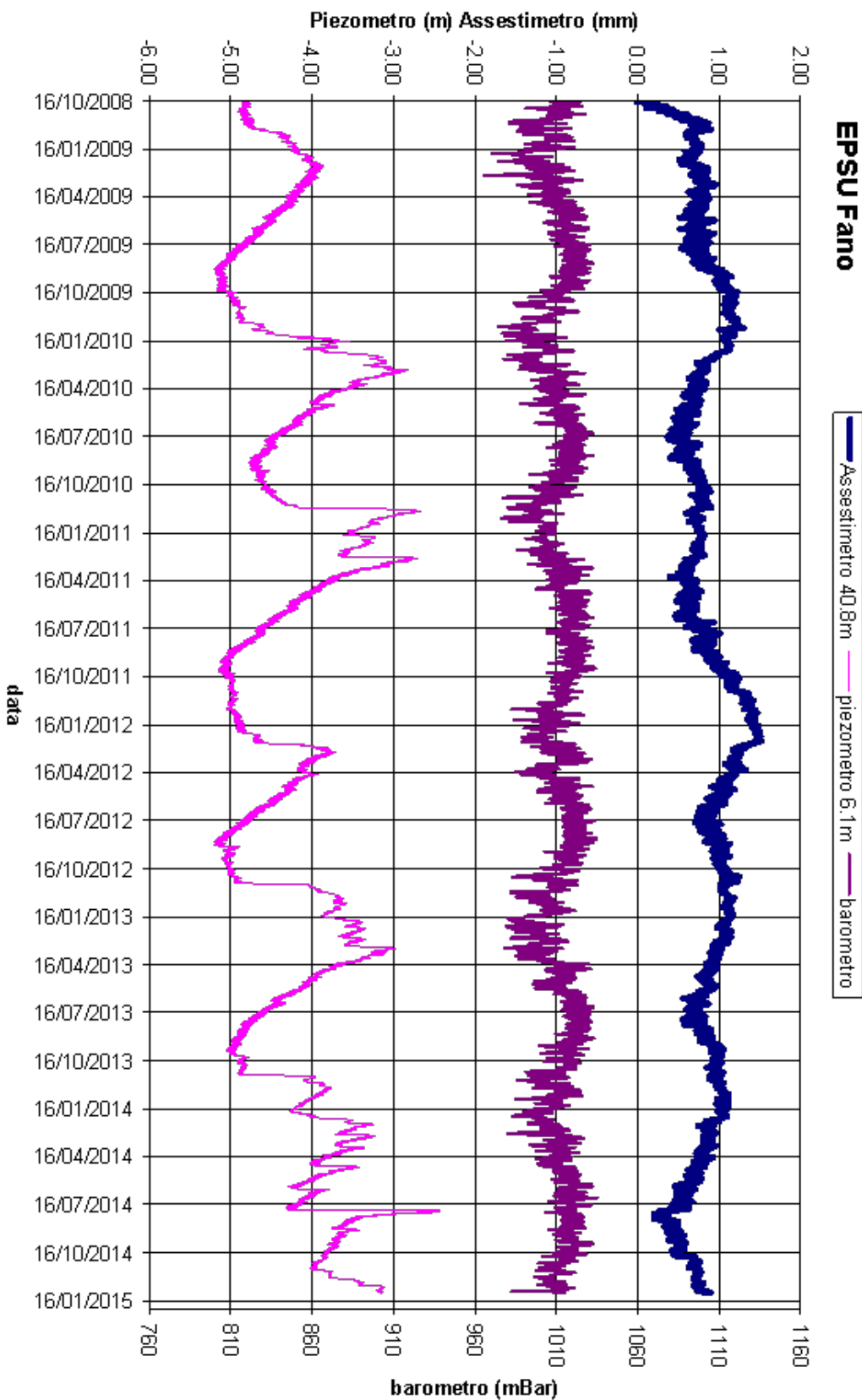
Negli ultimi 6 mesi di misure si deve segnalare un incremento di 1,8 m del livello dell'acqua in pochi giorni (25-26 luglio), fenomeno registrato su entrambi i tubi. Le ultime misure indicano una quota falda di circa -3 m da p.c.





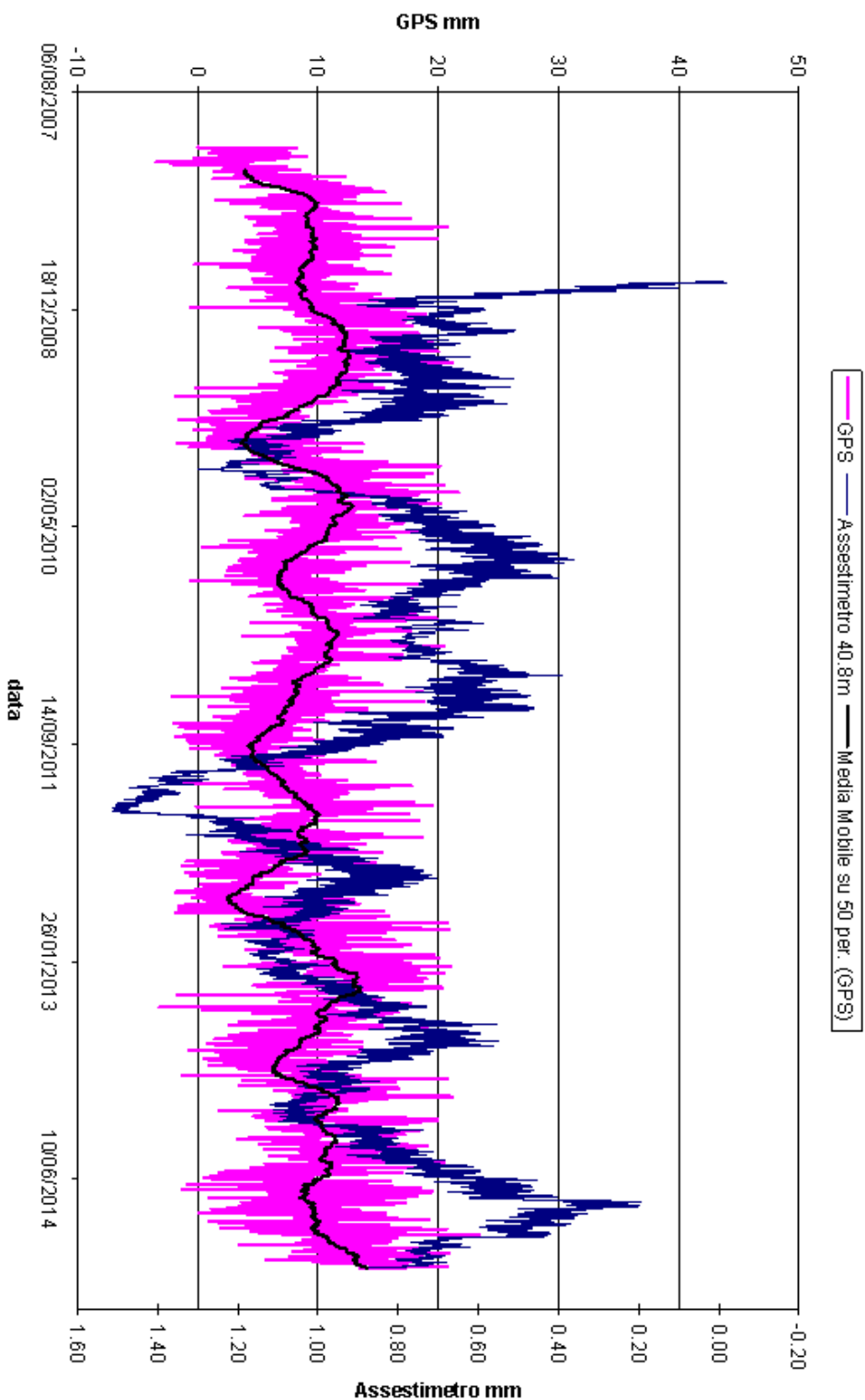


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento





### 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, mentre quello più profondo 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 circa 14 mm di abbassamento totale del terreno in circa 6 anni scarsi 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 6 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 2014.

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	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)
<b>Rubicone</b>	5,7	14,0	2,5	-	-
<b>Fano</b>	6,2	-	-	0,9	n.s-
<b>Falconara</b>	6,2	-	-	-0,4	n.s

(n.s.= non significativa)