



## Campo di ANEMONE II FASE

Aggiornamento al 31/12/2015

Il campo di Anemone è situato nell'offshore Adriatico circa 20 km a NE di Rimini, a una profondità d'acqua di circa 23 m, nella concessione A.C8.ME (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C8.ME	1 <sup>a</sup> proroga scaduta il 05/11/15. Presentata istanza di proroga dic. 2013	Eni	Eni	81%	Emilia-Romagna
			Edison	19%	

Il giacimento si presenta come un'anticlinale orientata NW-SE associata a un sovrascorrimento immergente a SW.

L'estensione del giacimento è di circa 6 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra i 2100 e 3570 m slm e interessa livelli della sequenza PL e PL1 della Formazione Porto Corsini (Figura 2 e Figura 3).

Il campo di Anemone è stato scoperto nel 1973 con il pozzo Anemone 1, ed è stato in seguito delimitato e sviluppato mediante la perforazione di 8 pozzi (Anemone 1, 2, 3, 4, 4bis, NW1, NW1bis e 5), di cui solo 4 sono risultati mineralizzati a gas e aperti alla produzione (pozzi Anemone 1, 3 e 4bis perforati dal Cluster Anemone e il pozzo Anemone 2 isolato).

Tra il 1997 e il 1998 è stata eseguita una campagna d'interventi di side-track sui tre pozzi del Cluster Anemone 1 3 e 4bis, ed è stato chiuso minerariamente il pozzo isolato Anemone 2.

Nell'agosto 1996 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Anemone B (*Anemone II Fase*) con la perforazione di 6 nuovi 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 monocella) del giugno 1995. Tale profilo, riferito all'intero campo di Anemone, prevedeva il recupero di 6077 MSm<sup>3</sup> di riserve residue producibili in 23 anni. Le riserve totali stimate dall'inizio produzione per campo di Anemone ammontavano, pertanto, a 7142 MSm<sup>3</sup>, tenuto conto che alla stessa data il campo aveva già prodotto 1065 MSm<sup>3</sup>.



In seguito al Decreto VIA n° 2979 del 3/03/98 che esprimeva un giudizio positivo circa la compatibilità ambientale del programma di sviluppo, nel periodo 1998÷1999 è stato completato lo sviluppo del campo con la perforazione, da una piattaforma di tipo BEAF, di 7 nuovi pozzi produttori (Anemone 6÷12), uno dei quali (Anemone 6) è stato equipaggiato con marker per il monitoraggio in situ della compattazione.

La piattaforma Anemone B è stata messa in produzione nel maggio del 1999 con una portata iniziale di circa 1400 kSm<sup>3</sup>/g.

Nel periodo aprile-dicembre 2006 sono stati fatti interventi di work-over sui pozzi Anemone 8, 12 e 7.

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 aggiornata al 31/12/2015 (pari a 4539 MSm<sup>3</sup>).

I risultati dello sviluppo del campo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura. Il comportamento produttivo durante i primi 5 anni della piattaforma Anemone B, però, è stato inferiore alle attese a causa dell'arrivo prematuro dell'acqua di formazione e ha reso necessaria una revisione degli studi statico e dinamico del campo.

Tale revisione, fatta nel settembre 2006, confermava il GOIP dei livelli del campo (*GOIP studio statico del giugno 1995 pari a 10 GSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del settembre 2006 pari a 10 GSm<sup>3</sup>*) e consentiva una migliore taratura del meccanismo di produzione, evidenziando il contributo dell'acquifero al sostegno della pressione dei singoli livelli messi in produzione.

La migliore conoscenza del contributo dell'acquifero portava a un aggiornamento del valore delle riserve a vita intera producibili dal campo con una riduzione delle stesse stimata in circa il 24%. Il nuovo profilo di produzione, infatti, prevedeva il recupero entro il 2040 di 5400 MSm<sup>3</sup> con una graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale di acqua prodotta.

Come previsto nel programma lavori specificato nella relazione conclusiva del Gruppo di Lavoro istituito dal Ministero dell'Ambiente per il monitoraggio dei fenomeni geodinamici (luglio 2007), nel corso del 2007 è stato realizzato un modello geomeccanico a elementi finiti (FEM) del campo di Anemone.



Per realizzare tale modello si è deciso d'eseguire un ulteriore aggiornamento degli studi statico e dinamico del campo stesso, per tener conto sia degli andamenti produttivi osservati fino al 30/06/07, sia delle informazioni ottenute dalla perforazione dei nuovi pozzi side-track fatti nel corso del 2006.

In particolare, il nuovo studio statico di giacimento del dicembre 2007 (*rel. Eni-INPE n° 28-08 del gennaio 2008*) ha ridotto il volume del GOIP totale a 8216 MSm<sup>3</sup>, ovvero il 18% in meno del valore precedente (*GOIP revisione studio statico del settembre 2006 pari a 10 GSm<sup>3</sup>*). L'aggiornamento dello studio dinamico (modello Eclipse - dicembre 2007) non ha, però, sostanzialmente modificato il volume delle riserve a vita intera, che anzi è aumentato di circa 1,5%. Il nuovo profilo di produzione prevedendo il recupero entro il 2033 di 5484 MSm<sup>3</sup> con un anticipo nel recupero finale di 7 anni rispetto al profilo del 2006 per effetto degli interventi fatti sui pozzi. Lo studio ha anche confermato la graduale chiusura dei pozzi stessi per l'alta percentuale di acqua prodotta.

I risultati del modello dinamico Eclipse del dicembre 2007 sono stati utilizzati per una revisione del modello geomeccanico (FEM) a elementi finiti (*rel. TERA nr. 032-07 – Campo di Anemone – Studio di previsioni di subsidenza – Management Summary del dicembre 2007*) che ha stimato una subsidenza massima di 37 cm al 2036, e una distanza minima del cono di subsidenza dalla linea di costa sempre superiore a 8 km.

Si ricorda che la previsione di subsidenza fatta nel 2006 con un modello geomeccanico del tipo Geertsma semianalitico (*rel. INPE n° 123-06 del 18/09/06*) stimava una subsidenza massima di 38,1 cm alla fine produzione del campo (2040). L'estensione del cono di subsidenza verso la costa (linea d'isosubsidenza di 2 cm) dopo 20 anni dalla fine produzione risultava essere di circa 12 km (al 2060), per cui la distanza minima del cono stesso dalla costa era pari a circa 8 km.

Nel corso del 2010 si sono nuovamente aggiornati i modelli statico, dinamico e geomeccanico del 2007; in quest'ultimo studio, completato nell'aprile 2011, si è stimato un recupero di gas pari a 4914 MSm<sup>3</sup> al 2019 con una riduzione, quindi, di circa il 10% rispetto alla stima del dicembre 2007 (*rel. GISE del 04/2011- Campo di Anemone – Nota integrativa – Aggiornamento Studio di giacimento*). Con tale revisione si è pure aggiornato il modello



geomeccanico (rel. TERA n.15/2011 – Campo di Anemone – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary del 12/2011) i cui risultati hanno stimato un valore massimo di subsidenza, in corrispondenza del campo, pari a 36 cm al 2052 (fine simulazione) con esaurimento del fenomeno a circa 10 km dalla linea di costa. I risultati di questo modello geomeccanico sono sostanzialmente in linea con quelli del precedente modello realizzato nel 2007. I valori leggermente inferiori di subsidenza massima e d'estensione del cono di subsidenza sono da riferirsi alla riduzione del 10% delle riserve (modello di giacimento dell'aprile del 2011).

Un ulteriore aggiornamento del modello dinamico di giacimento è stato fatto nel corso del 2013 (rel. Eni-GISE n° 20-13 del novembre 2013); tale aggiornamento ha stimato un recupero di gas di 4687 MSm<sup>3</sup> (caso Do Nothing + Sidetrack Anemone 12 dirB) al 2024, con una riduzione, quindi, del 5% rispetto allo studio del 2011. A questo studio è seguito un addendum nel 2014 (rel. Eni-GISE n° 20-13 del 24 aprile: campo di Anemone - Appendice studio di giacimento) in cui si è presa in esame la revisione/ottimizzazione della traiettoria del nuovo side-track Anemone 12 dirB con varie configurazioni di produzione in commingling.

Nel corso del 2015 si è, pertanto, proceduto ad un ulteriore aggiornamento del modello di giacimento statico e dinamico (rel. Eni-GISE n° 18-15 del dicembre 2015) per tener conto dei nuovi dati acquisiti con la perforazione (gen. 2015) del sidetrack Anemone 12 dirB. Il nuovo profilo di produzione di campo prevede il recupero entro il 2018 di complessivi 4570 MSm<sup>3</sup> (Figura 5 e Figura 6).

In Figura 7 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati con il modello Eclipse dell'aprile 2015 e le pressioni misurate con profilo statico e log RFT (Repeat Formation Test) per il livello PL1-KK1, ritenuto tra i più rappresentativi del campo. Considerando che le riserve già prodotte al 31/12/2015 ammontano a 4539 MSm<sup>3</sup>, ovvero il 99% del totale, si ritiene che le attuali previsioni sul comportamento futuro del campo, in termini di produzione e pressione, abbiano un grado soddisfacente di affidabilità.

A seguire è stato aggiornato il modello geomeccanico (rel. TERA del 08/2015- Campo di Anemone – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary del dicembre 2015) i cui risultati sono riportati nella seguente Tabella 1.

**Tabella 1 – Risultati finali dello studio geomeccanico 12/2015: massima subsidenza ed estensione del fenomeno**

		Gennaio 2011	Luglio 2018	Gennaio 2033	Gennaio 2048
Max Subsidenza	(cm)	32	36	38	39
Max Estensione	(km)	8	9	12	14
Min Distanza Costa		12	12	11	11

In particolare l'analisi dei risultati permette di osservare che:

- il valore massimo della subsidenza a fine produzione (2018 – Figura 8) è pari a 36 cm;
- il valore massimo di subsidenza a fine simulazione (2048 – Figura 9) è pari a 39 cm;
- nel 2018 (fine produzione) la massima estensione della linea d'isosubsidenza dei 2 cm si verifica in direzione Nord-Ovest ed è pari a 9 km (Figura 8), mentre raggiunge i 14 km circa al termine della simulazione (Figura 9);
- al 2048 il cono di subsidenza si esaurisce a una distanza minima di circa 11 km dalla linea di costa (Figura 9).

In Figura 10 è rappresentata l'evoluzione temporale della subsidenza nel punto di massimo.

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 (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.

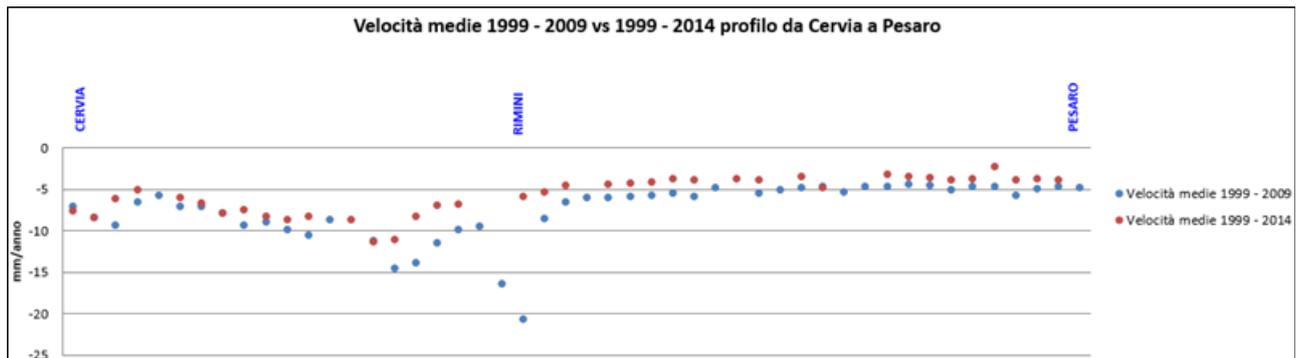
Si ritiene opportuno sottolineare che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle 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 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 il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2014, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, successivamente a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

I valori di velocità media d'abbassamento del suolo, stimati con regressione lineare e relativi ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportati in Figura A sia per il periodo 1999-2009, che per quello 1999-2014. Il confronto fra le misure di tali periodi mostra come negli ultimi anni

la velocità di abbassamento del suolo sia generalmente in diminuzione; tale diminuzione è, mediamente di circa 2 mm/a e solo per pochi capisaldi supera detto valore.

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



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

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza  $V_a^1$  di una certa area è necessario, quindi, avere misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

- classe 4: include i capisaldi con  $V_a > 10$  mm/a;
- classe 3: include i capisaldi con  $5 \leq V_a < 10$  mm/a;
- classe 2, include i capisaldi con  $3 \leq V_a < 5$  mm/a;
- classe 1: include i capisaldi con  $0 \leq V_a < 3$  mm/a;
- classe 0: include i capisaldi con  $V_a < 0$  (sollevamento del suolo).

<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.



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/a 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. Infatti, i valori di velocità media, valutati mediante regressione lineare, sui due capisaldi (02602504 e 02603300) più prossimi alla stazione CGPS sono rispettivamente pari a 0,7 mm/a e 3,1 mm/a.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2015) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 11).

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, 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 questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, facoltà di Fisica.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Anemone-B, certificati fino al 2014, sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS (Tabella 2).

Si segnala che la serie storica di misure CGPS presenta una interruzione a fine dicembre 2014 a causa a lavori di work-over in piattaforma. Ciò non ha permesso d'acquisire i dati nel 2015: la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al dicembre 2014, è riportata nei grafici di Figura 12.

**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/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
Anemone-B	16,95	20,86	-4,93	16,85	20,63	-4,19	0,1	0,23	0,74



A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche CGPS, da utilizzarsi per una verifica/taratura dei modelli previsionali di subsidenza, non può essere considerata sufficientemente attendibile per dataset relativi a periodi di osservazione inferiori ai 36 mesi, come indicato dall'Ente che certifica tali dati con cadenza biennale.

L'Ente certificatore, infatti, verifica e valida i dati registrati al fine d'avere un numero sufficiente d'osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e poter filtrare il "rumore" che per piccole velocità di subsidenza è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico misurato.

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

In generale:

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

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese 5.2, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). Nel corso del 2013, a seguito del rilascio del nuovo sistema



di riferimento, sono stati rielaborati tutti i dati secondo il sistema ITRF2008-IGB08, al quale fanno riferimento i grafici della presente relazione.

Per le nostre elaborazioni il sistema di riferimento è materializzato dalle stazioni appartenenti alla rete EUREF disponibili tra: Bucarest, Genova, Graz, Matera, Medicina, Padova, Penc, Sofia, Torino, Zimmervald. L'eliminazione degli outlier delle serie storiche è effettuata mediante test a 3 SIGMA iterativo.

Nel caso di Anemone, 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 -4,9 mm/a (Figura 13), ovviamente invariata rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento in quanto, come segnalato in precedenza, non è stato possibile acquisire nuove misure geodetiche nel corso del 2015.

I valori di subsidenza stimati con il modello geomeccanico del dicembre 2015 sono stati confrontati con quelli misurati dal CGPS, senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale<sup>3</sup>. Come si può osservare nella Figura 14 sussiste un buon accordo fra le due serie di valori che conferma l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza e il carattere cautelativo delle previsioni fornite.

Inoltre, al fine di monitorare la compattazione della roccia serbatoio del giacimento, si è proceduto al survey annuale (11/2007, 09/2008, 1/2009, 11/2010, 12/2011, 10/2012, 8/2013, 11/2014 e 10/2015) dei markers installati nel pozzo di Anemone 6 Dir mediante log FMST (Figura 15).

---

<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.

<sup>3</sup> Si segnala che la posizione della piattaforma su cui è installato il CGPS non coincide con quella del punto del fondo mare in cui è prevista la subsidenza massima (36 cm - Tab 1) indotta dalla coltivazione del campo. Per tale motivo il grafico di Fig. 14 indica una subsidenza di circa 22 cm, diversa, quindi, da quella massima del campo stimata in 39 cm (al 2048) dallo studio geomeccanico del 2015.



Tali survey, eseguiti su un tratto di formazione di circa 193 m, hanno misurato variazioni dello spessore complessivo dei livelli monitorati caratterizzate da valori che presentano un andamento altalenante nel tempo.

Nel periodo 2006-2012, infatti, si sono registrate le seguenti misure (riferite all'intero spessore monitorato):

- dal 2006 al 2007: espansione di circa 15 mm;
- dal 2007 al 2008: compattazione di circa 26 mm;
- dal 2008 al 2009: espansione di circa 10 mm;
- dal 2009 al 2010: compattazione di circa 3 mm;
- dal 2010 al 2011: espansione di circa 22 mm;
- dal 2011 al 2012: compattazione di circa 5 mm.

Invece, nel periodo 2012-2015 sono state registrate le seguenti misure:

- dal 2012 al 2013: compattazione di circa 21 mm;
- dal 2013 al 2014: espansione di circa 11 mm;
- dal 2014 al 2015: compattazione di circa 19 mm;

In questi ultimi 3 survey non si è considerato l'intervallo 2772-2783 m, poiché nel rilievo del 2012 il marker a 2772 m non è stato rilevato dallo strumento. Lo spessore totale monitorato si è ridotto, quindi, a 183 m.

In conclusione:

#### 1. Misure di compattazione da survey annuali con FMST

Per il periodo 2006-2012 e con riferimento all'intero spessore monitorato (193 m), si è registrata un'espansione di circa 13 mm. Al contrario, per il periodo 2012-2015 è stata misurata una compattazione di circa 29 mm, escludendo dalle misure l'intervallo 2772-2783 m.

#### 2. Stime di compattazione da modello geomeccanico

Nelle simulazioni con modello geomeccanico si è valutata una compattazione di circa 10 mm per l'intero spessore monitorato (193 m - periodo di riferimento 2006-2012). Al contrario per il periodo 2012-2015, è stata stimata una compattazione di circa 1 mm, escludendo l'intervallo 2772-2783 m.



Tenuto conto, però, dell'elevato spessore di formazione monitorato e dell'alto numero di livelli produttivi in esso compresi, si può ritenere che la discordanza sopra evidenziata fra la misura in situ della compattazione profonda e il corrispondente valore calcolato con modello geomeccanico rientri nel limite di tolleranza degli errori sperimentali.

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 Anemone siano di modesta entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

Si segnala infine che:

- a) in Figura 16 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 17 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

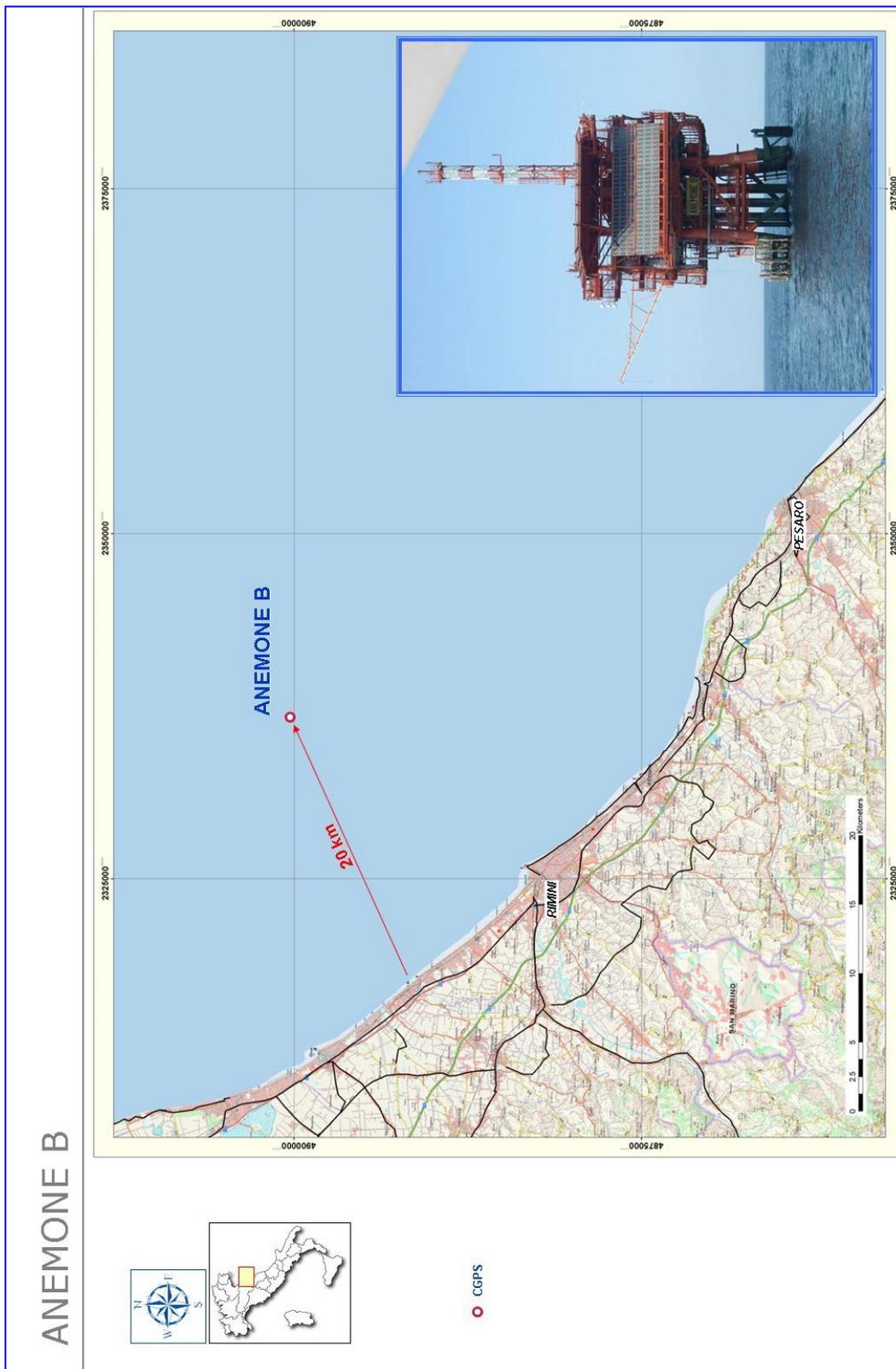


Figura 1 – Ubicazione del campo di Anemone

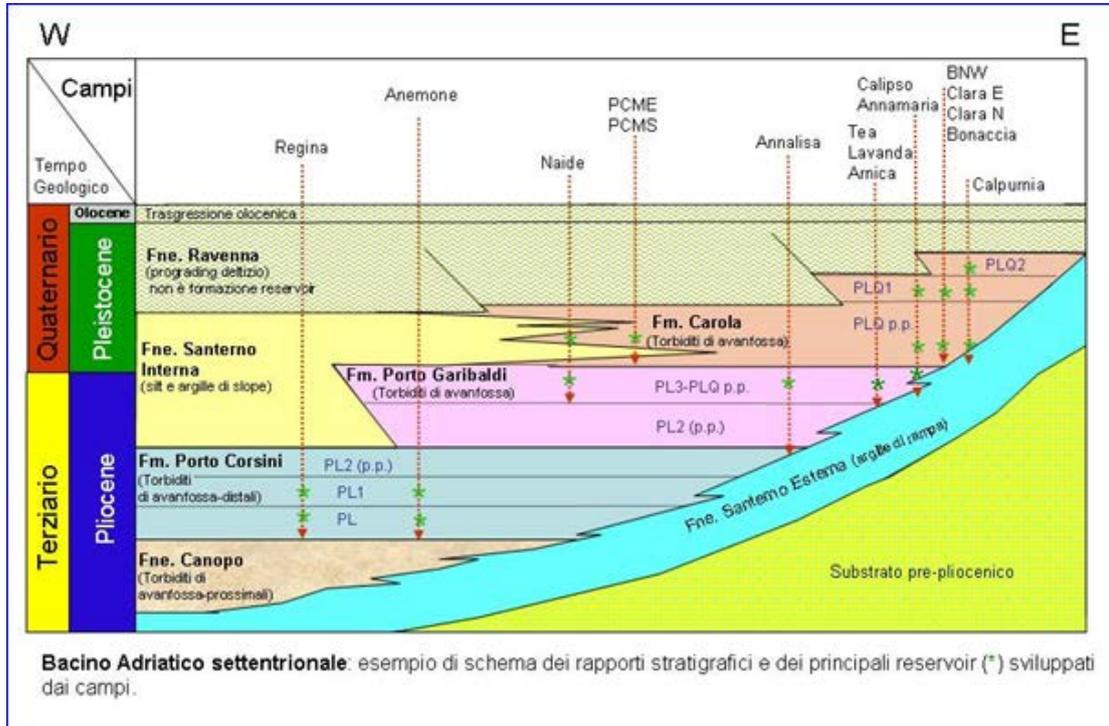


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

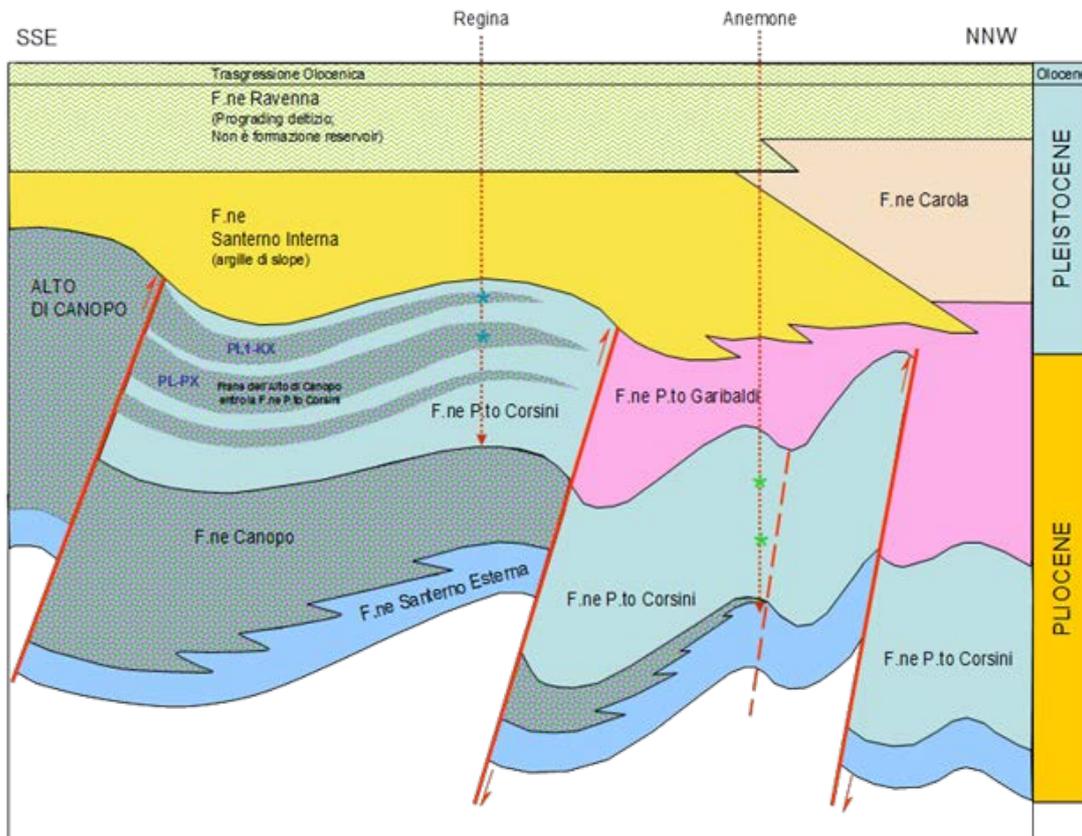


Figura 3 – Schema dei rapporti stratigrafico-strutturali dei campi di Anemone e Regina

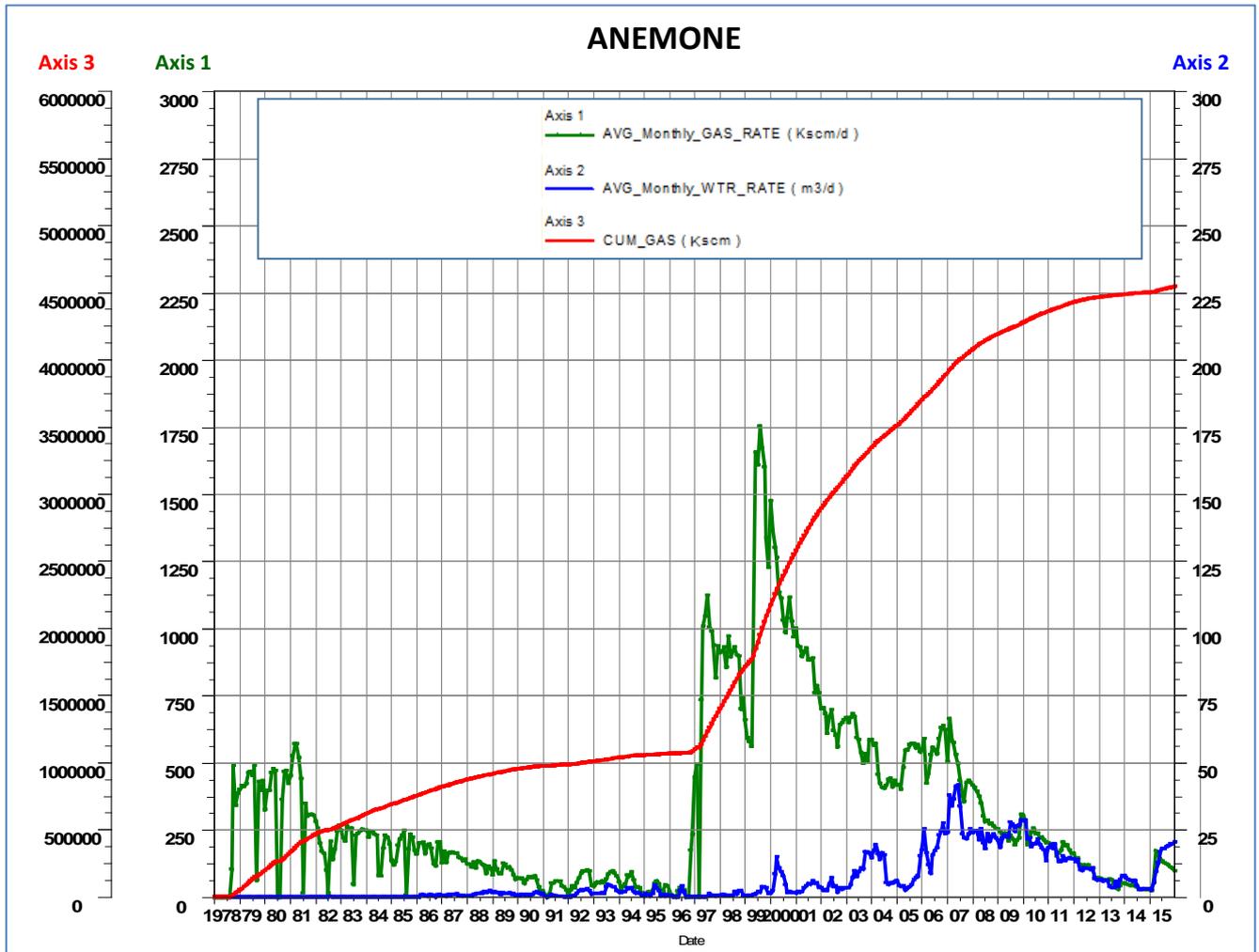


Figura 4 – Campo di Anemone: grafico della produzione storica



CAMPO DI ANEMONE					
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	
1978	41	41	41	41	1%
1979	148	148	189	189	4%
1980	130	130	318	318	7%
1981	142	142	460	460	10%
1982	68	68	528	528	12%
1983	83	83	611	611	13%
1984	74	74	685	685	15%
1985	64	64	749	749	16%
1986	66	66	814	814	18%
1987	56	56	870	870	19%
1988	43	43	913	913	20%
1989	37	37	950	950	21%
1990	23	23	974	974	21%
1991	13	13	987	987	22%
1992	23	23	1010	1010	22%
1993	25	25	1035	1035	23%
1994	19	19	1054	1054	23%
1995	12	12	1066	1066	23%
1996	17	17	1083	1083	24%
1997	291	291	1374	1374	30%
1998	322	322	1696	1696	37%
1999	432	432	2128	2128	47%
2000	421	421	2550	2550	56%
2001	322	322	2871	2871	63%
2002	238	237	3109	3109	68%
2003	219	219	3327	3327	73%
2004	170	170	3497	3497	77%
2005	189	189	3686	3686	81%
2006	203	203	3889	3889	85%
2007	176	176	4065	4065	89%
2008	118	118	4183	4183	92%
2009	85	85	4268	4268	93%
2010	86	86	4355	4354	95%
2011	67	67	4422	4422	97%
2012	43	42	4464	4464	98%
2013	21	20	4485	4484	98%
2014	14	14	4499	4498	98%
2015	40	36	4539	4534	99%
2016		26		4560	
2017		9		4569	
2018		2		4570	
2019					
2020					
2021					
2022					
2023					
2024					
2025					

Figura 5 – Campo di Anemone: profilo di produzione reale vs. modello Eclipse 2015

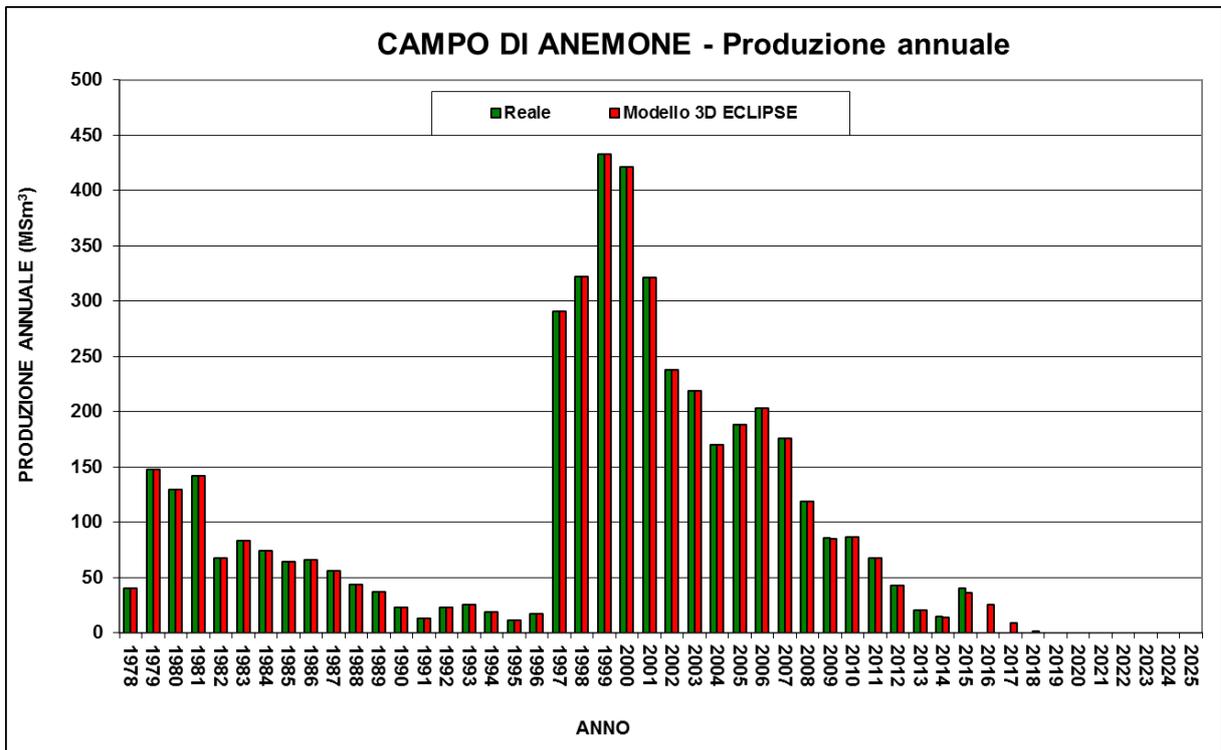
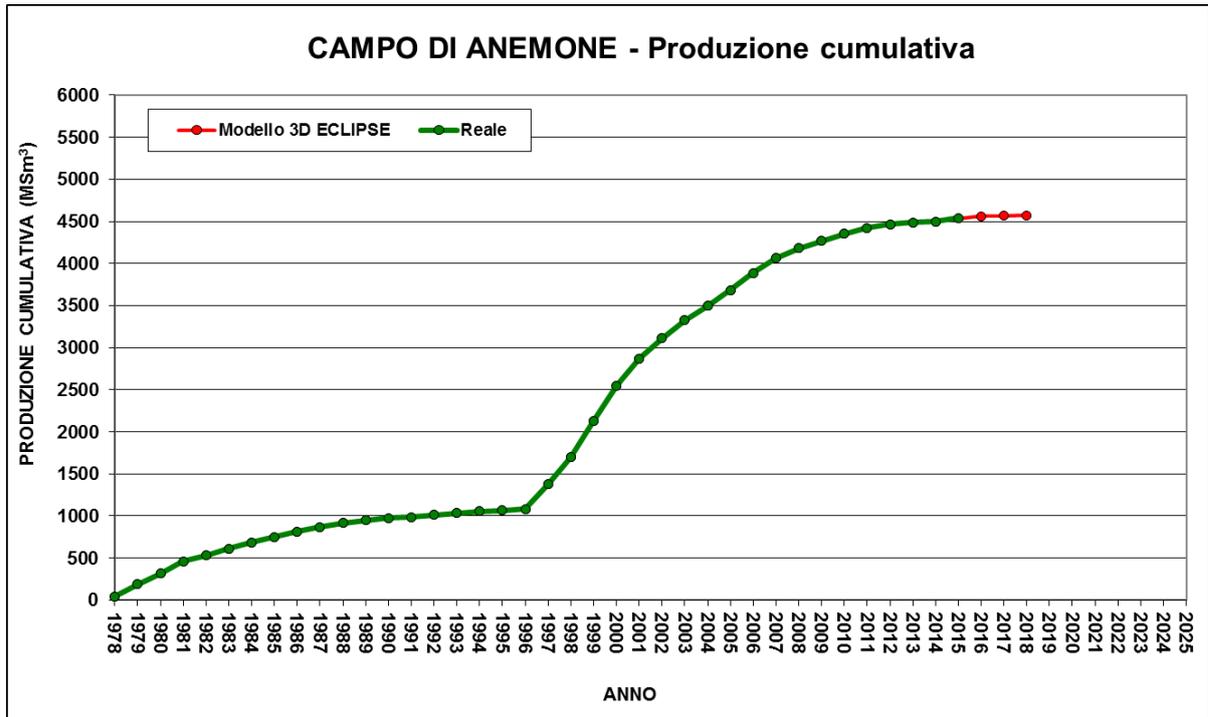


Figura 6 - Campo di Anemone: profili di produzione reali (cumulativa- annuale)  
vs. modello Eclipse 2015



CAMPO DI ANEMONE			
Data	Livelli PL1-KK1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/10/1977	269		2 C
01/10/1996	237	3 Dir A	
01/07/2004	161		9 C
01/06/2006	154	12 Dir A	
01/09/2008	106	12 Dir A	
01/10/2009	193		10 C
16/11/2010	202		10 C
25/09/2012	206		10 C
01/09/2013	207		10 C
01/10/2014	208		10 C
01/01/2015	143	12 Dir B	



Figura 7 – Campo di Anemone: pressioni statiche misurate vs. modello dinamico (2015)  
(livello PL1-KK1)

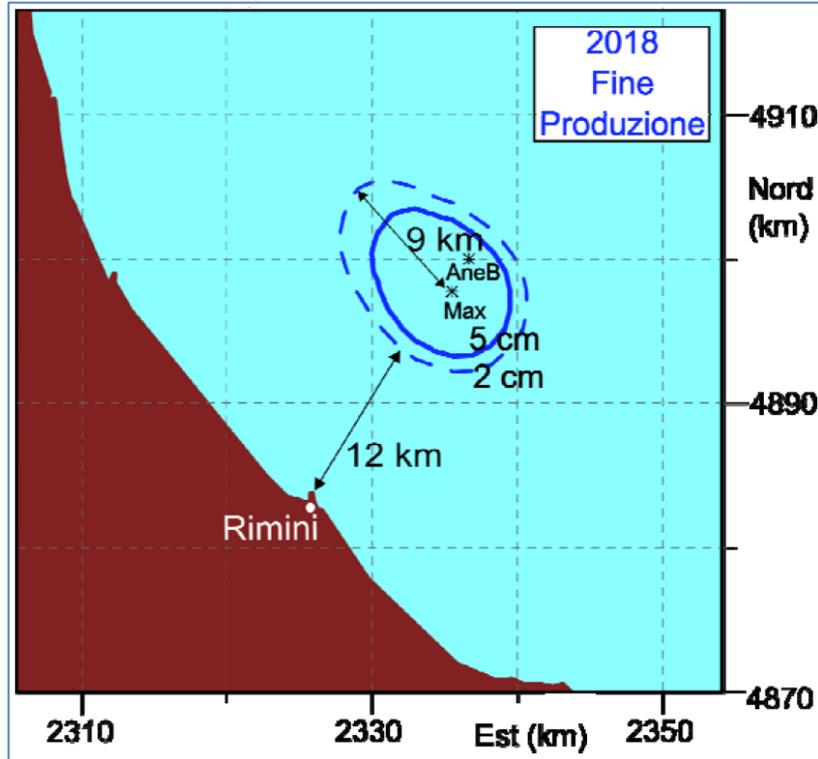


Figura 8 – Campo di Anemone: curve d'isosubsidenza a fine produzione (2018)

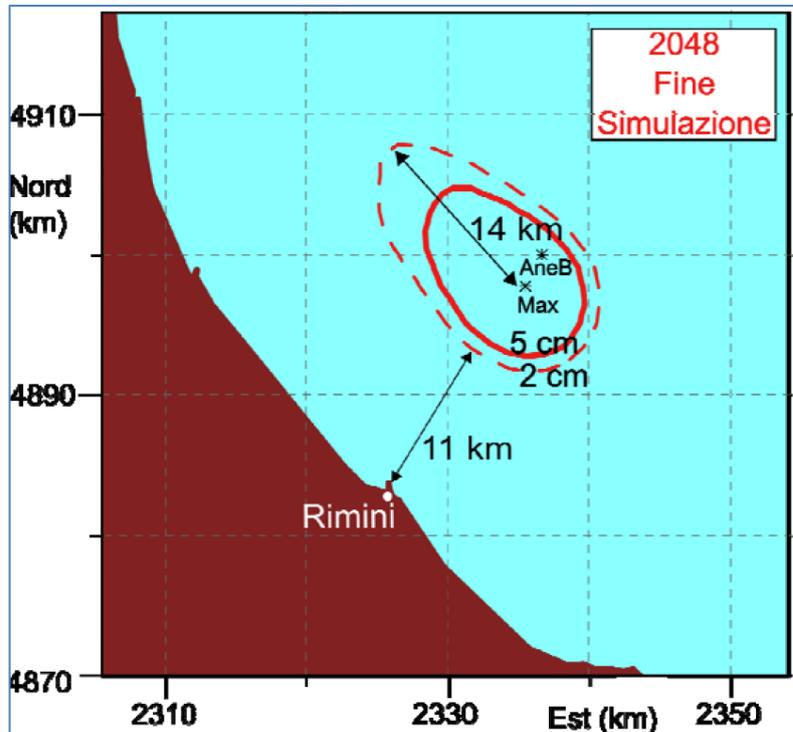


Figura 9 – Campo di Anemone: curve d'isosubsidenza a fine simulazione (2048)

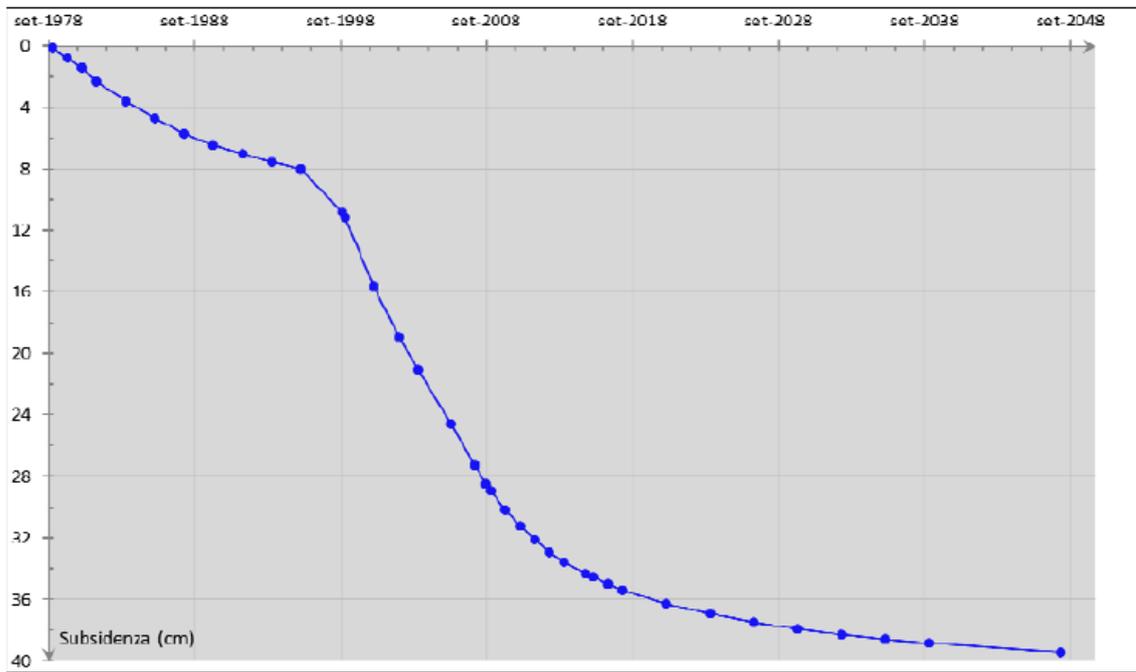


Figura 10 – Campo di Anemone: evoluzione nel tempo del valore di subsidenza nel punto di massimo

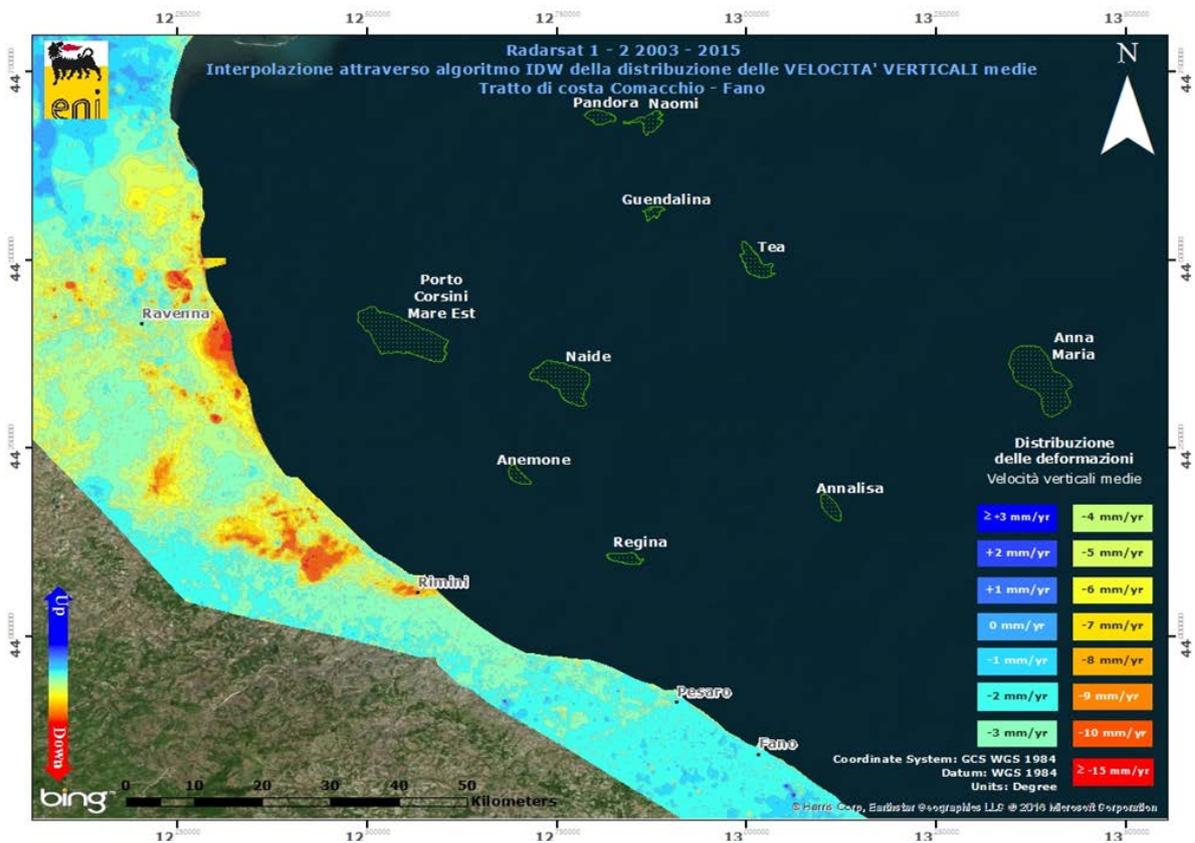


Figura 11 – Campo di Anemone: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2015

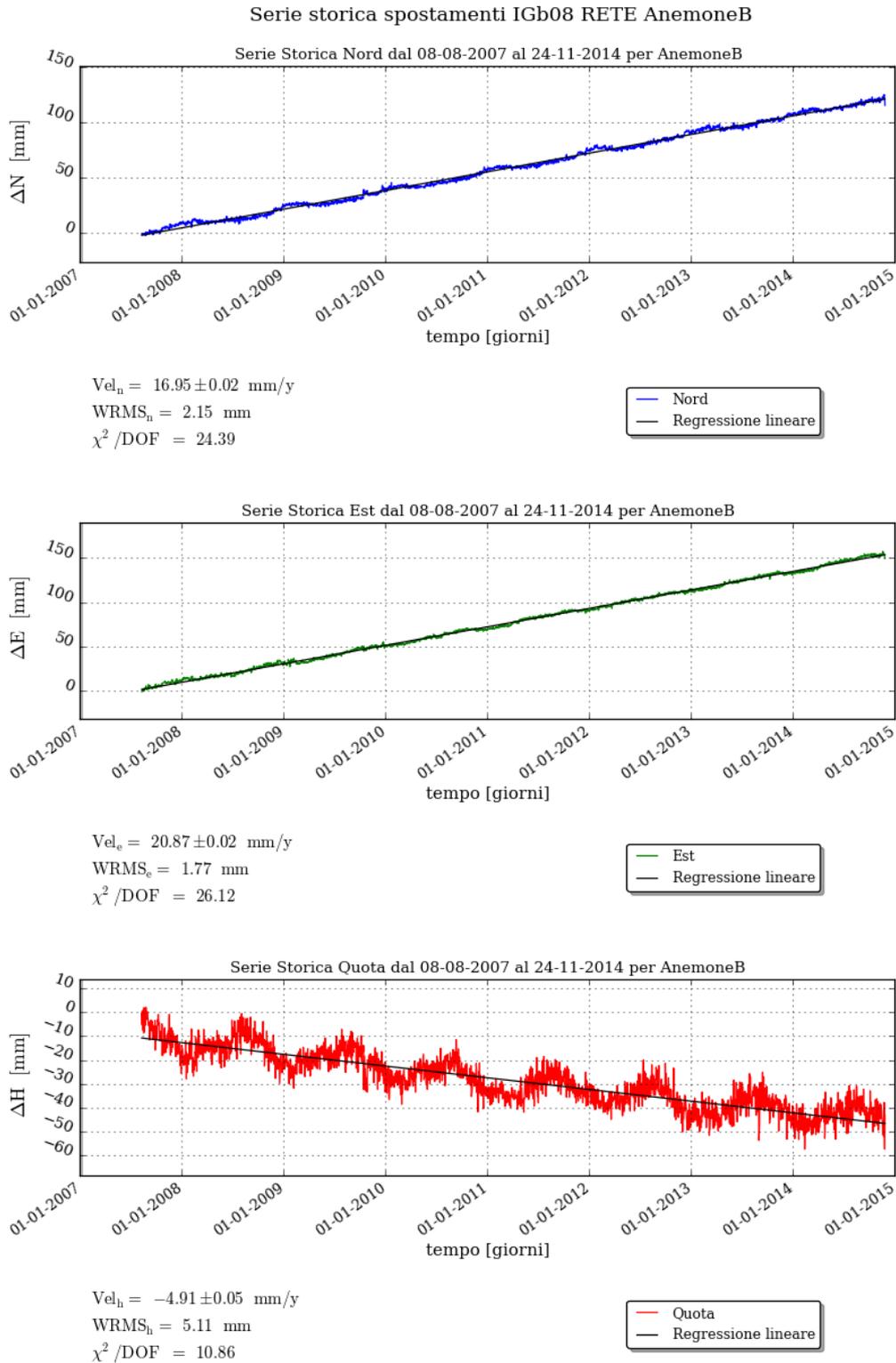


Figura 12 – Campo di Anemone: serie storiche plano-altimetriche CGPS



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 13 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. Modelli

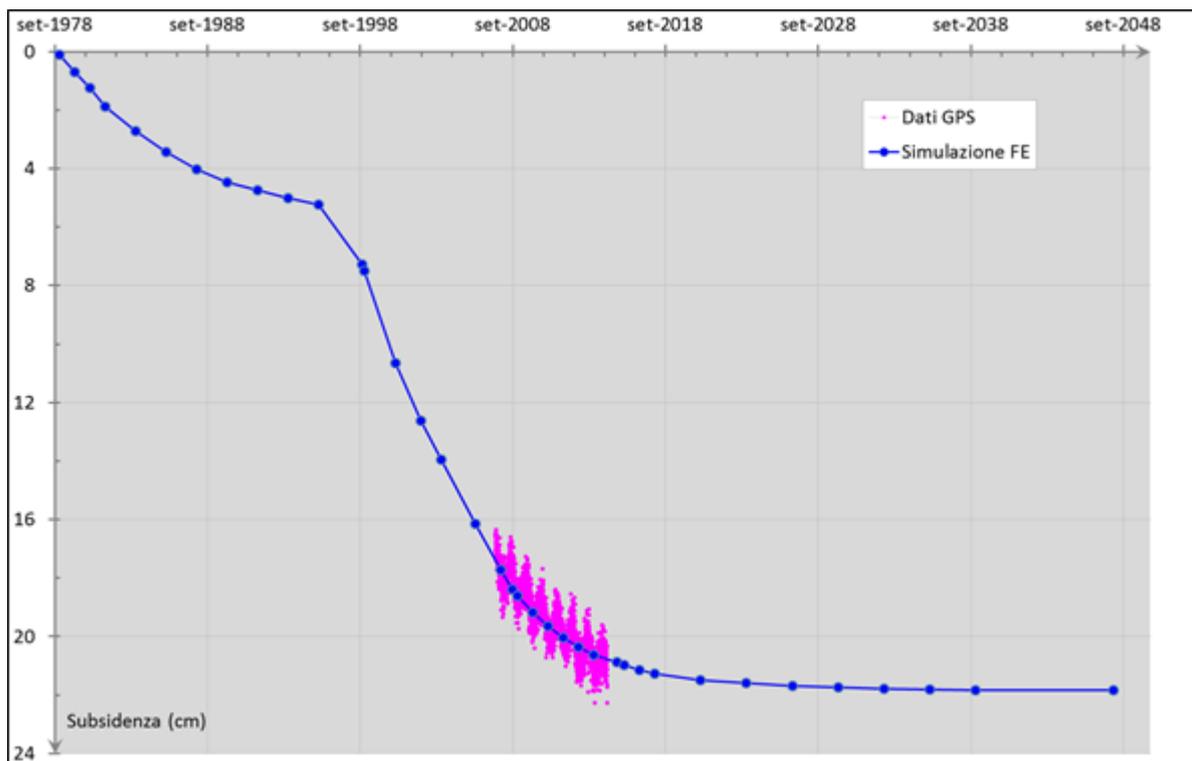


Figura 14 – Campo di Anemone: misure CGPS (agg. dic. 2014) vs. previsioni di subsidenza da modello (in corrispondenza della piattaforma)



Compattazione Anemone												
spacing	ref depth	Sept 2002	Apr 2006	Nov 2007	Sept 2008	Nov 2009	Nov 2010	Dec 2011	Oct 2012	Aug 2013	Nov 2014	Oct 2015
	MD	Oct1998	Sept 2002	Apr 2006	Nov 2007	Sept 2008	Nov 2009	Nov 2010	Dec 2011	Oct 2012	Aug 2013	Nov 2014
#	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
16	2473	-2	3	0	-3	2	1	2	-4	-2	2	-2
15	2484	-6	3	1	-1	2	2	-3	0	1	2	-3
14	2495	-6	2	2	0	2	1	-1	-1	-1	1	-1
13	2505,5	-3	0	4	-5	2	0	0	0	2	-1	0
12	2516	-11	7	-3	-3	2	2	-1	1	-1	0	0
11	2527	-2	-1	1	3	-3	1	0	-2	-5	2	-1
10	2559	-8	0	2	-1	-1	1	1	0	0	0	-1
9	2569,5	-10	3	1	-1	1	-1	3	-2	-1	1	-1
8	2634	-7	-3	-3	-5	2	0	0	-1	-1	-1	-2
7	2644	-5	-8	-4	-1	-2	-1	3	-1	-1	1	-3
6	2655	-4	-6	-2	-2	2	-3	4	-4	-3	2	-2
5	2761,5	-175	3	-1	3	0	0	3	1	-4	2	-2
4	2772	161	8	4	0	0	0	-2				
3	2783	-5	2	3	-4	2	1	3	-4	-1	2	0
2	2793,5	-3	-4	5	-4	1	-5	5	1	-1	-3	2
1	2943	-6	-3	6	-1	-1	-2	3	0	-3	2	-3

Figura 15 – Pozzo Anemone 6 Dir: misure di compattazione *in-situ* (da FSMT)

campo ANEMONE II <sup>a</sup> FASE - piattaforma Anemone B - ( J.V. Eni 81% operatore - Edison Gas 19% )			
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA n. 2979 del 3 MARZO 1998	
UBICAZIONE	offshore - 20 Km a NE di Rimini	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANEMONE campo)	
PROFONDITA' FONDALE	23 m	SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO
LITOLOGIA	sabbie fini	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD.STATICO E DINAMICO MONOCELLA "GIU 95"
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Corsini	RISERVE (MSm3)	7142
ZONA MINERARIA	PL1 - PL	MOD. GEOMECCANICO	NON RICHESTO
PROFONDITA' RESERVOIR	2100 - 3570 (TVSS)	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	#
TIPO DI PIATTAFORMA (An. B)	BEAF	MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	#
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	campo compartimentato da faglie	STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
	D.M @ mar98 @ 31 dic 2015	LIVELLAZIONI	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014. I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2011) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI
CONCESSIONE	A.C8.ME	MARKERS	MARKERS SU ANEMONE 6D: ULTIMO SURVEY @ ott. 2015 Survey eseguiti: ott 1998 (rilievo base), sett. 2002, apr. 2006, nov. 2007, sett. 2008, ott.2009, nov. 2010, dic. 2011, ott. 2012, ago 2013, nov.
DATA SCADENZA CONCESSIONE	05/11/2015	CGPS	NEL CORSO DEL 2007 -2008 SONO STATI INSTALLATI, RISPETTIVAMENTE, UN CGPS SULLA PIATTAFORMA E UN CGPS NELLA CENTRALE ENI DI RUBICONE (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA
N. POZZI	6	SAR	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 ANEMONE B NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO
RISERVE TECNICHE	6077		
A VITA INTERA (MSm3)			
START UP PRODUZIONE (set-78 campo)	mag '99-An.B		
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2023		
GAS PRODOTTO (MSm3)			
% RISERVE PRODOTTE	99%		

Figura 16 – Campo di Anemone: scheda di sintesi dati campo



Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2015

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

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

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

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



Fig. 1A - Mappa calibrazione dati SAR



La calibrazione dei dati SAR è stata fatta con le misure CGPS acquisite nelle stazioni poste all'interno delle aree analizzate, partendo da quelle con la serie storica di dati più consistente (Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti dell'area di Ravenna).

Per il processo di calibrazione si è impiegata la misura della componente verticale della velocità d'abbassamento del suolo dell'area SAR più a nord (area ravennate), utilizzando in particolare le misure della stazione di Smarlacca. I dati acquisiti a Fiumi Uniti, a Spinaroni e in tutte le altre stazioni sono stati impiegati esclusivamente per la verifica dei risultati ottenuti.

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

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

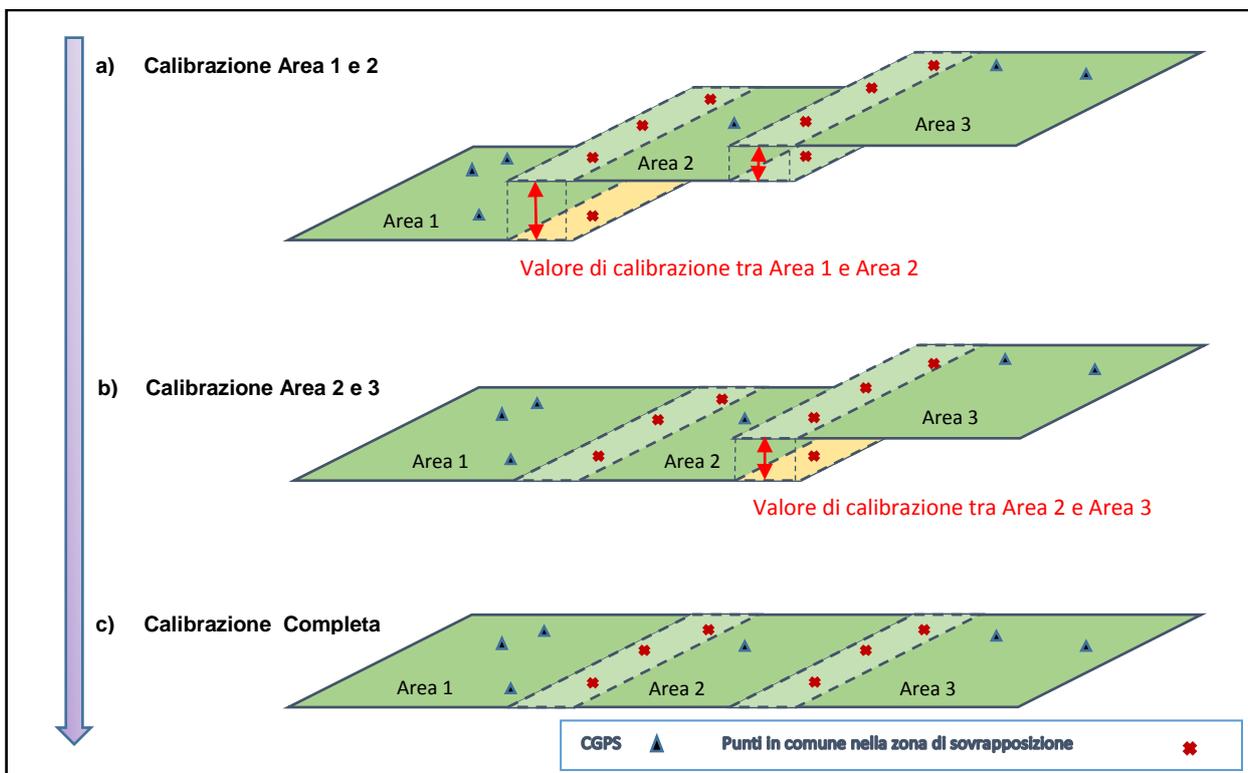
Analogamente a quanto effettuato anche negli anni precedenti, tutti gli altri data-set SAR (area di Rimini e area di Ancona, vedi Fig. 1A), acquisiti a sud di quello dell'area ravennate, sono stati calibrati confrontando tra loro le componenti verticali della velocità d'abbassamento del suolo nelle rispettive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

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

Per verificare la correttezza di tutto il processo, sono state poi confrontate le velocità medie calibrate dei punti SAR ricadenti in un raggio di 200 metri dalle postazioni CGPS di Fano e di

Falconara (area di Ancona) con le velocità misurate dagli stessi CGPS, anche se queste ultime misure sono relative a periodi di tempo inferiori ai dati della serie storica SAR.

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



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

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

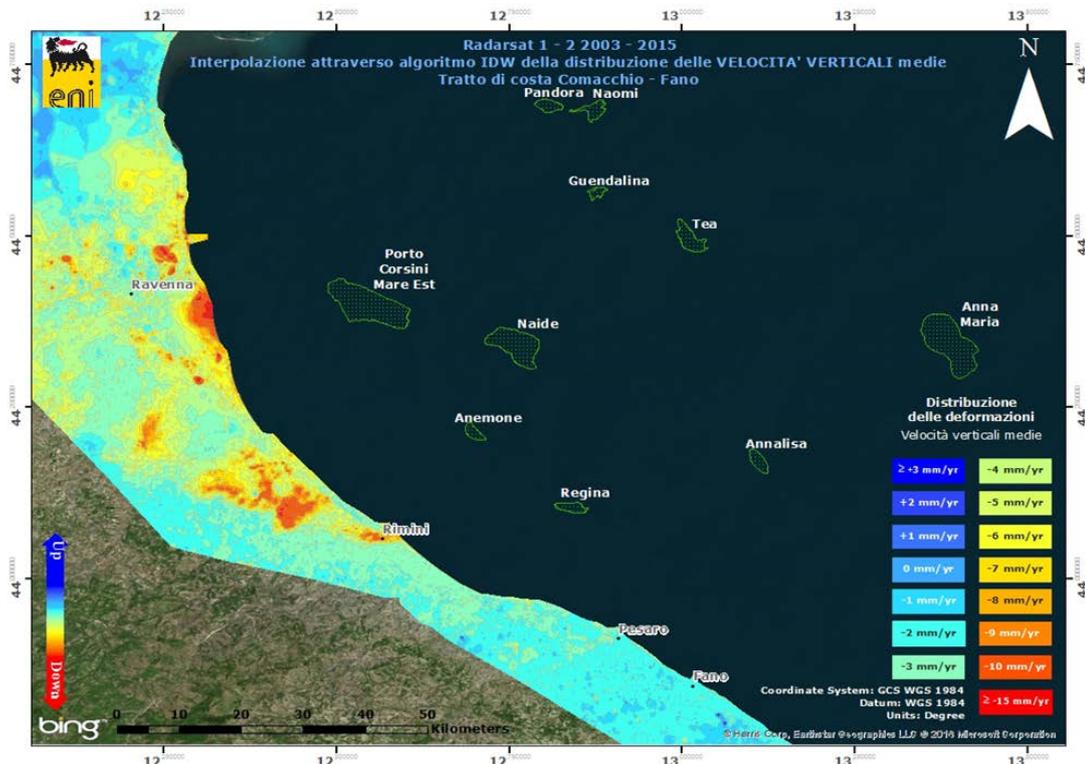


Fig. 3A –Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Comacchio a Fano: serie storica: 2003 – 2015

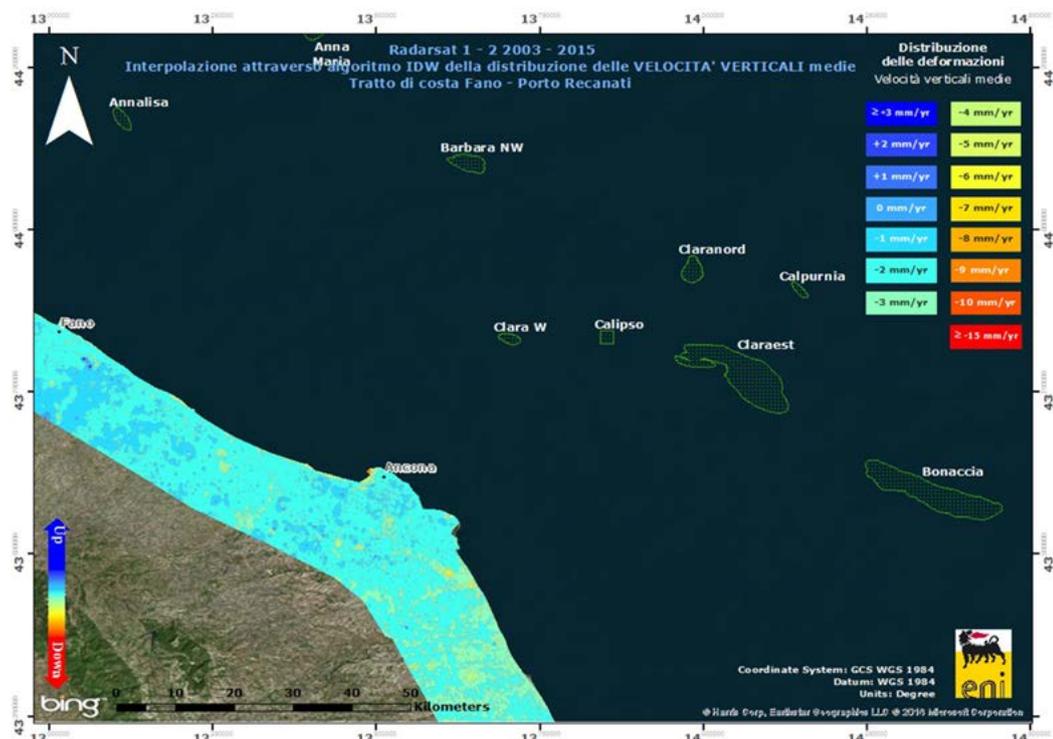


Fig. 4A –Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

### 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.

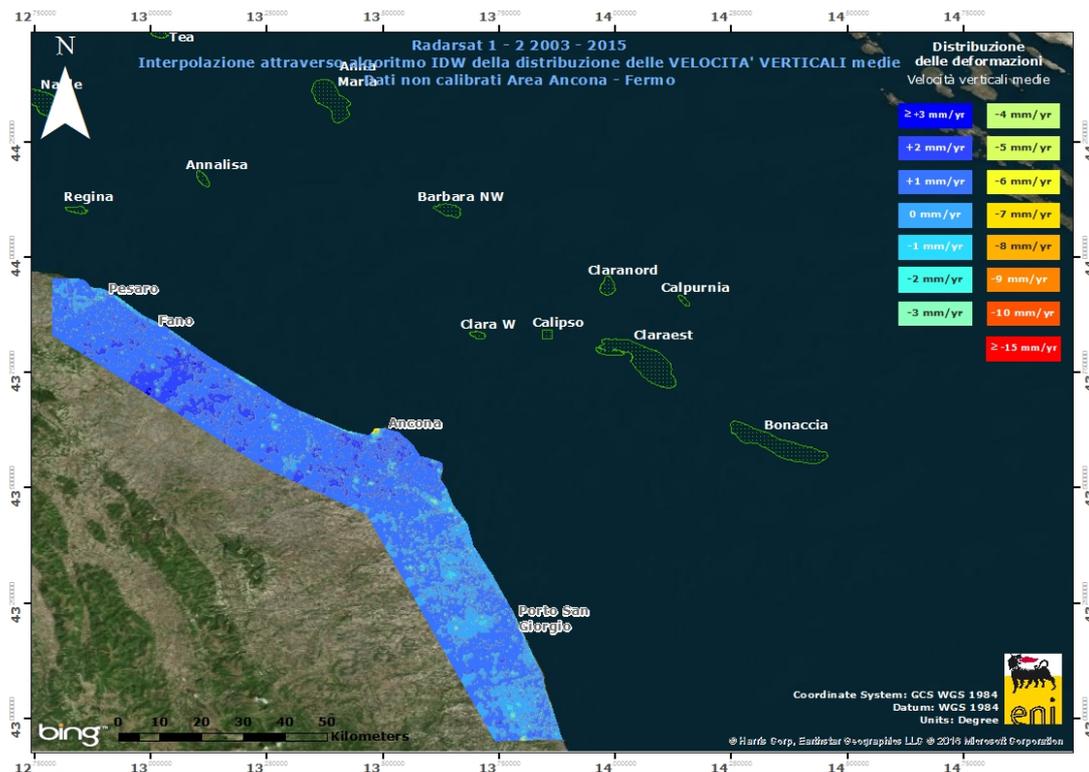


Fig. 5A- Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo ( dati Radarsat 1 – 2 non calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

### 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.

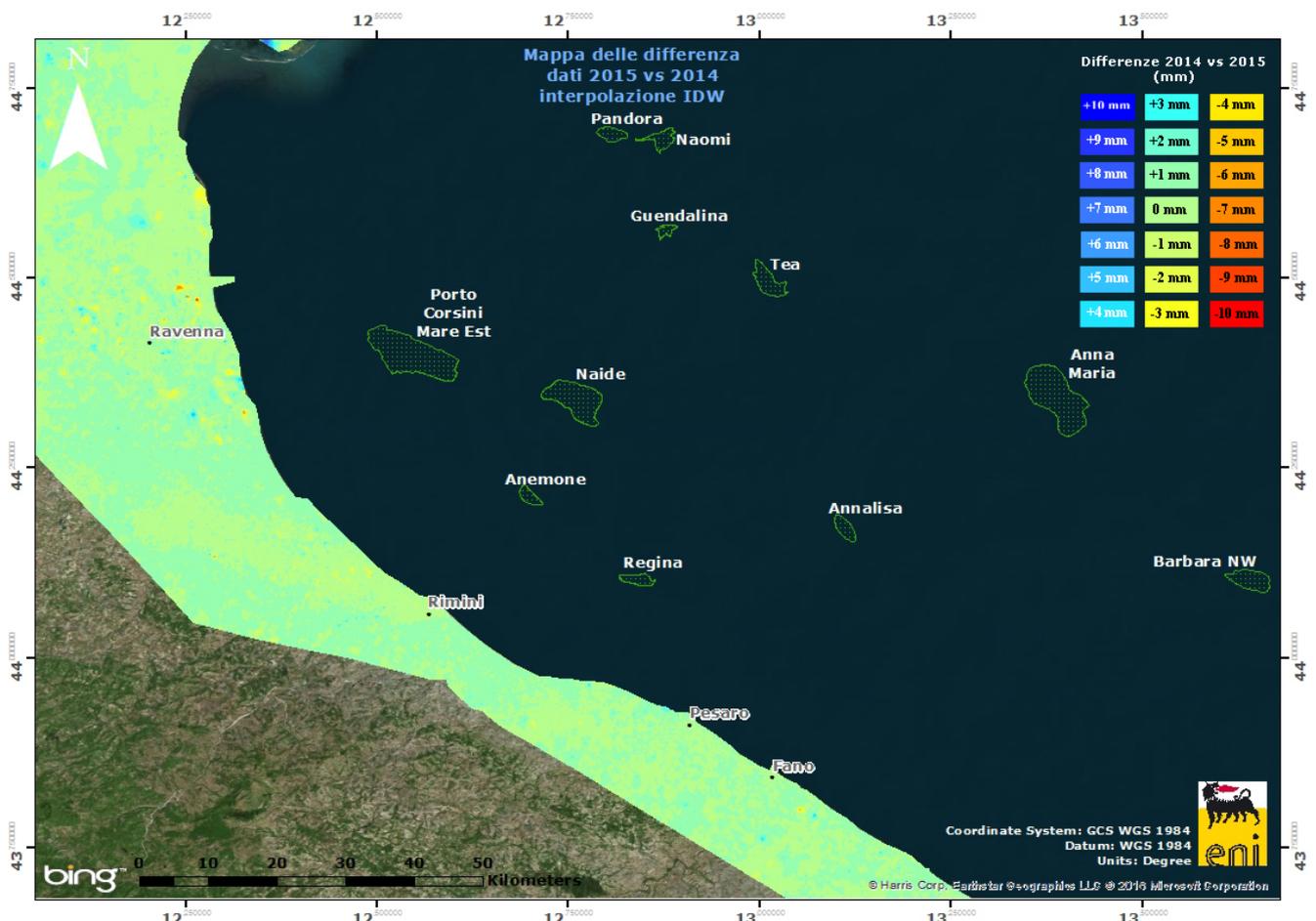


Fig. 6A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.  
Tratto di costa da Comacchio a Fano

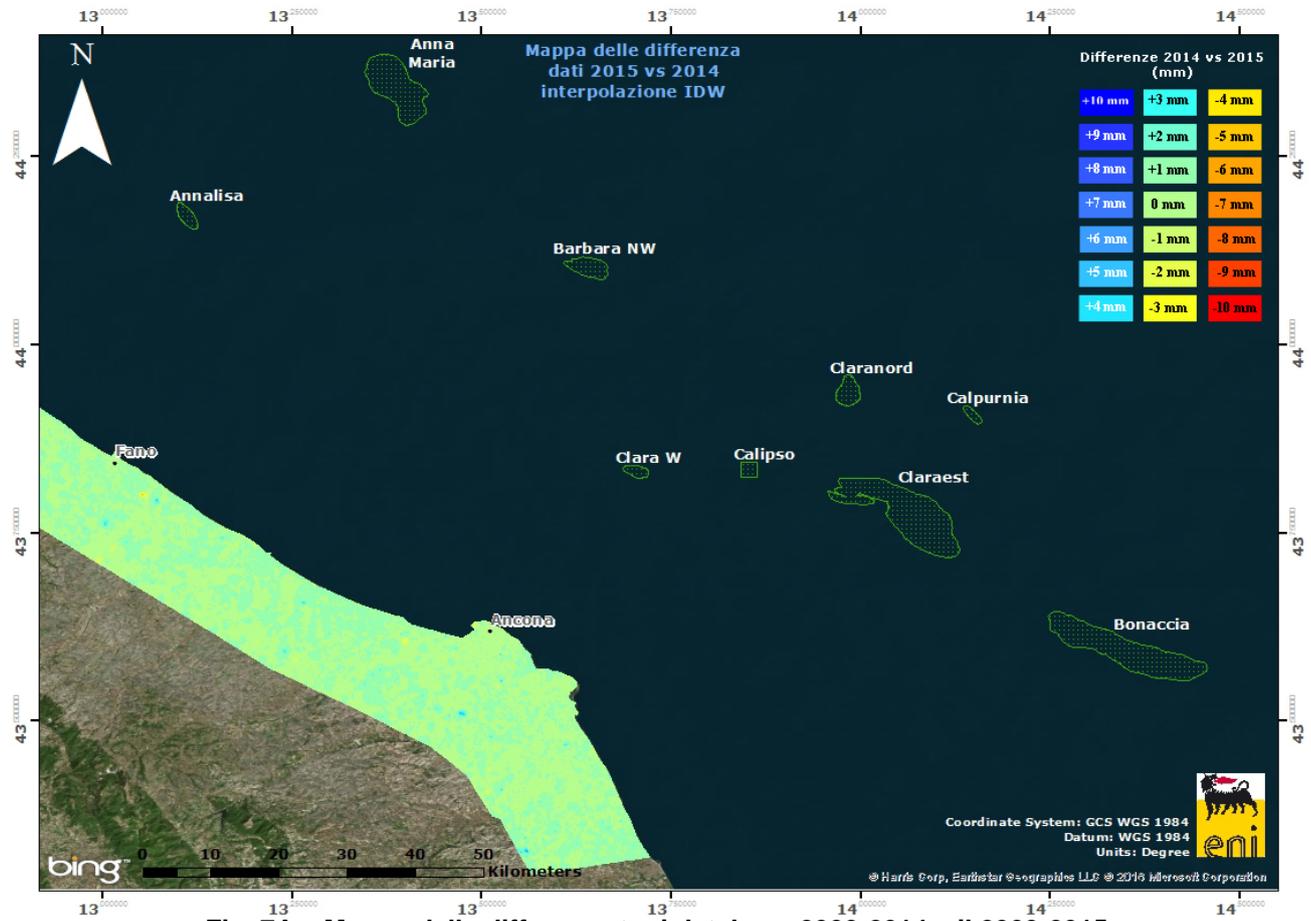


Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.  
Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

## 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.

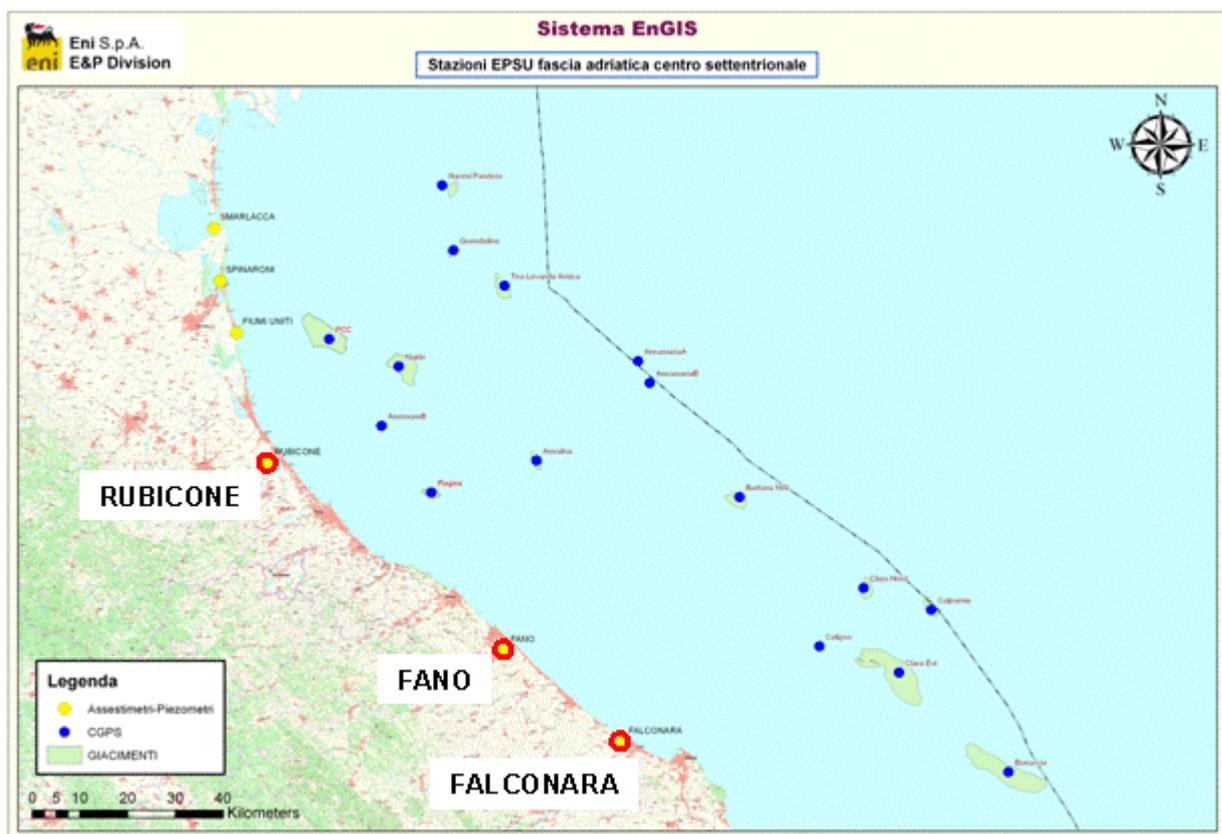


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU.

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.

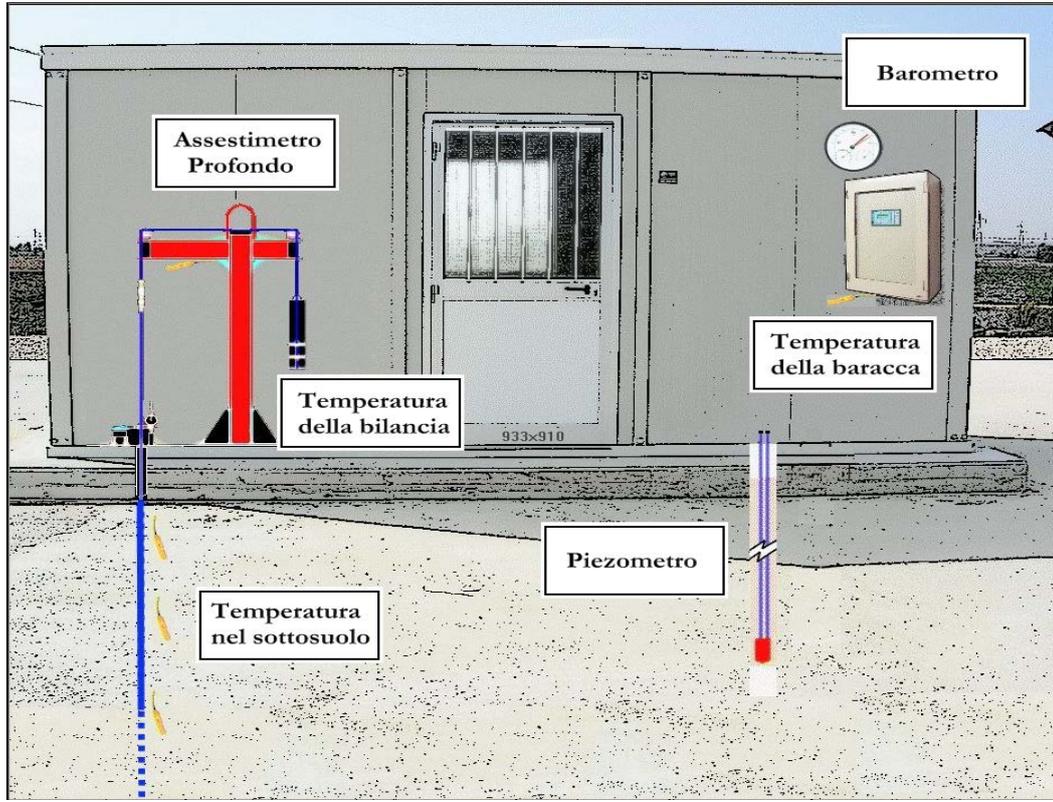


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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 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'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 incre-



mento 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÷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 GPS.

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

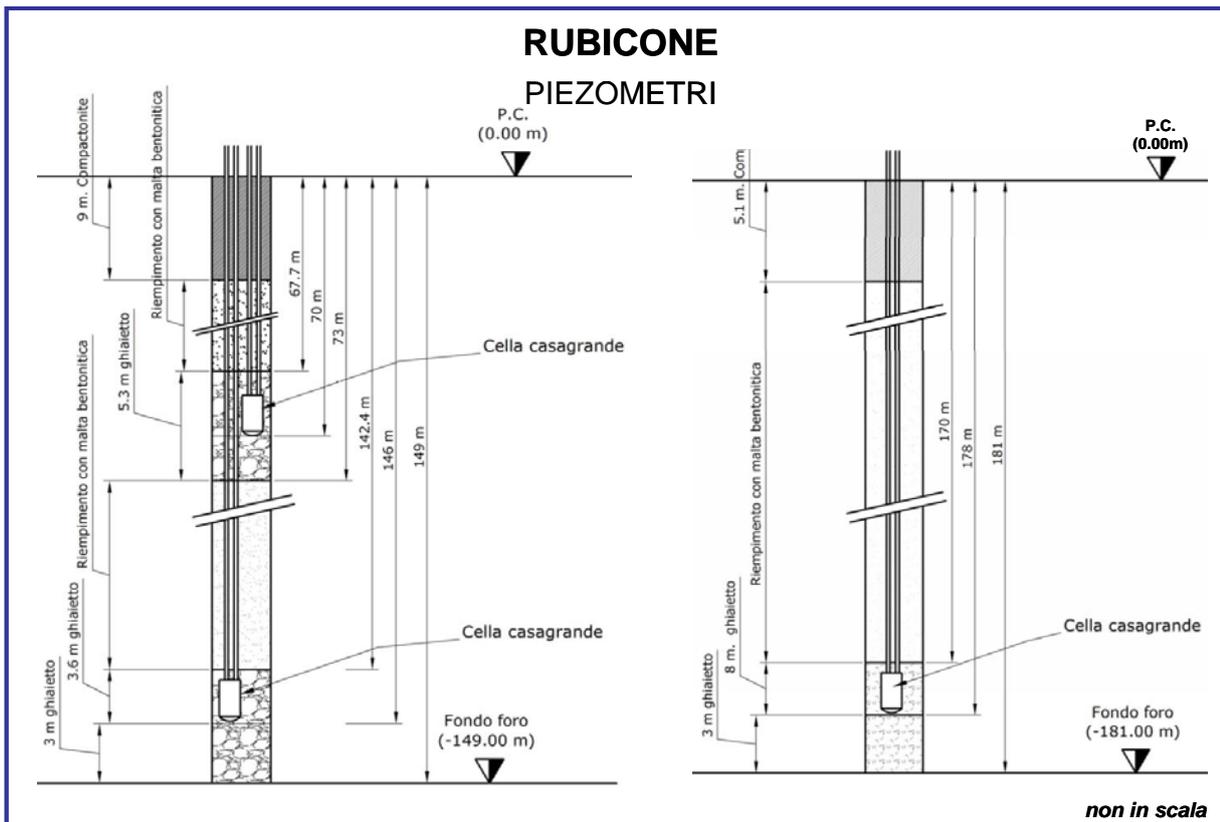


CGRP-1).

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 freatimetro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche, consentendo di concludere che tutti i trasduttori erano perfettamente funzionanti e affidabili.

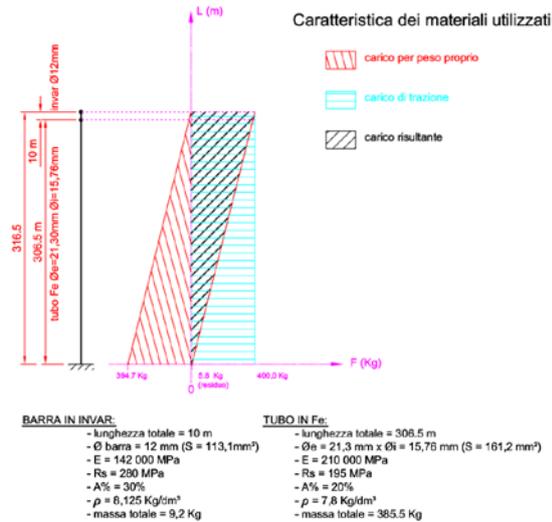
A dicembre 2015 si sono effettuati nuovi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.

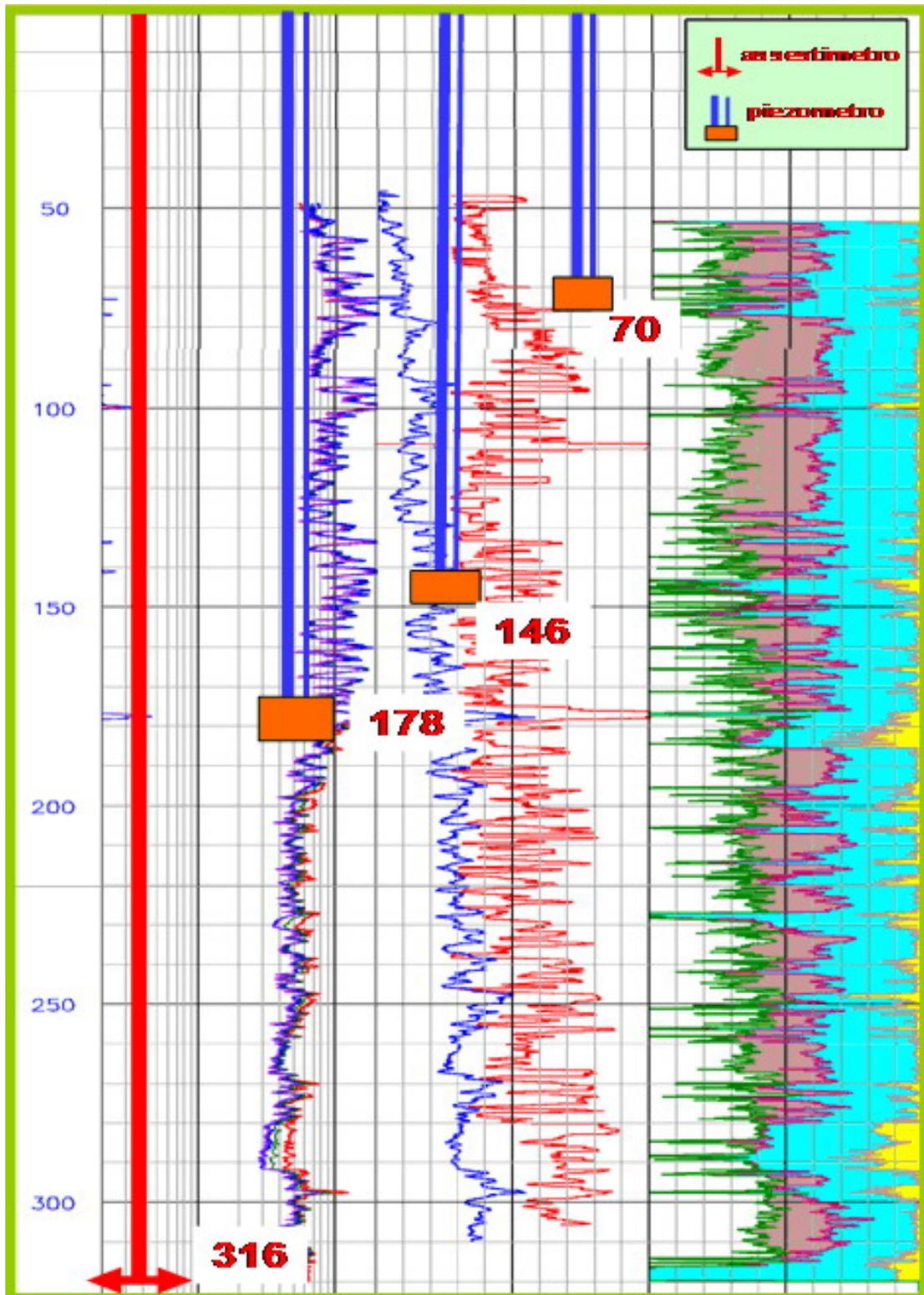




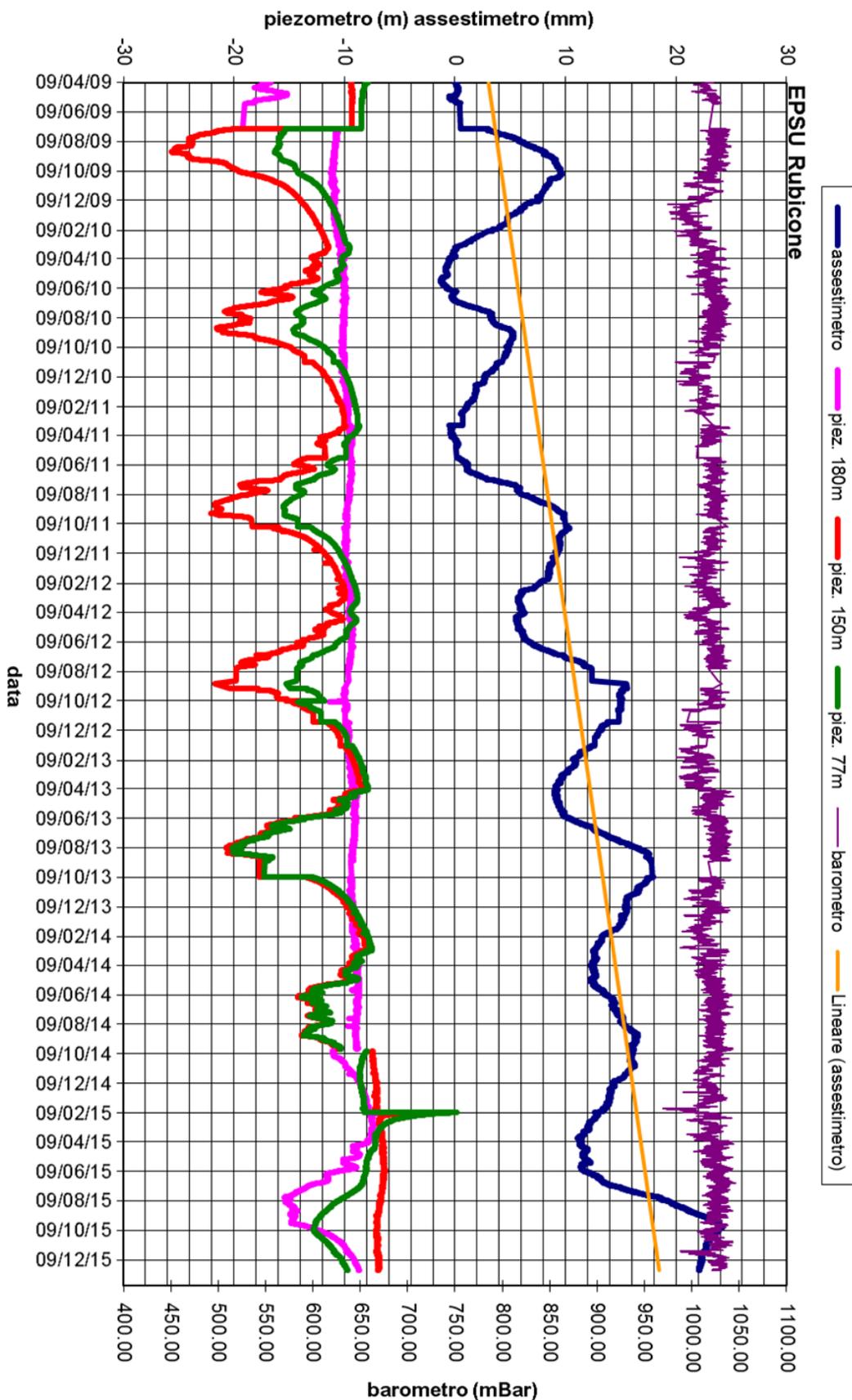
## RUBICONE ASSESTIMETRO

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





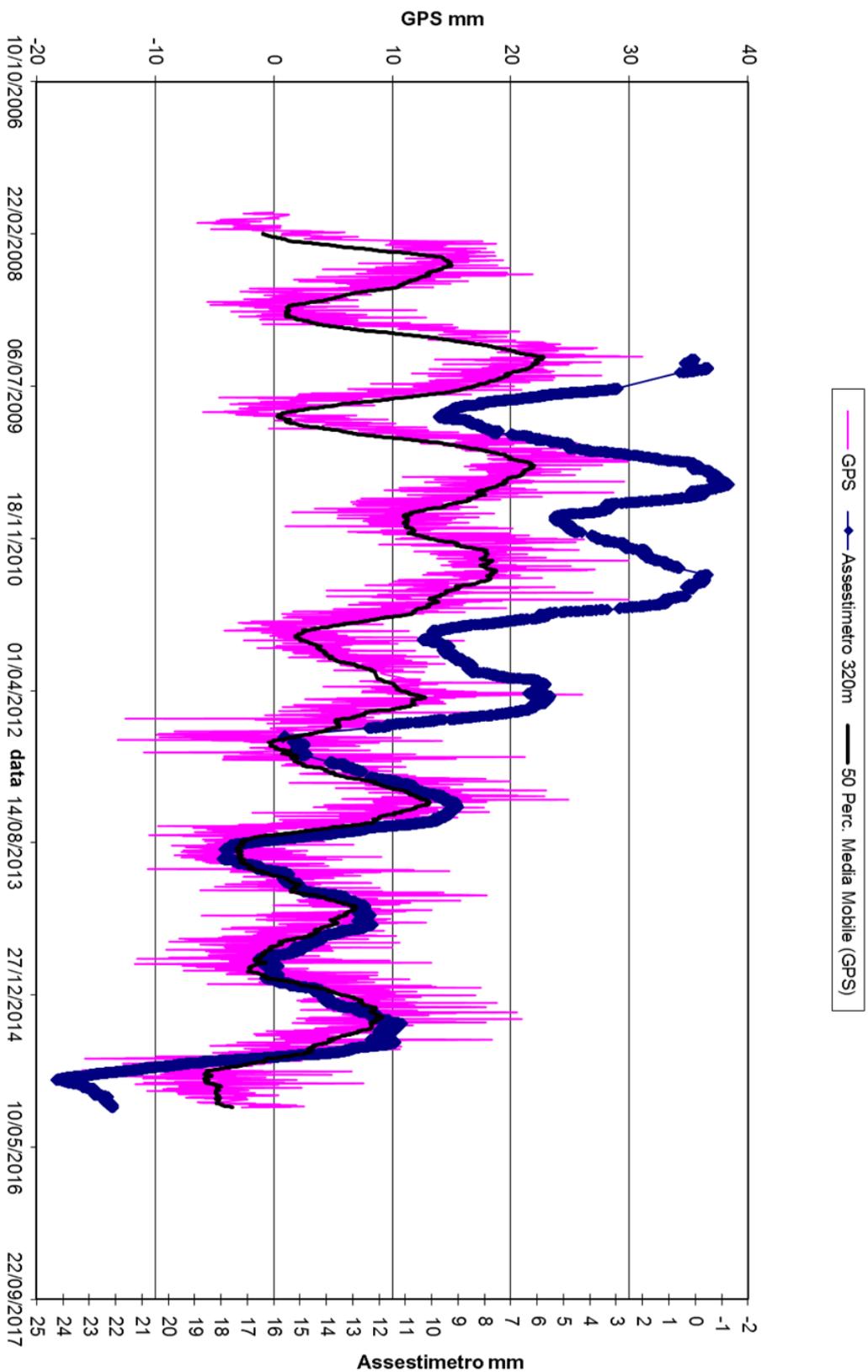
Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.



L'assessimetro 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 di tale falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno assolutamente stabile nel tempo, i.e. 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, assestimetrica 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 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.

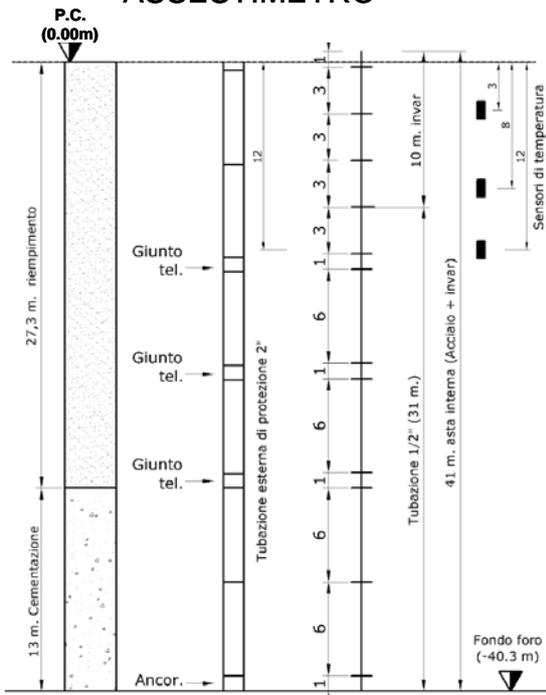
Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Nel dicembre del 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.

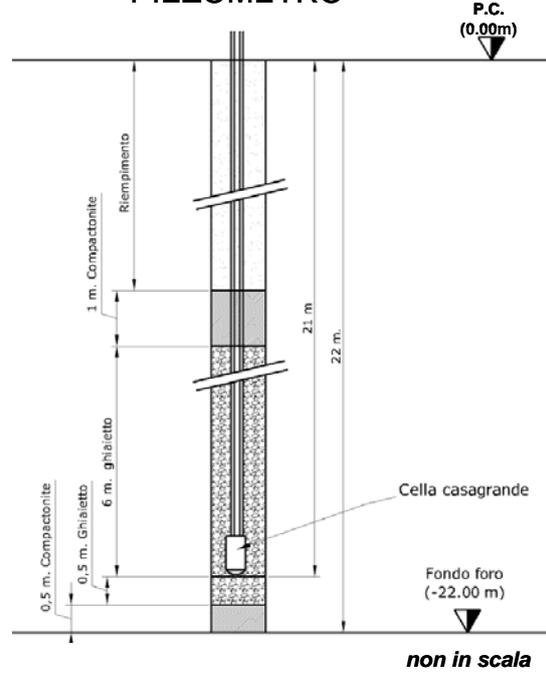


# FALCONARA

## ASSESTIMETRO

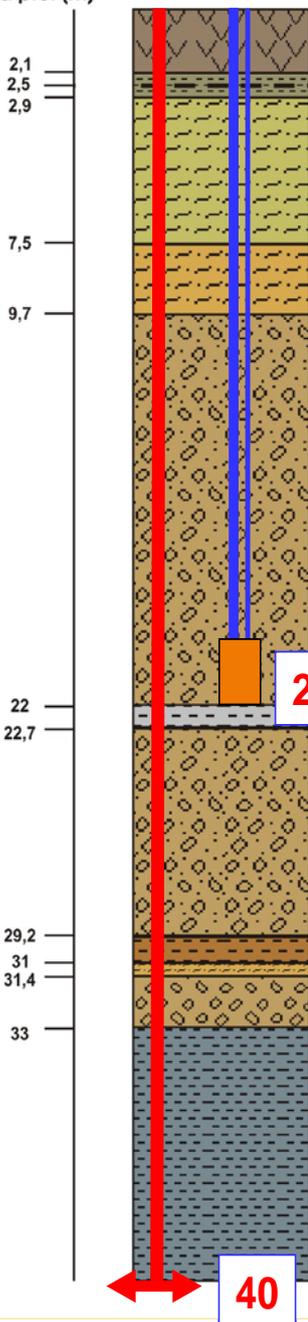


## PIEZOMETRO





Profondità p.c. (m)



Terreno vegetale (limo argilloso con presenza di frammenti di plastica).

Argilla grigio-verdastra con screziature marroni, consistente.

Limo argilloso sabbioso grigio-verdastro con rare screziature marroni, mollo o poco consistente.  
Presenza di livelli centimetrici di ghiaia (tra 1-1,3 e 1,5-2,1).

Limo argilloso marnoso debolmente sabbioso grigio chiaro, moderatamente consistente.

Ghiaia medio-fine con sabbia medio-grossa con limo, colore marrone. I granuli sono appiattiti e a composizione prevalentemente calcarea.  
Si alternano livelli centimetrici di limo marrone chiaro (tra 10,80 -11; 11,60 -11,80; 12,30 -12,50; 14,60 -14,80).  
Tra 16,70 - 17m sabbia medio fine da limosa a con limo giallastra.

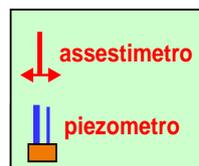
22  
22,7 Argilla limosa debolmente sabbiosa grigio chiaro-verdastra con screziature marroni, presenza di concrezioni calcaree.

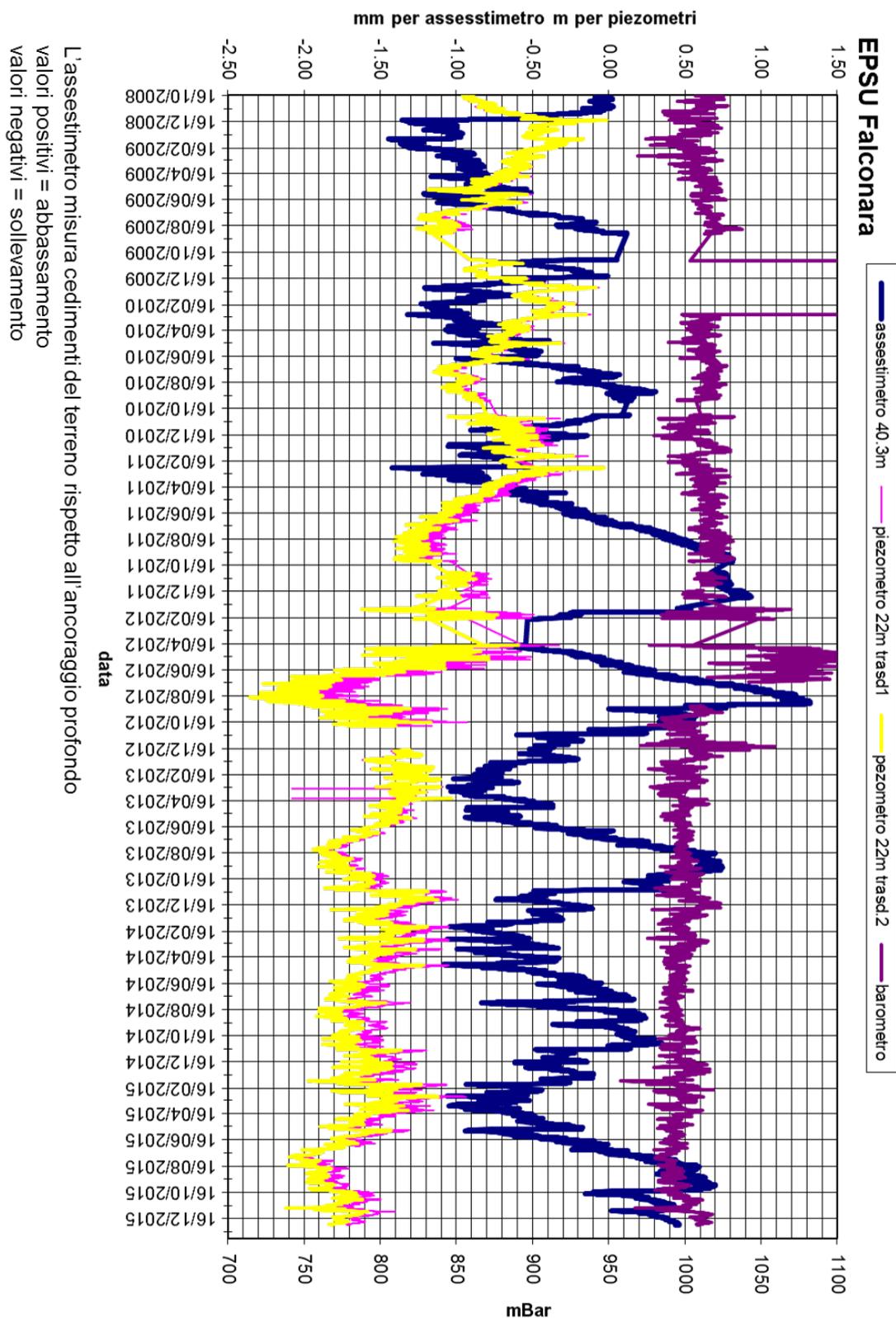
Ghiaia medio-fine con sabbia medio-grossa limosa marrone chiaro. I granuli sono appiattiti e ben classati, raggiungono  $d_{max} = 2,3$  cm, composizione prevalentemente calcarea.

29,2  
31  
31,4 Argilla limosa marrone con screziature grigie, da consistente a molto consistente. Presenza di concrezioni calcaree.

Limo con sabbia marrone chiaro.  
Ghiaia limosa eterometrica ed eterogenica. Granuli appiattiti e arrotondati.

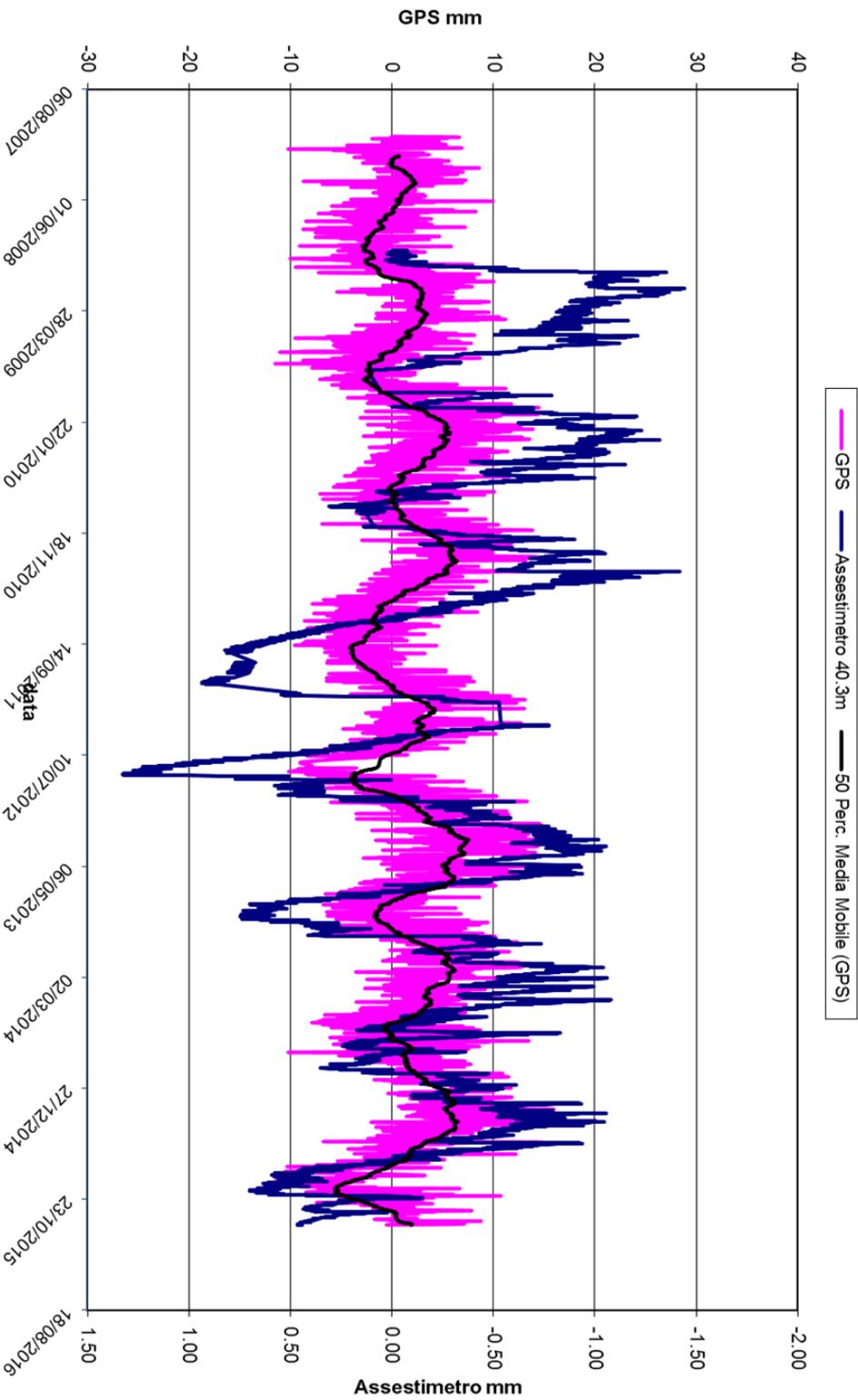
33 Argilla limosa grigio azzurra torbosa. Dura ( $I_c > 4$ ).







### 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:**

- 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. È 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.

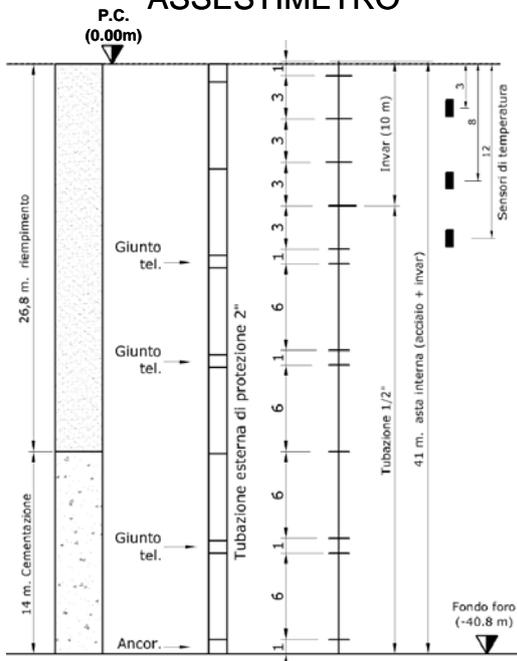
L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casa-grande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa  $\pm 8$  cm, il che rientra nella normale tolleranza dello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

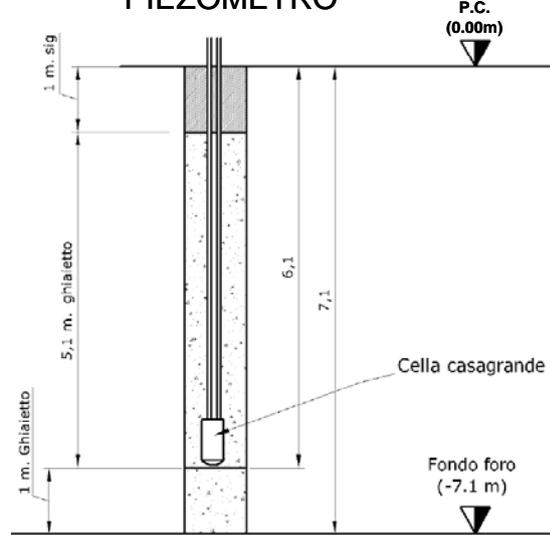


# FANO

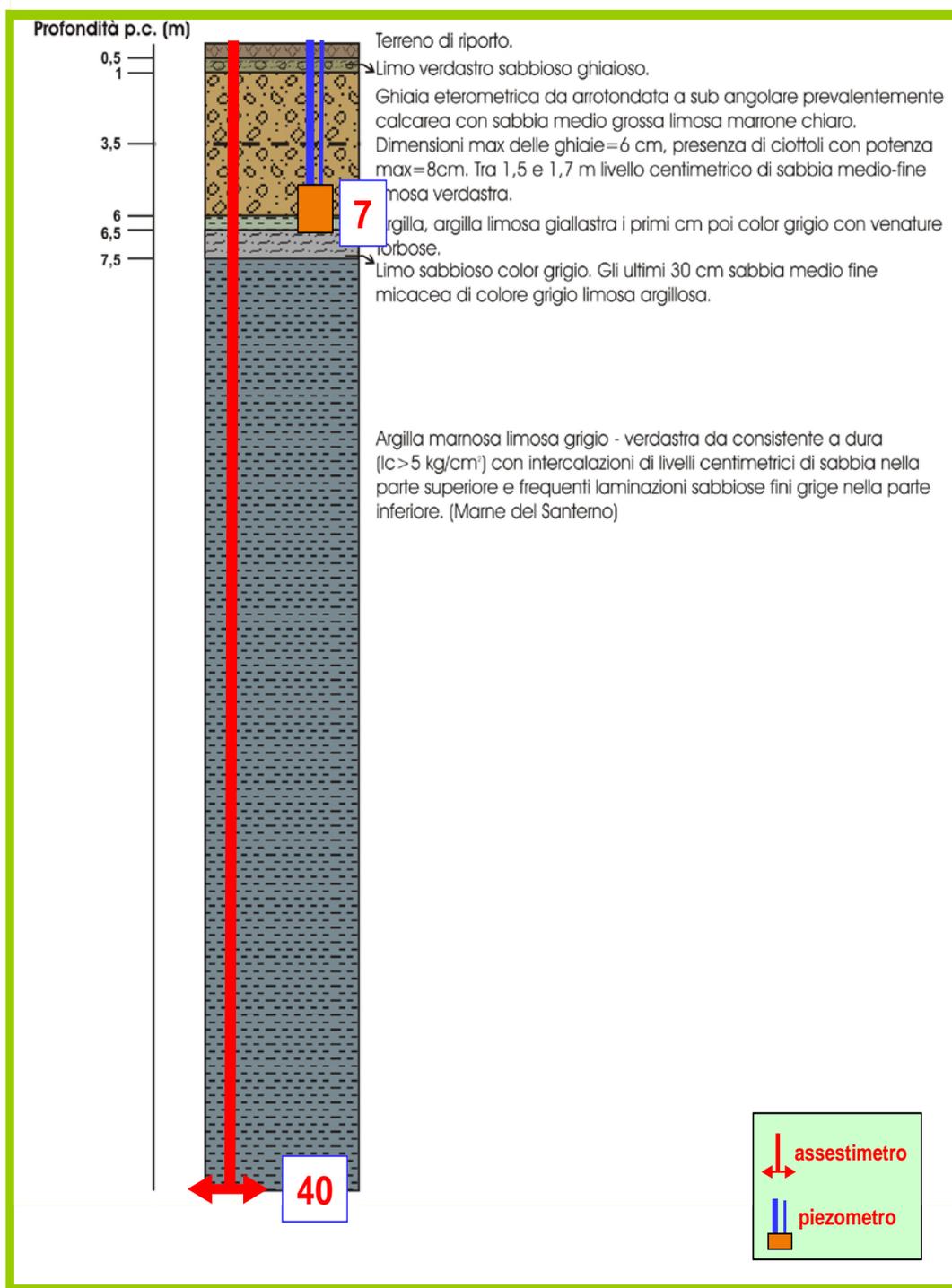
## ASSESTIMETRO



## PIEZOMETRO

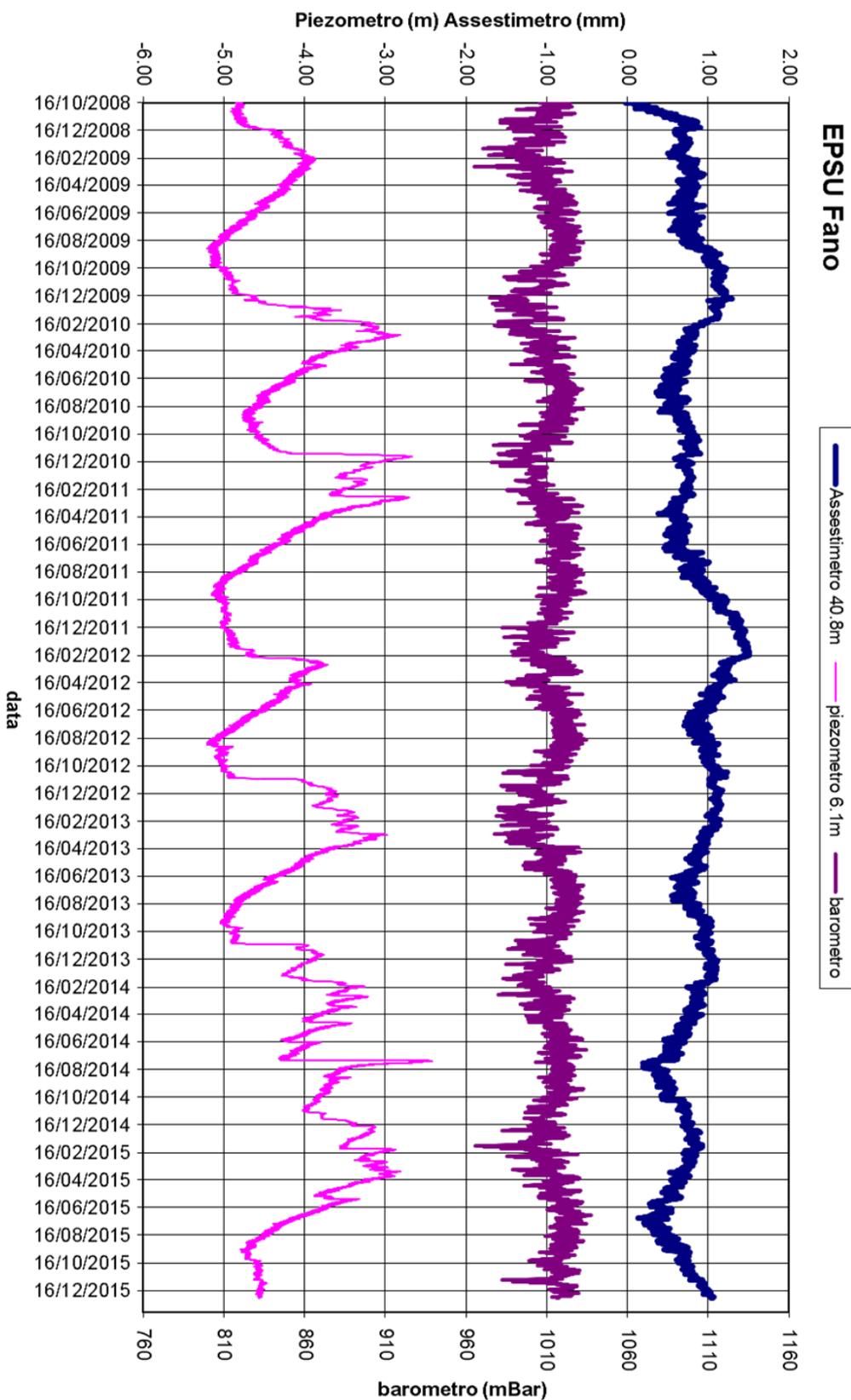


*non in scala*





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

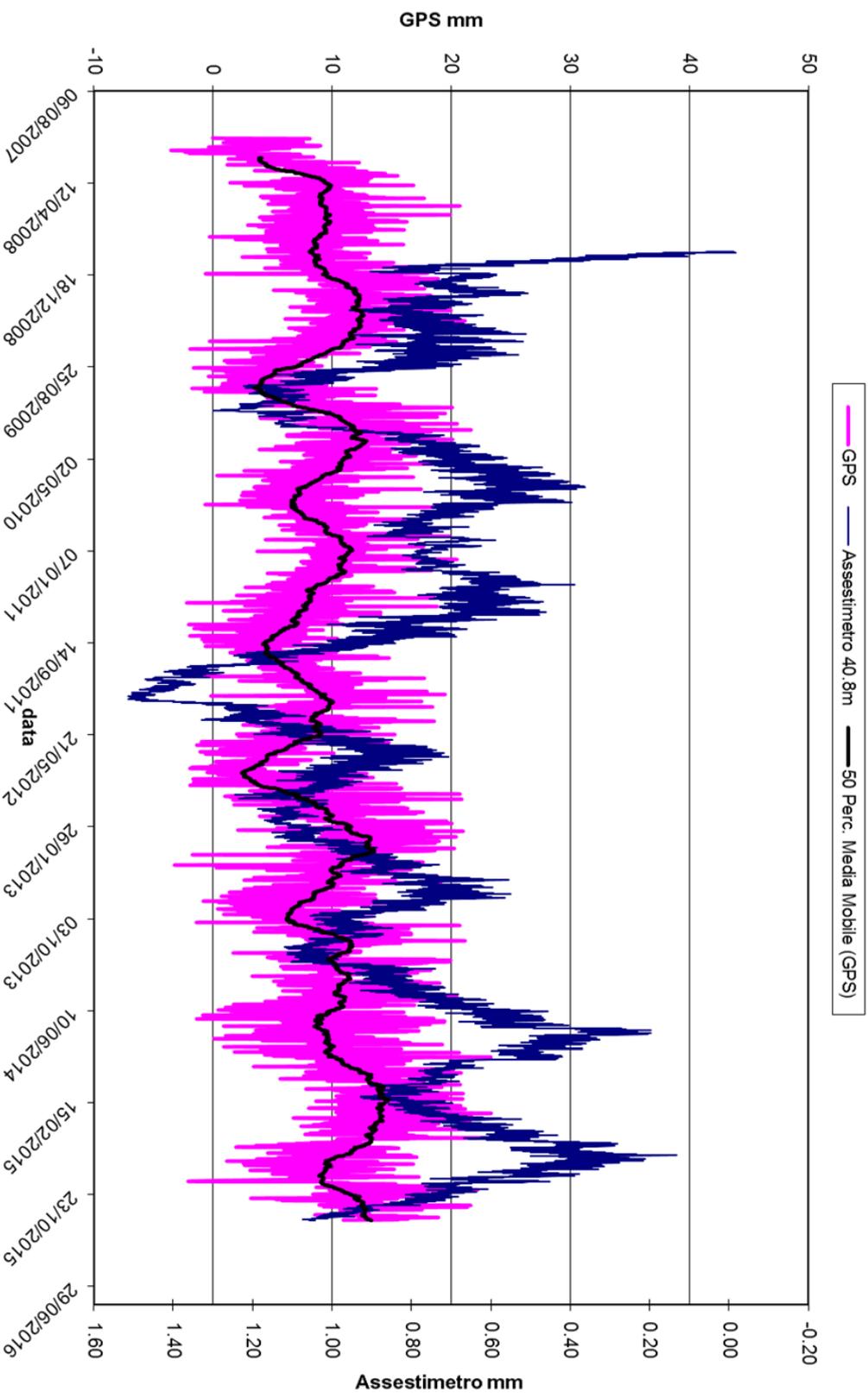


EPSU Fano





### 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	Assestimetro profondo		Assestimetro 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	-