



Campo di ANEMONE II FASE

Aggiornamento al 31/12/2014

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 2).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C8.ME	05/11/15	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 km². 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 3 e Figura 4).

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 MSm³ di riserve residue producibili in 23 anni. Le riserve totali stimate dall'inizio produzione per campo di Anemone ammontavano, pertanto, a 7142 MSm³, tenuto conto che alla stessa data il campo aveva già prodotto 1065 MSm³.



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 kSm³/g.

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

In Figura 5 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm³/g), d'acqua (m³/g) e della produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/2014 (pari a 4499 MSm³).

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 GSm³, GOIP revisione studio statico del settembre 2006 pari a 10 GSm³*) 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 MSm³ 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, onde 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 MSm³, ovvero il 18% in meno del valore precedente (*GOIP revisione studio statico del settembre 2006 pari a 10 GS^m*). 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, infatti, prevede il recupero entro il 2033 di 5484 MSm³ (Figura 6 e Figura 7) 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.

Nel corso del 2010 si sono 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 MSm³ al 2019 con una riduzione, quindi, di circa il 10% rispetto alla stima del dicembre 2007.

Anche nel 2013 si è di nuovo aggiornato il modello dinamico di giacimento. Con questa revisione (*rel. Eni-GISE n° 20-13 del novembre 2013*) il recupero di gas è stato valutato in 4687 MSm³ (caso Do Nothing + Sidetrack Anemone 12 dirB) al 2024, con una riduzione, quindi, del 5% rispetto allo studio del 2011. Nel corso del 2014 si è fatto un addendum a quest'ultimo lavoro per tenere conto del nuovo schema di pozzo per il sidetrack Anemone 12 dirB. Si è così stimato un recupero di gas pari a 4729 MSm³ al 2026 (Figura 6 e Figura 7) con una riduzione, quindi, di circa il 4% rispetto alla stima del aprile 2011.

A valle della perforazione del pozzo si eseguirà nel corso del 2015 un aggiornamento dei modelli statico, dinamico e geomeccanico.

In (Figura 8) è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati con il modello Eclipse dell'aprile 2014 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. Il confronto evidenzia un



buon accordo fra i dati di pressione misurati e quelli calcolati con il modello e, considerando che le riserve già prodotte al 31/12/2014 ammontano a 4499 MSm³, ovvero il 95% del totale, si ritiene che le attuali previsioni sul comportamento futuro del campo, in termini di produzione e pressione, abbiano un buon grado di affidabilità.

I risultati del modello dinamico Eclipse del dicembre 2007 sono stati impiegati per una previsione di subsidenza con modello geomeccanico a elementi finiti (FEM) che ha utilizzato il codice di calcolo Abaqus (*rel. TERA nr. 032-07 – Campo di Anemone – Studio di previsioni di subsidenza – Management Summary del dicembre 2007*). In particolare, tale previsione è stata basata su uno scenario di sviluppo “Upside” che, secondo le simulazioni Eclipse, avrebbe portato a una produzione di 5714 MSm³ al 2036, ed era, quindi, agli effetti della stima di subsidenza futura da ritenersi più cautelativo rispetto al caso base (recupero di 5484 MSm³ al 2033).

Questo studio geomeccanico prevedeva una subsidenza massima di 37 cm al 2036; tale valore non s’incrementava negli anni successivi. Il cono di subsidenza (linea d’isosubsidenza di 2 cm) presentava una forma simil-ellittica con asse maggiore subparallelo alla linea di costa. Al 2061 tale cono si estendeva per circa 20 km parallelamente alla costa, mentre in direzione normale alla costa l’estensione del cono stesso era sempre inferiore a 6 Km. L’evoluzione nel tempo della linea d’isosubsidenza di 2 cm, mostrava, poi, come anche nel 2061 la distanza minima del cono di subsidenza dalla costa fosse 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.

Con la revisione del modello di giacimento dell’aprile 2011 (*rel. GISE del 04/2011- Campo di Anemone – Nota integrativa – Aggiornamento Studio di giacimento*) si è aggiornato anche il modello geomeccanico (*rel. TERA n.15/2011 – Campo di Anemone – Modello Elasto-*



Plastico di Subsidenza – Management Summary del 12/2011). I risultati delle previsioni di subsidenza per diversi step temporali durante e dopo la vita produttiva del campo hanno mostrato che:

- il valore massimo di subsidenza in corrispondenza del campo è risultato pari a 36 cm al termine delle simulazioni (anno 2052 - Figura 11);
- a fine produzione (anno 2020) la massima estensione del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza dei 2 cm) è stata prevista in 11 km lungo l'asse Nord-Ovest del campo (segmento A di Figura 9), con un incremento nel tempo sino a raggiungere 17 km circa al 2052 (segmento A di Figura 10);
- lungo l'asse Sud-Ovest del campo (segmento B di Figura 9 e Figura 9) l'estensione del cono è stata di circa 6 km nel 2020, risultando stabile nel tempo. Il fenomeno è stato previsto, quindi, esaurirsi a circa 10 km dalla linea di costa.

In Tabella 1 vengono sintetizzati i risultati finali dello studio:

**Tabella 1– Risultati finali dello studio geomeccanico 12/2011:
massima subsidenza ed estensione del fenomeno**

1-gen-2011			1-gen-2020			1-gen-2032		
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)
28	9	5	33	11	6	35	13	6

1-gen-2052		
Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)
36	17	6

I risultati di quest'ultimo aggiornamento del 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 conseguono dalla riduzione del



10% delle riserve, che è risultata dall'aggiornamento del modello di giacimento fatto nell'aprile del 2011. Nel corso del 2015 è previsto un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico.

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

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.

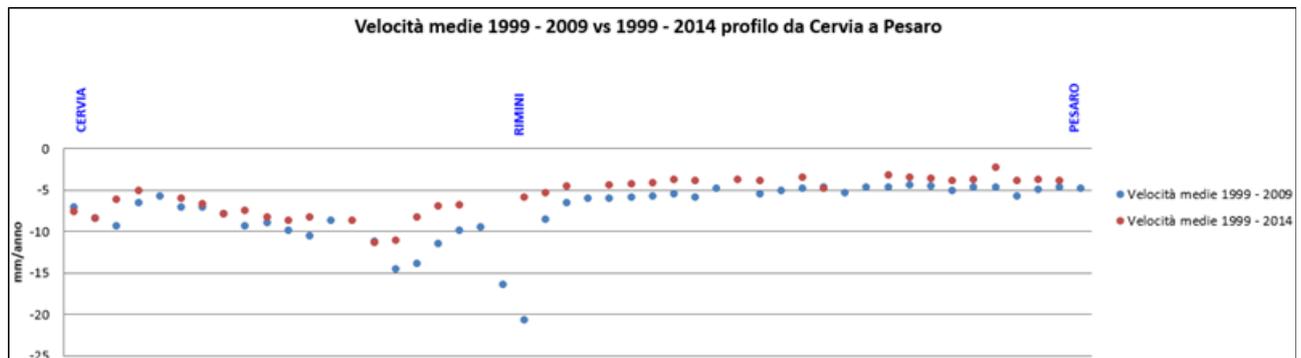
Le operazioni si sono svolte nel periodo compreso tra giugno e ottobre 2014 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell'ente certificatore.

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 di 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 al litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili,



includendo la campagna del 2014, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, successivamente a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

Le misure sui singoli capisaldi sono state elaborate tramite regressione lineare; le corrispondenti velocità medie annue di abbassamento del suolo V_a^1 sono state poi raggruppate nelle seguenti 5 classi:

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

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2014 mostra per l'area in esame un quadro di generale abbassamento, anche se gli attuali valori di velocità di subsidenza sono più contenuti e generalmente in leggera diminuzione rispetto a quelli misurati nelle campagne fatte fino al 2011. Il 50% dei punti, infatti, ricade nella classe 2, il 45% dei punti in quella 3 e solo il 5% (due capisaldi) hanno valori di V_a di poco superiori 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.

¹ 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.



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 12), 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 Anemone-B, 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 13), 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 2.

Tabella 2 – 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
Anemone-B	16,49	20,51	-3,62	16,75	20,51	-4,36	-0,26	0,0	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 5.0, 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 Anemone, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale² misurata da CGPS pari a -4,9 mm/a (Figura 13 e 14) sostanzialmente in linea con il valore (-5,2 mm/a) riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (2013).

I valori di subsidenza stimati con il modello geomeccanico del dicembre 2011 sono stati confrontati con quelli misurati dal CGPS, senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale³ (Figura 15). Il buon accordo esistente fra le due serie di valori conferma l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza e il carattere cautelativo delle previsioni fornite.

Al fine di monitorare la compattazione della roccia serbatoio del giacimento, si è proceduto, inoltre, al survey annuale (11/2007, 09/2008, 1/2009, 11/2010, 12/2011, 10/2012, 08/2013 e 11/2014) dei marker installati nel pozzo di Anemone 6 Dir mediante log FMST.

Tale survey, eseguito su un tratto di formazione di circa 193 m, ha mostrato che le misure di variazione di spessore dei livelli monitorati presentano nel tempo un andamento altalenante. Nel periodo 2007-2014, infatti, si è registrato per il tratto di formazione monitorato (Figura 16):

- dal 2006 al 2007 un'espansione di circa 16 mm;
- dal 2007 al 2008 una compattazione di circa 25 mm;
- dal 2008 al 2009 un'espansione di circa 11 mm;
- dal 2009 al 2010 una compattazione di circa 3 mm;
- dal 2010 al 2011 un'espansione di circa 22 mm;
- dal 2011 al 2012 una compattazione di circa 14 mm;
- dal 2012 al 2013 una compattazione di 19 mm;

² 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.

³ 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. 15 indica una subsidenza di circa 20 cm diversa da quella massima del campo.



- dal 2013 al 2014 un' espansione di circa 14 mm.

Si precisa, però, che le misure di compattazione dal 2012 al 2013 e dal 2013 al 2014 non includono l'intervallo da 2772 m a 2783 m, in quanto, nel corso di tali survey, lo strumento non ha rilevato il marker inizialmente installato alla quota di 2772 m.

In sintesi per l'intero periodo in esame (2006-2014) si è misurata una compattazione totale dello spessore monitorato inferiore al millimetro. Le simulazioni con modello geomeccanico calcolano, invece, per lo stesso periodo una compattazione della roccia serbatoio di circa 6 mm (relativa ovviamente ai 193 m considerati).

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 fra la misura in situ della compattazione profonda relativa al periodo 2006÷2014 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 17 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 18 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

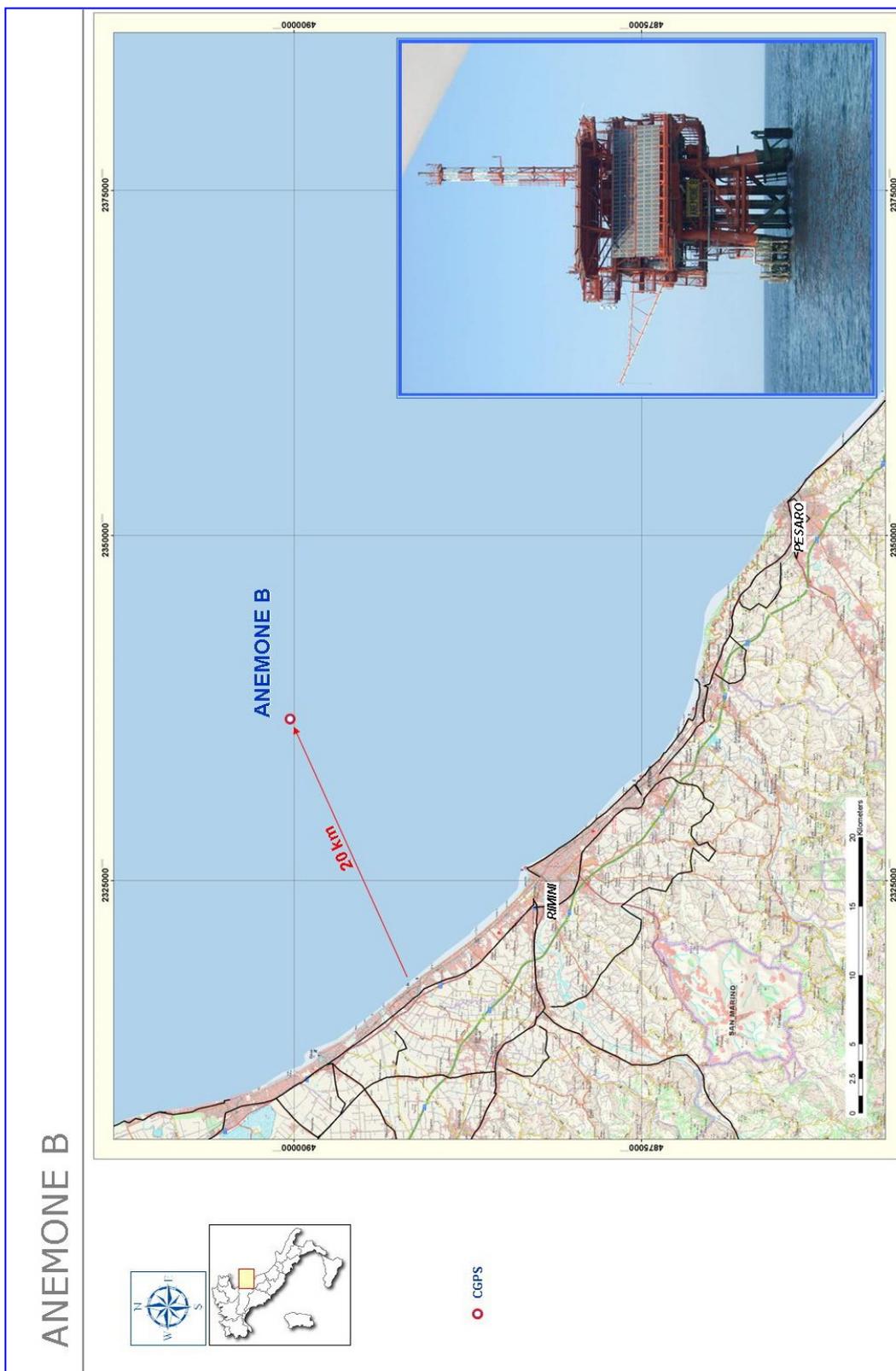


Figura 1 – Ubicazione del campo di Anemone

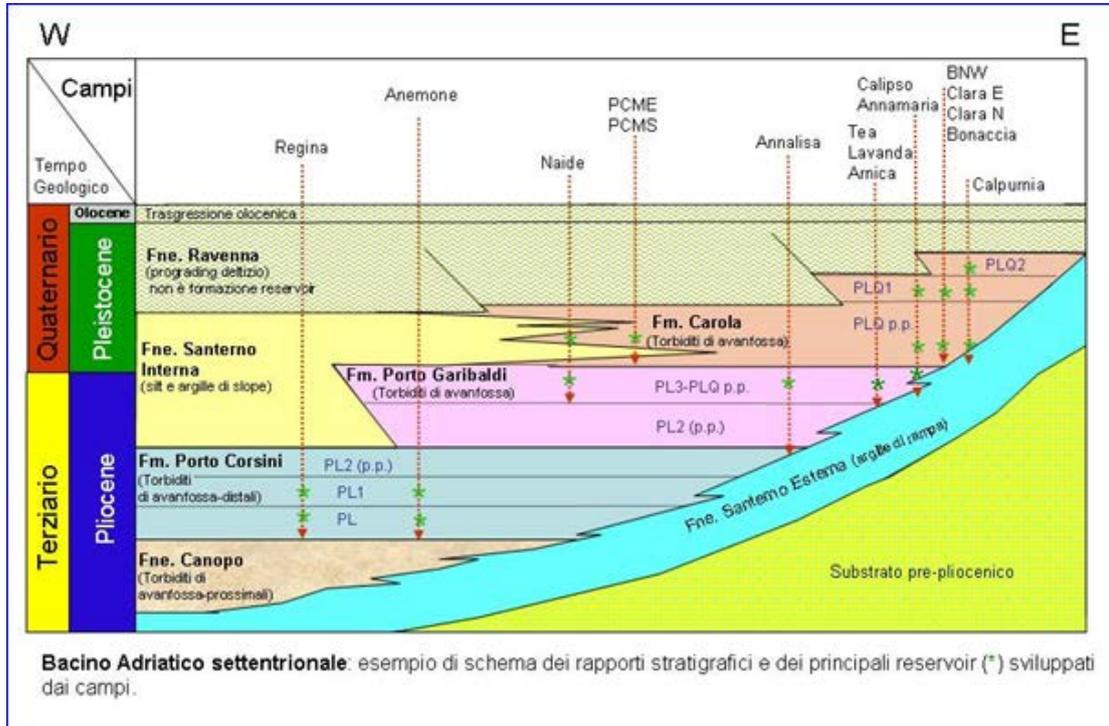


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

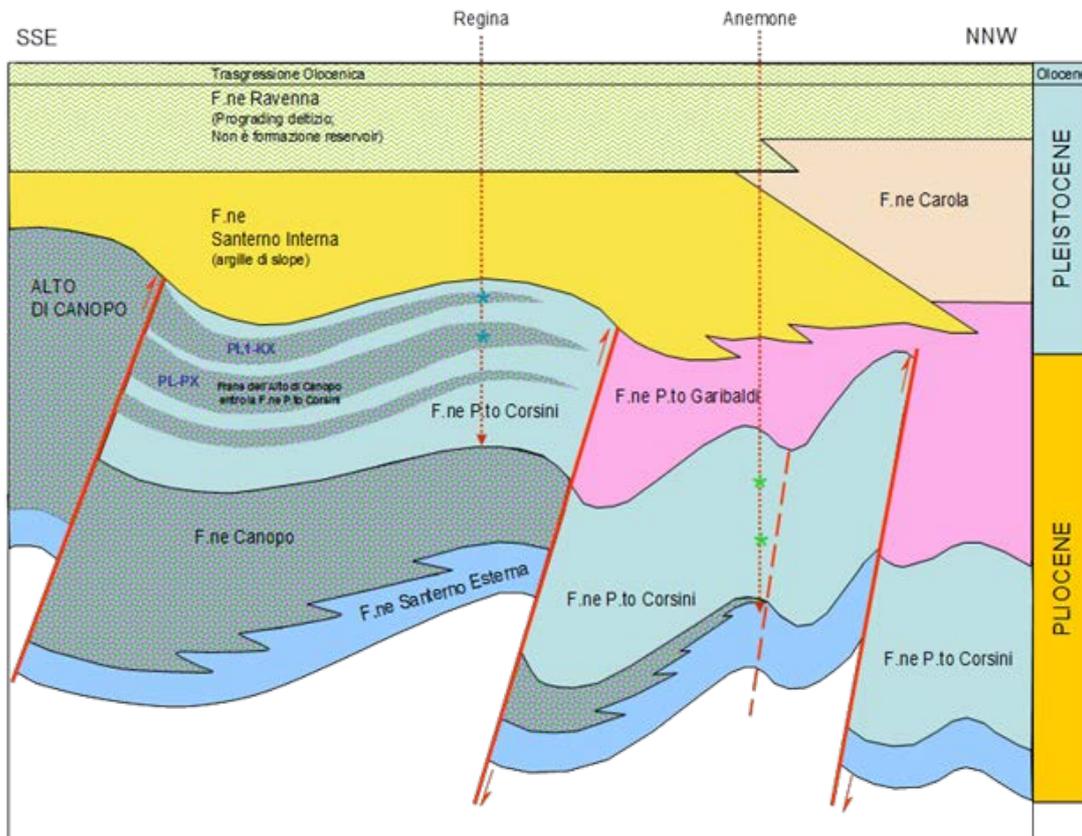


Figura 3 – Schema dei rapporti stratigrafico-strutturali dei campi di Anemone e Regina

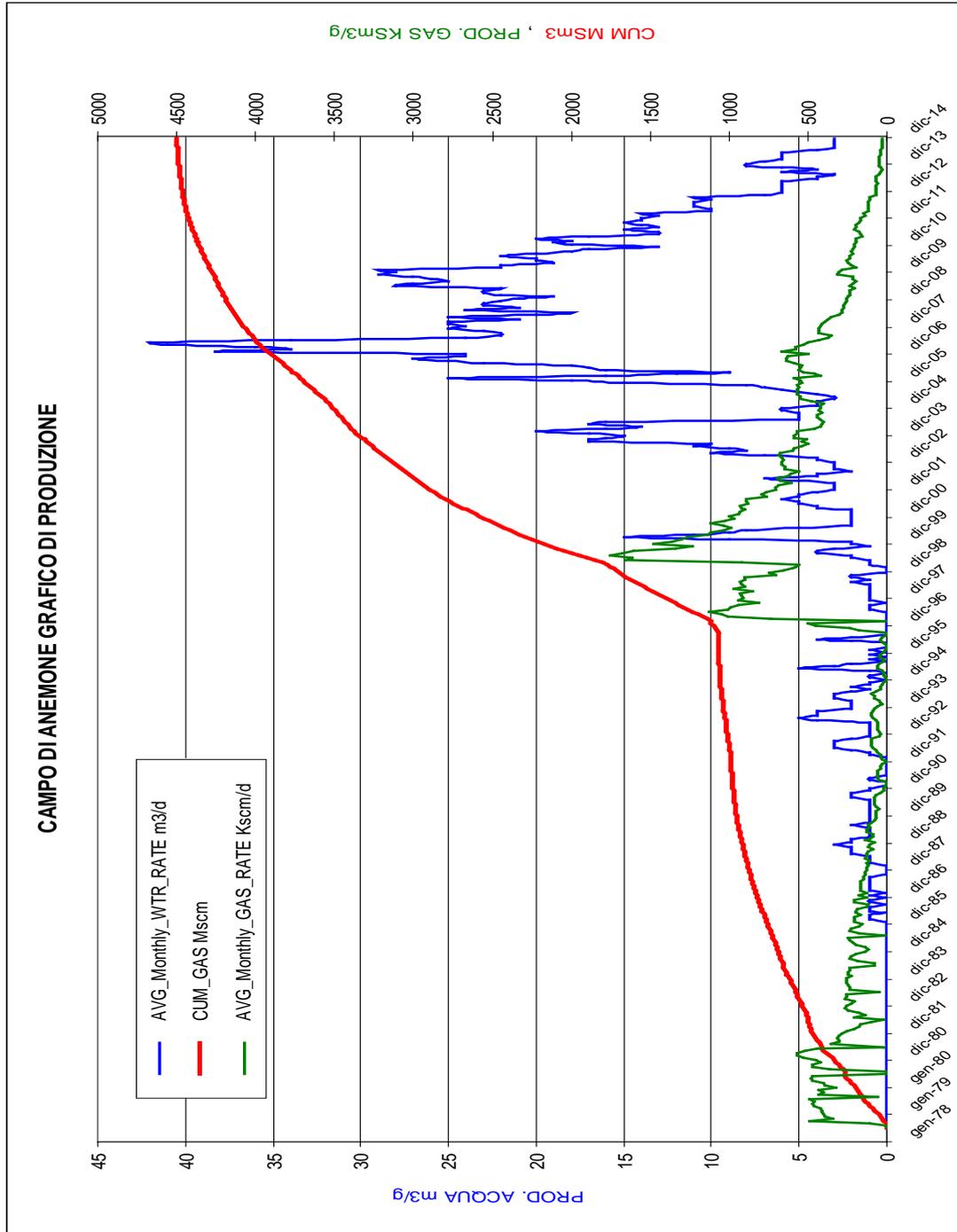


Figura 4 – Campo di Anemone: grafico della produzione storica



CAMPO DI ANEMONE	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 04/2011	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 12/2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 04/2011	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 04/2014	Percentuale Gas Prodotto VS Riserve calcolate da modello 3D 12/2014	Gas.Prodotto reale al 31-12-2014	Gas.Prodotto reale al 31-12-2014
ANNO	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3		(Produzione annua) MSm3	(Cumulativa) MSm3
1978	41	41	41	41	1%	41	41
1979	189	189	148	148	4%	148	189
1980	319	319	130	130	7%	130	319
1981	460	460	142	142	10%	142	460
1982	528	528	68	68	11%	68	528
1983	611	611	83	83	13%	83	611
1984	685	685	74	74	14%	74	685
1985	749	749	64	64	16%	64	749
1986	815	815	66	66	17%	66	815
1987	870	870	56	56	18%	56	870
1988	914	914	44	44	19%	44	914
1989	951	951	37	37	20%	37	951
1990	974	974	23	23	21%	23	974
1991	987	987	13	13	21%	13	987
1992	1010	1010	23	23	21%	23	1010
1993	1036	1036	25	25	22%	25	1036
1994	1055	1055	19	19	22%	19	1055
1995	1066	1066	12	12	23%	12	1066
1996	1084	1084	17	17	23%	17	1084
1997	1375	1375	291	291	29%	291	1375
1998	1696	1696	322	322	36%	322	1696
1999	2129	2129	432	432	45%	432	2129
2000	2550	2550	421	421	54%	421	2550
2001	2872	2872	322	322	61%	322	2872
2002	3109	3109	237	237	66%	237	3109
2003	3328	3328	219	219	70%	219	3328
2004	3498	3498	170	170	74%	170	3498
2005	3686	3686	189	189	78%	189	3686
2006	3889	3889	203	203	82%	203	3889
2007	4065	4065	176	176	86%	176	4065
2008	4184	4184	118	118	88%	118	4184
2009	4269	4269	85	85	90%	85	4269
2010	4356	4356	87	87	92%	87	4356
2011	4438	4422	82	66	94%	66	4422
2012	4512	4464	74	42	94%	42	4464
2013	4591	4485	79	21	95%	21	4485
2014	4693	4496	102	11	95%	14	4499
2015	4755	4513	62	17			
2016	4808	4558	53	45			
2017	4850	4581	42	23			
2018	4884	4595	34	14			
2019	4914	4609	30	14			
2020		4632		23			
2021		4652		20			
2022		4668		16			
2023		4691		23			
2024		4711		20			
2025		4727		16			
2026		4729					
2027				2			

Figura 5 – Campo di Anemone: profili di produzione vs. modelli Eclipse 2011 e 2014

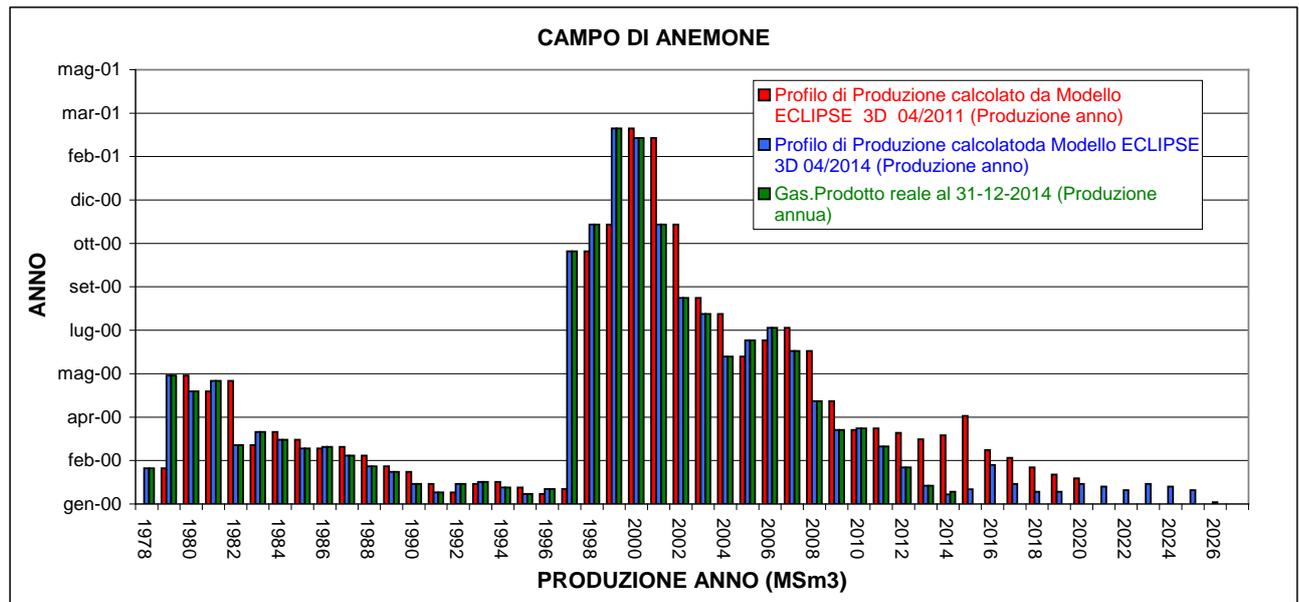
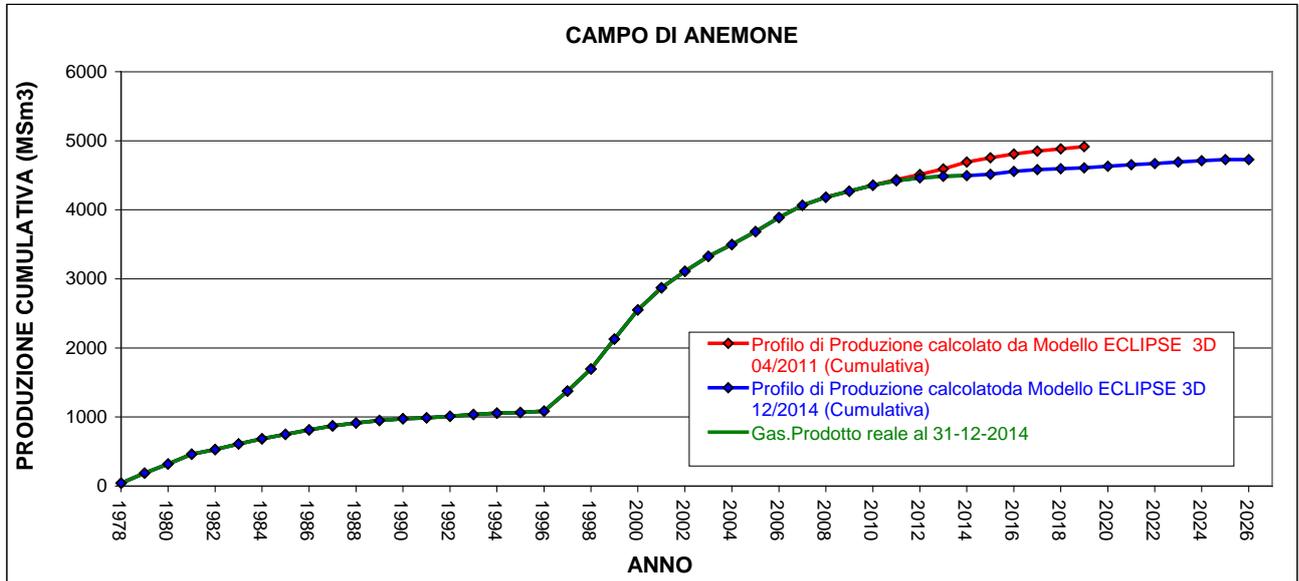


Figura 6 - Campo di Anemone: profili di produzione vs. modelli Eclipse 2011 e 2014



Campo di Anemone - Livelli PL1-KK1							
Produzione cumulativa calcolata da modello 3D ECLIPSE 04/2014 (MSm ³)	SBHP calcolata da modello 3D ECLIPSE 04/2014 (Barse)	SEHP misurata					Data misura
		String 2C (profilo statico) (Barse)	Pozzo 3dirA (RFT) (Barse)	Pozzo 12dirA (RFT) (Barse)	String 9C (profilo statico) (Barse)	String 10C (profilo statico) (Barse)	
0	265	265					01/10/1977
3	266						
12	257						
17	251						
21	246						
23	243						
23	245						
23	247						
23	248						
23	249						
23	256						
23	256						
23	251						
23	252						
23	252						
23	253						
23	253						
23	263						
23	254						
23	254		237				01/10/1996
23	254						
23	255						
23	255						
23	254						
26	254						
33	238						
39	236						
47	194						
85	173				161		01/07/2004
108	152						
154	105						
165	96			154			01/06/2006
174	89						
186	89						
188	91			196			01/09/2008
188	92						
188	94					193	01/10/2009
188	95						
188	97					202	16/11/2010
188	98						
188	101						
188	100					206	25/09/2012
188	100						
188	105					207	01/09/2013
188	106						
188	106					208	01/10/2014
188	108						

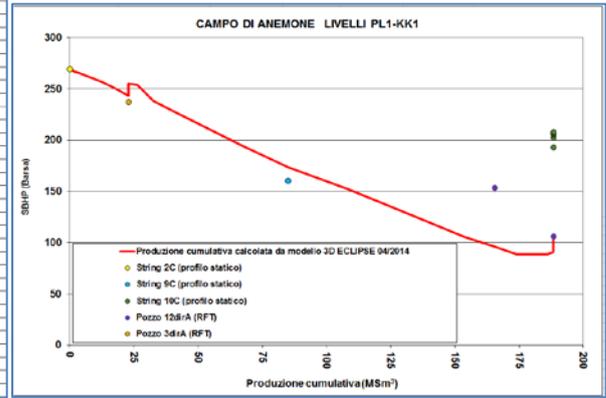


Figura 7 – Campo di Anemone: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2014 (livello PL1-KK1)

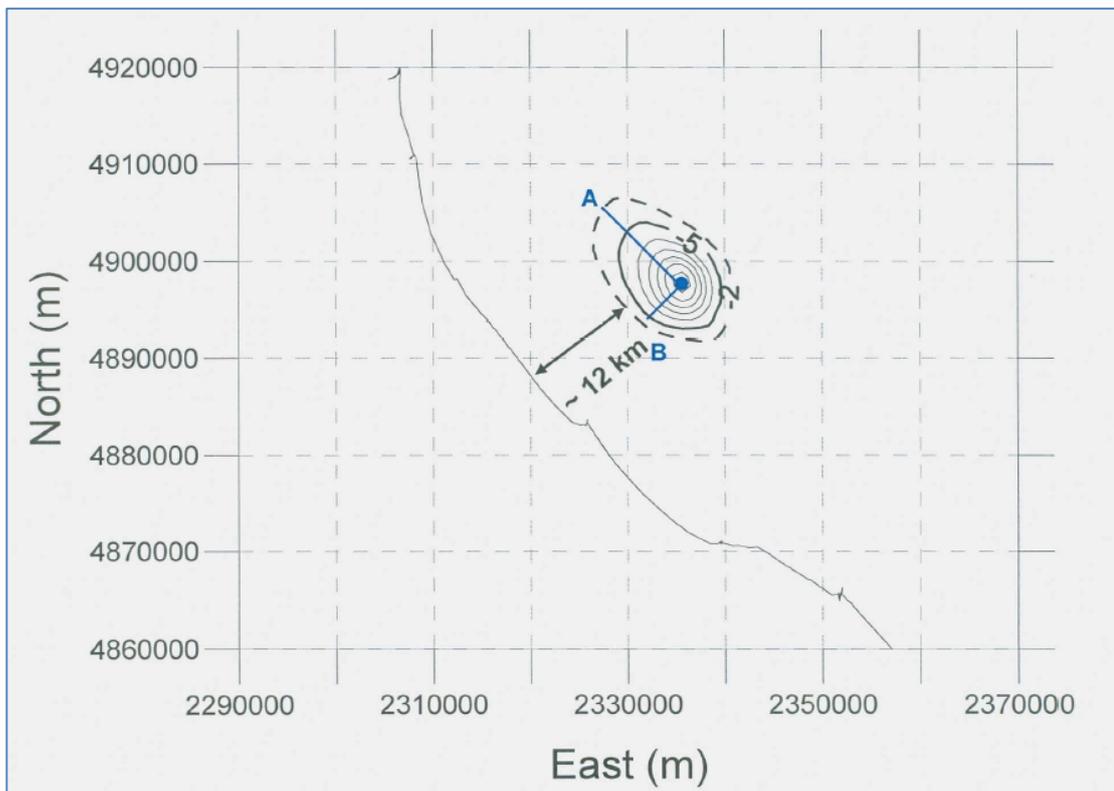


Figura 8 – Campo di Anemone: curve di isosubsidenza a fine produzione (2020)

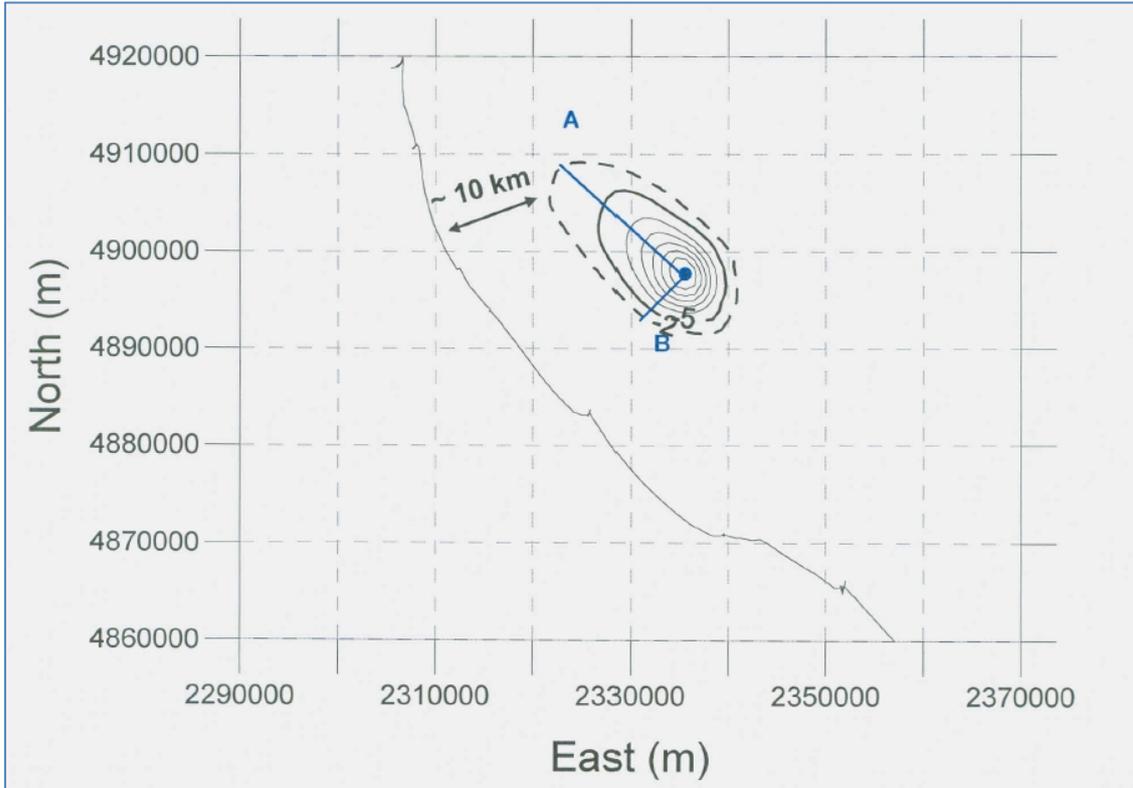


Figura 9 – Campo di Anemone: curve di isosubsidenza a fine simulazione (2052)

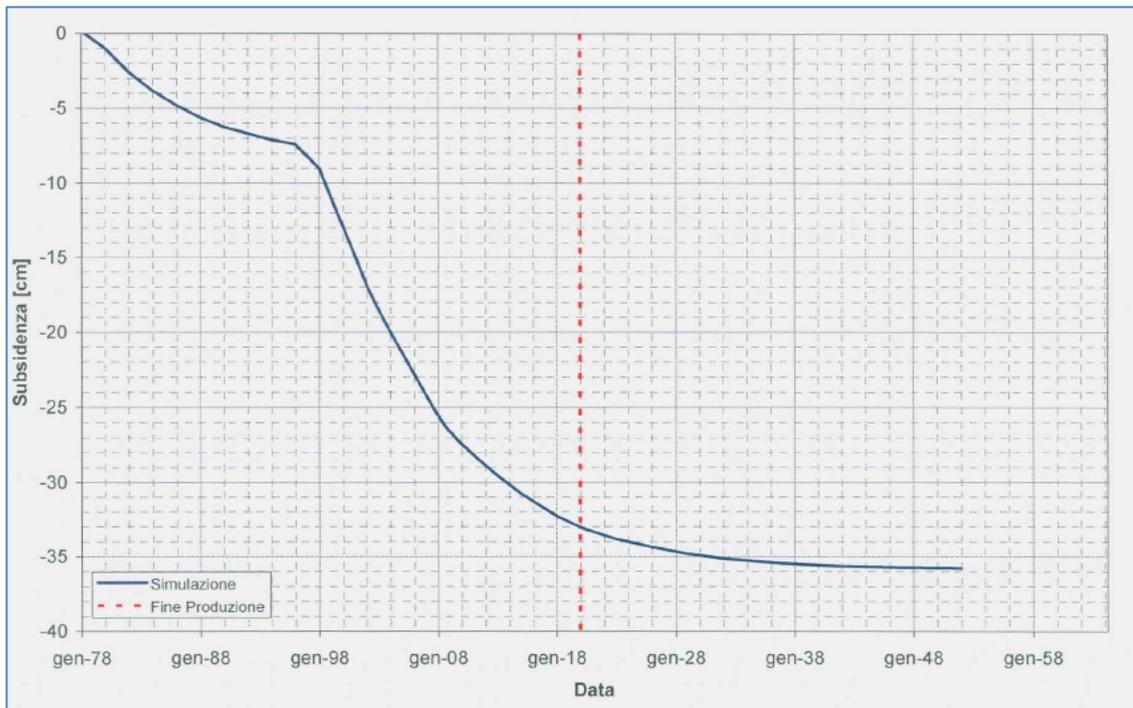


Figura 10 – Campo di Anemone: evoluzione nel tempo del valore di subsidenza nel punto di massimo

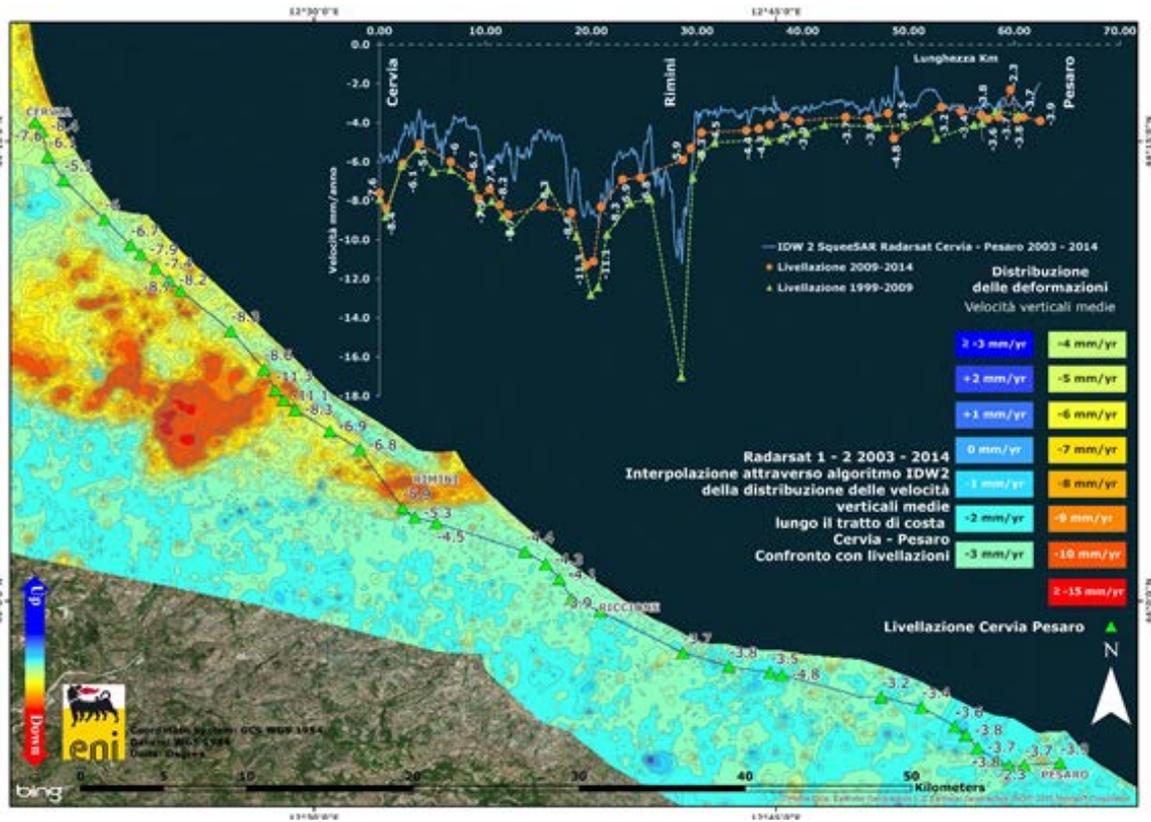
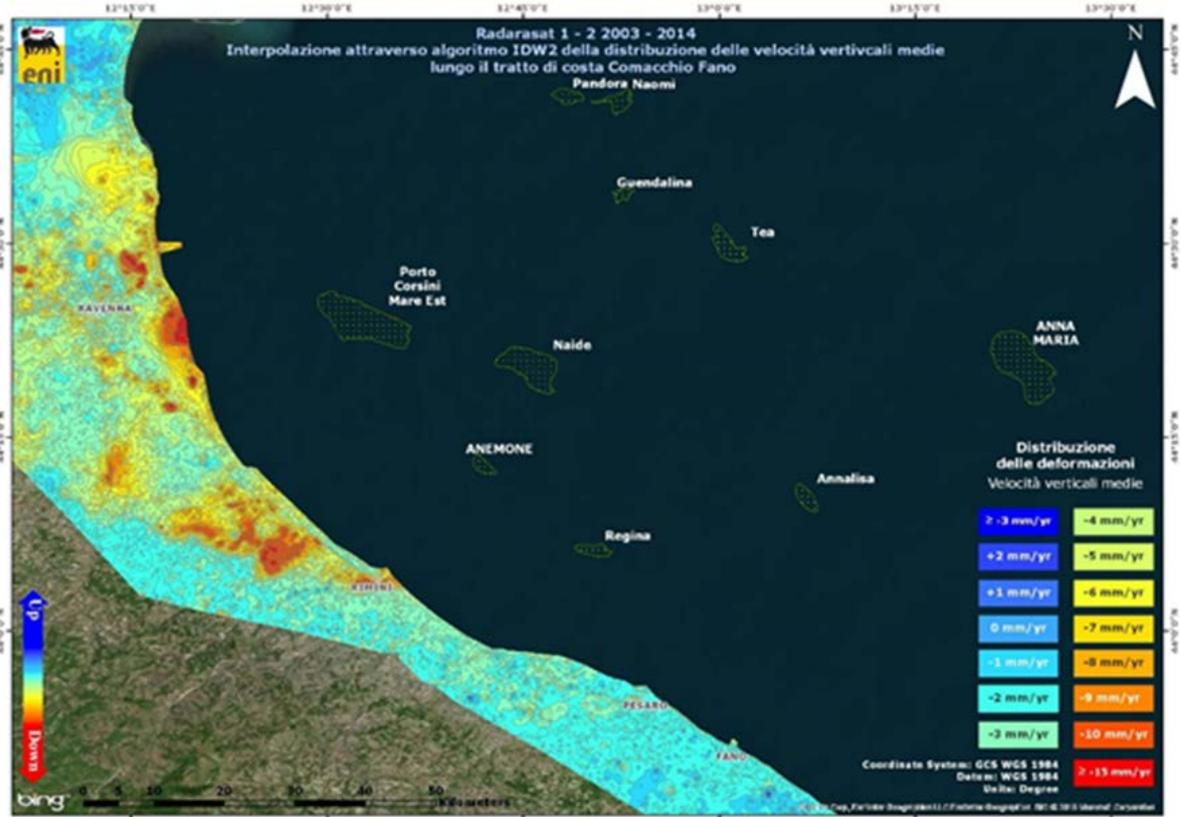


Figura 11 – Campo di Anemone: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2014

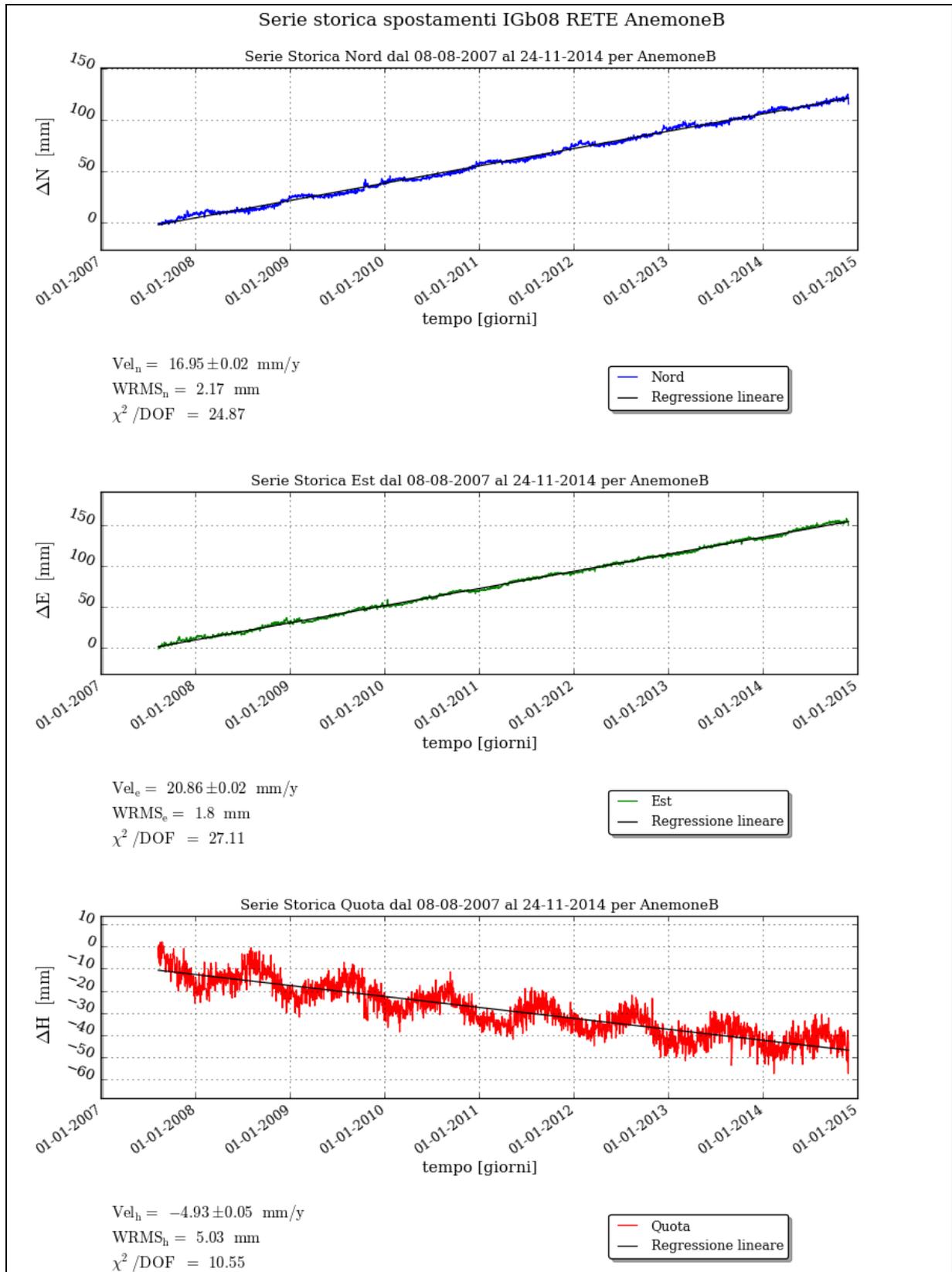


Figura 12 – Campo di Anemone: serie storiche plano-altimetriche CGPS



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

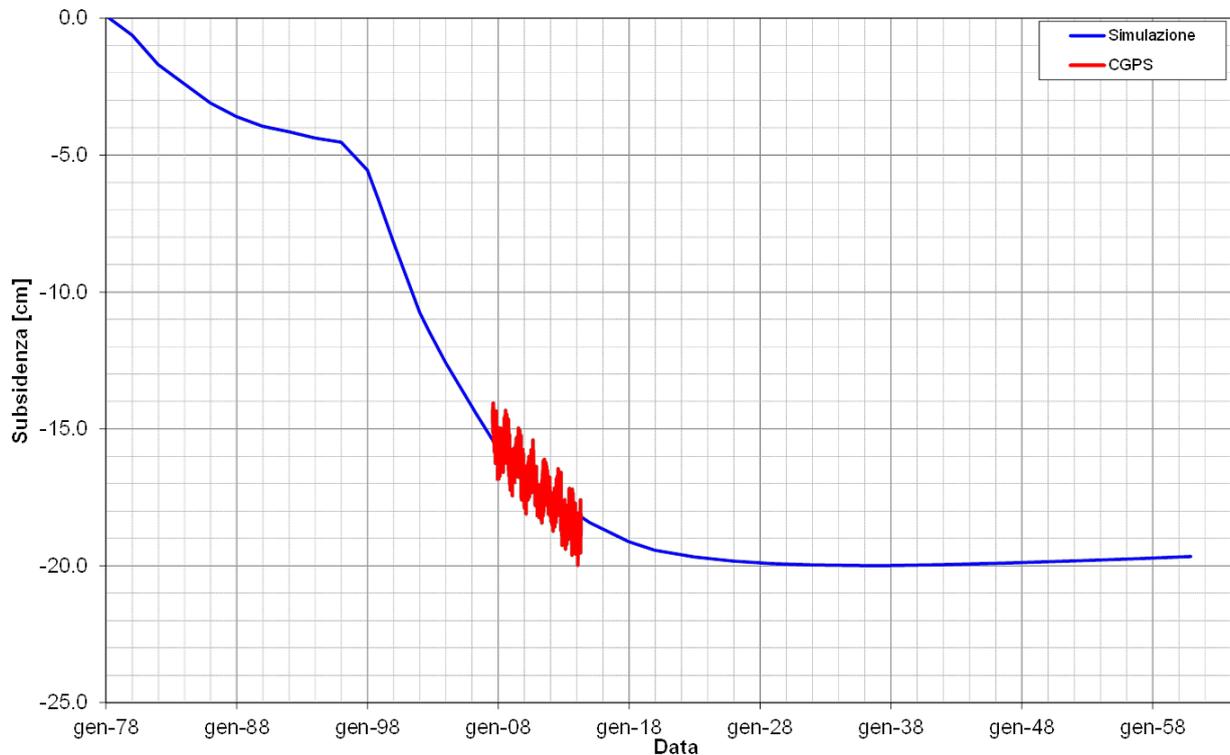


Figura 14 – Campo di Anemone: misure CGPS (agg. 31 dic. 2014) vs. previsioni di subsidenza da modello (in corrispondenza della piattaforma)



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
#	MD	Oct1998	Sept 2002	Apr 2006	Nov 2007	Sept 2008	Nov 2009	Nov 2010	Dec 2011	Oct 2012	Aug 2013
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
16	2473	-2	3	0	-3	2	1	2	-4	-2	2
15	2484	-6	3	1	-1	2	2	-3	0	1	2
14	2495	-6	2	2	0	2	1	-1	-1	-1	1
13	2505.5	-3	0	4	-5	2	0	0	0	2	-1
12	2516	-11	7	-3	-3	2	2	-1	1	-1	0
11	2527	-2	-1	1	3	-3	1	0	-2	-5	2
10	2559	-8	0	2	-1	-1	1	1	0	0	0
9	2569.5	-10	3	1	-1	1	-1	3	-2	-1	1
8	2634	-7	-3	-3	-5	2	0	0	-1	-1	-1
7	2644	-5	-8	-4	-1	-2	-1	3	-1	-1	1
6	2655	-4	-6	-2	-2	2	-3	4	-4	-3	2
5	2761.5	-175	3	-1	3	0	0	3	1	-4	2
4	2772	161	8	4	0	0	0	0	1	2	3
3	2783	-5	2	3	-4	2	1	3	-4	-1	2
2	2793.5	-3	-4	5	-4	1	-5	5	1	-1	-3
1	2943	-6	-3	6	-1	-1	-2	3	0	-3	2

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

campo ANEMONE II ^a 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		
LITOLOGIA	sabbie fini	SIA	
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Corsini	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD.STATICO E DINAMICO MONOCELLA "GIU 95"
ZONA MINERARIA	PL1 - PL	RISERVE (MSm3)	7142
PROFONDITA' RESERVOIR	2100 - 3570 (TVDS)	MOD. GEOMECCANICO	NON RICHiesto
TIPO DI PIATTAFORMA (An. B)	BEAF	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	#
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	campo compartimentato da faglie	MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	#
	D.M @ mar'98 @ 31 dic 2014	STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	A.C8.ME	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	05/11/2015	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014.	
N. POZZI	6	I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2011) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)	6077	IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI	
START UP PRODUZIONE (set-78 campo)	mag '99-An.B	MARKERS	
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2023	MARKERS SU ANEMONE 6D: ULTIMO SURVEY @ nov. 2014	
GAS PRODOTTO (MSm3)	4499	Survey eseguiti: ott 1998 (rilievo base), sett. 2002, apr. 2006, nov. 2007, sett. 2008, ott.2009, nov. 2010, dic. 2011, ott. 2012, ago 2	
% RISERVE PRODOTTE	95%	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	
		SAR	
		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 ANEMONE B NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	

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



Figura 17 - 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

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 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 quelli 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.

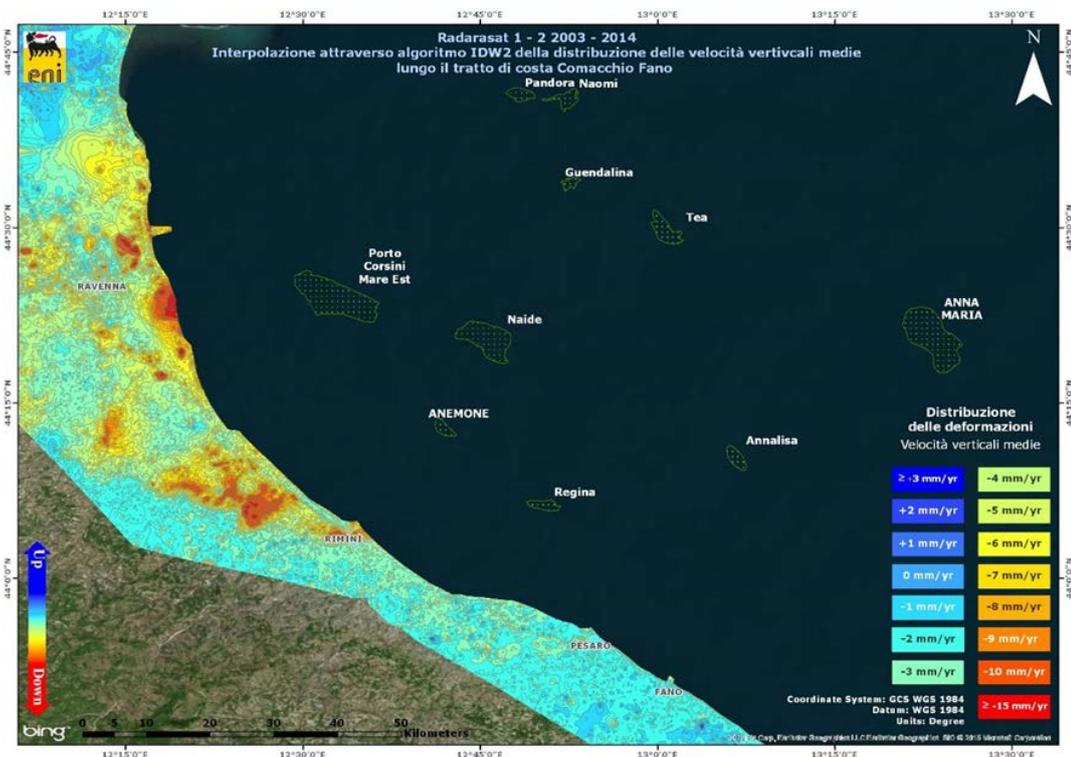


Fig. 2A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

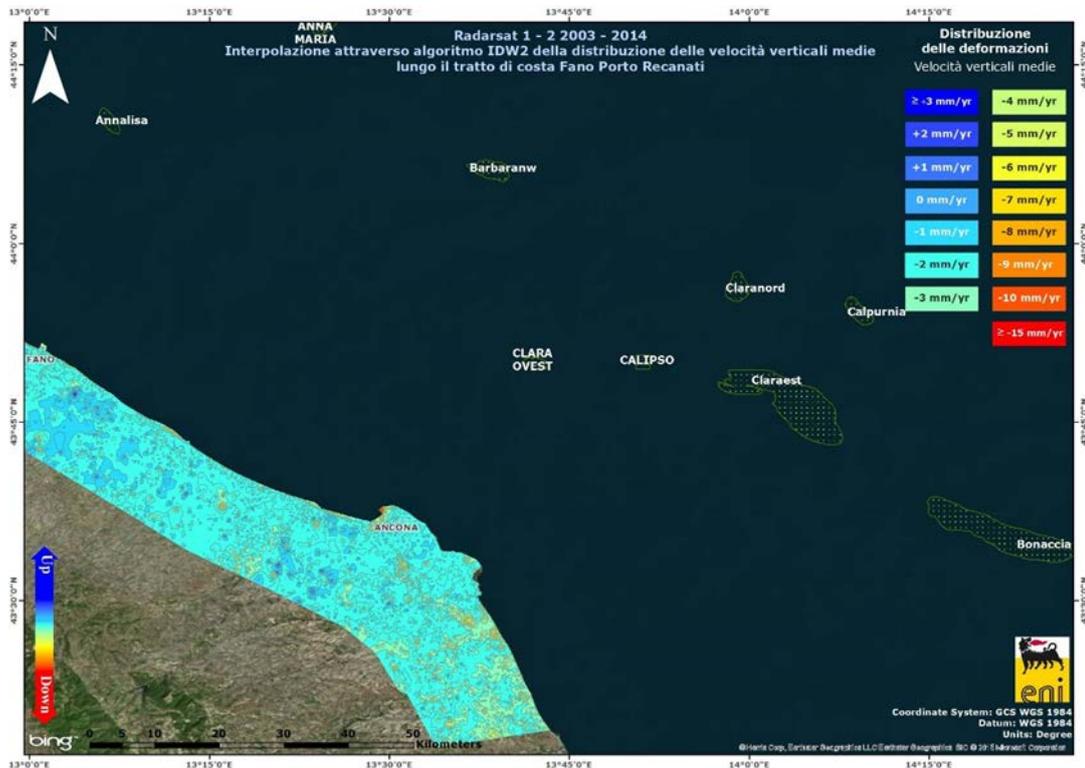


Fig. 3A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

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, 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.

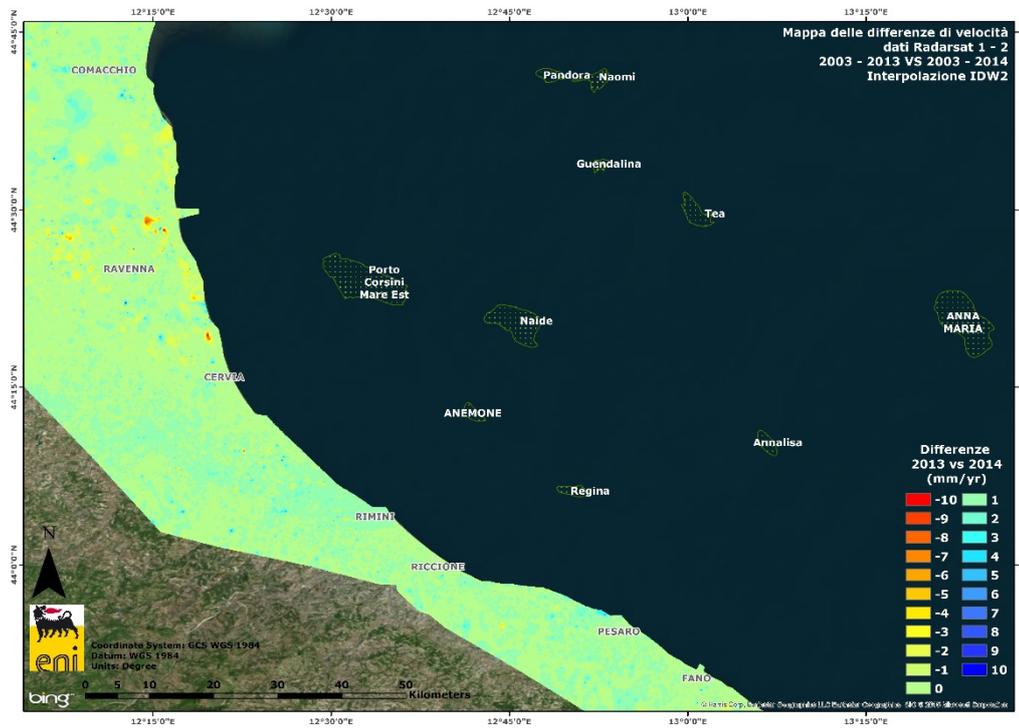


Fig. 4A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

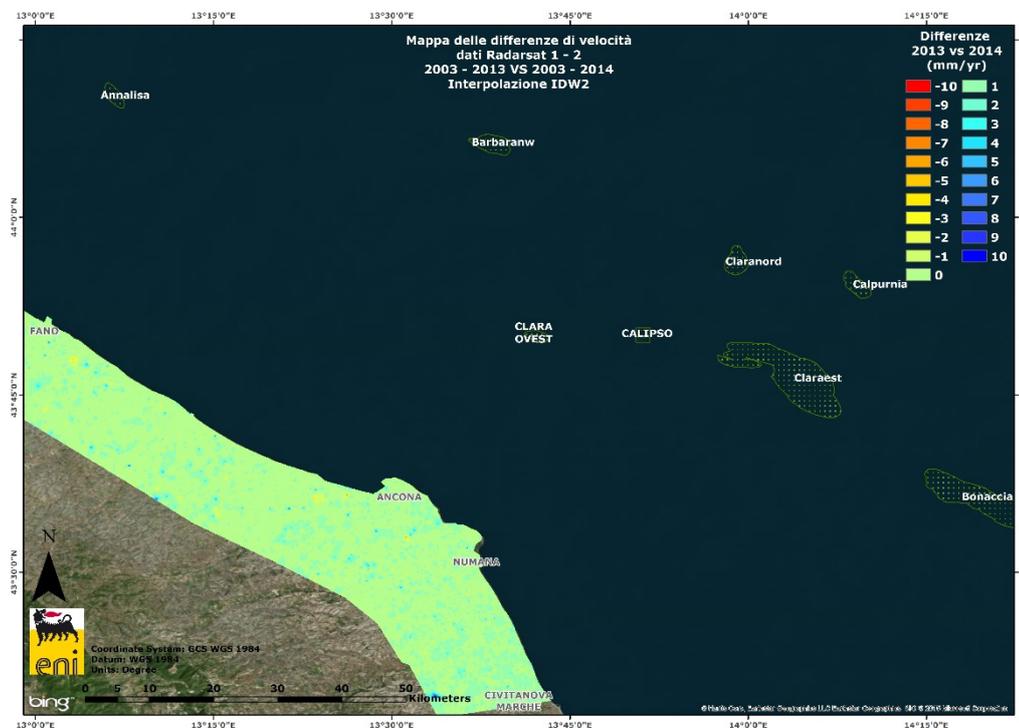


Fig. 5A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS



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. 8A) 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.

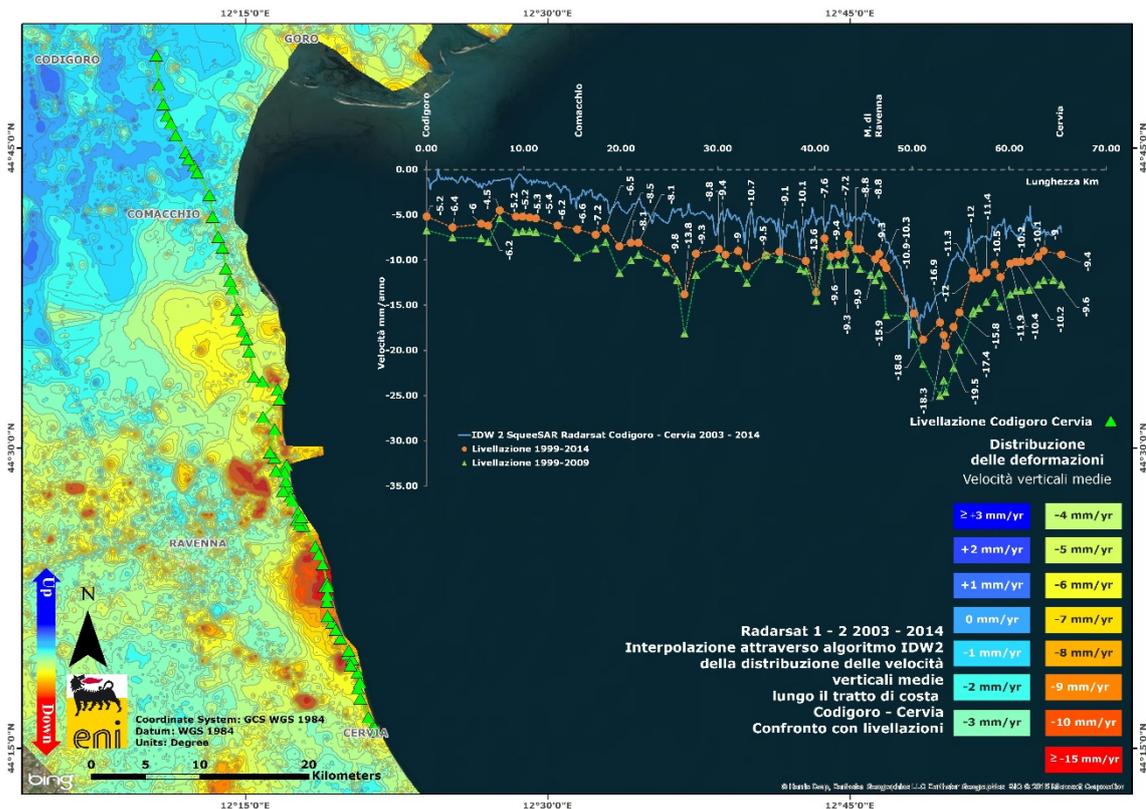


Fig. 6A – Tratto Codigoro – Cervia: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014e le campagne di livellazione 1999-2009 e 1999-2014

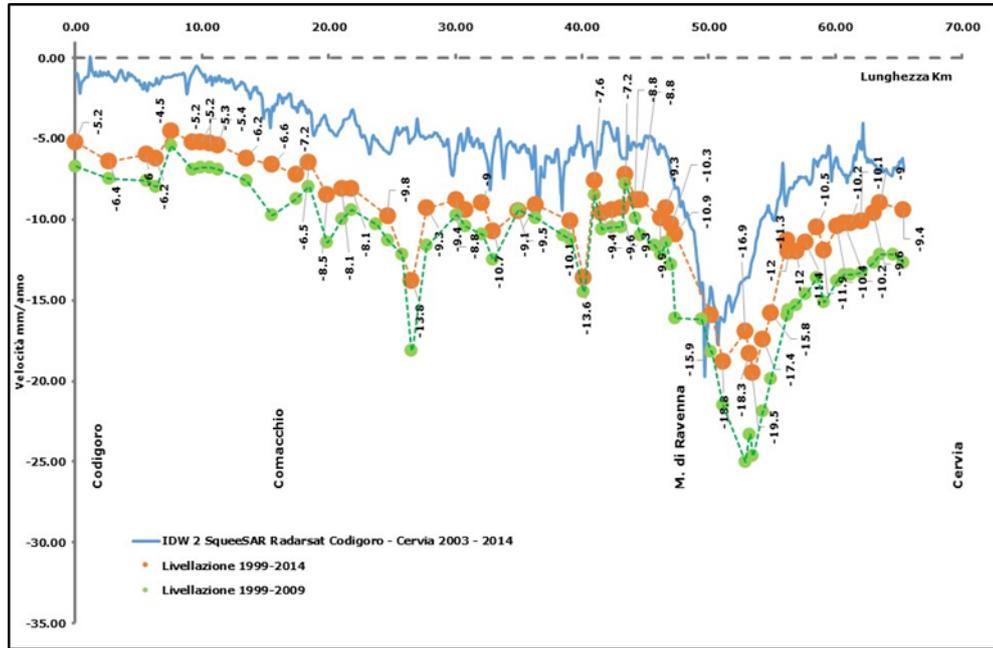


Fig. 7A – Tratto Codigoro – Cervia: dettaglio del grafico di confronto (Fig. 6A) tra il database Radarsat 1-2 (1999-2014) e le campagne di livellazione (1999-2014).
Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

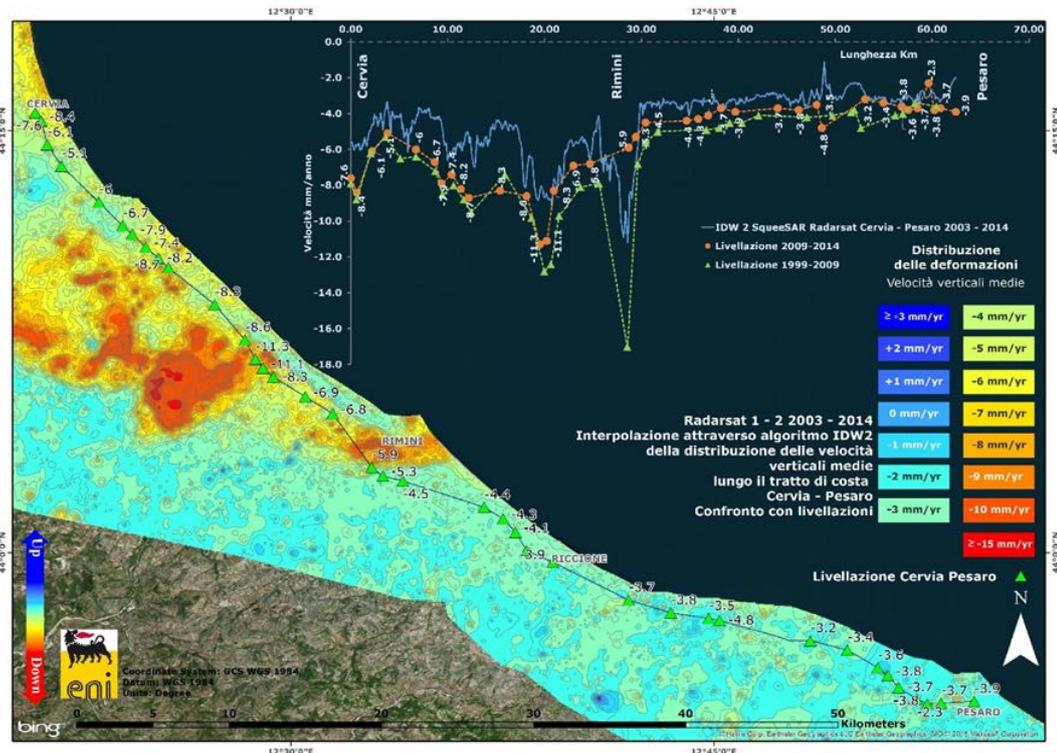


Fig. 8A – Tratto Cervia-Pesaro: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014

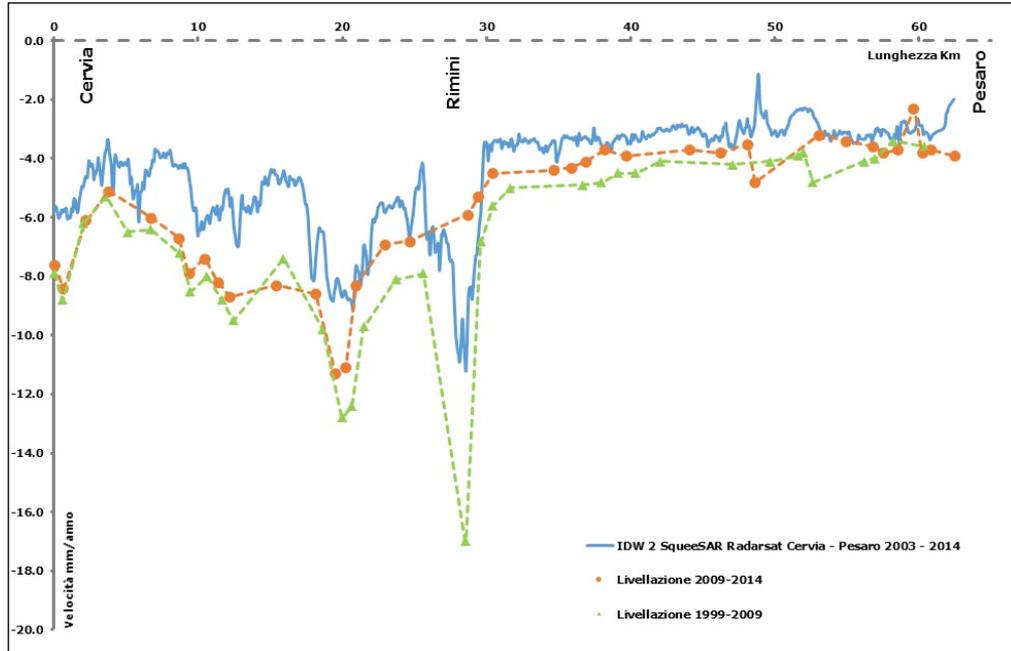


Fig. 9A – Tratto Cervia – Pesaro: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014. In corrispondenza di Rimini, si nota un abbassamento registrato dal SAR e dalle livellazioni del periodo 1999-2009, che, però, non compare nelle livellazioni del periodo 2009-2014. Tale anomalia è da attribuirsi alla perdita del caposaldo 00305400

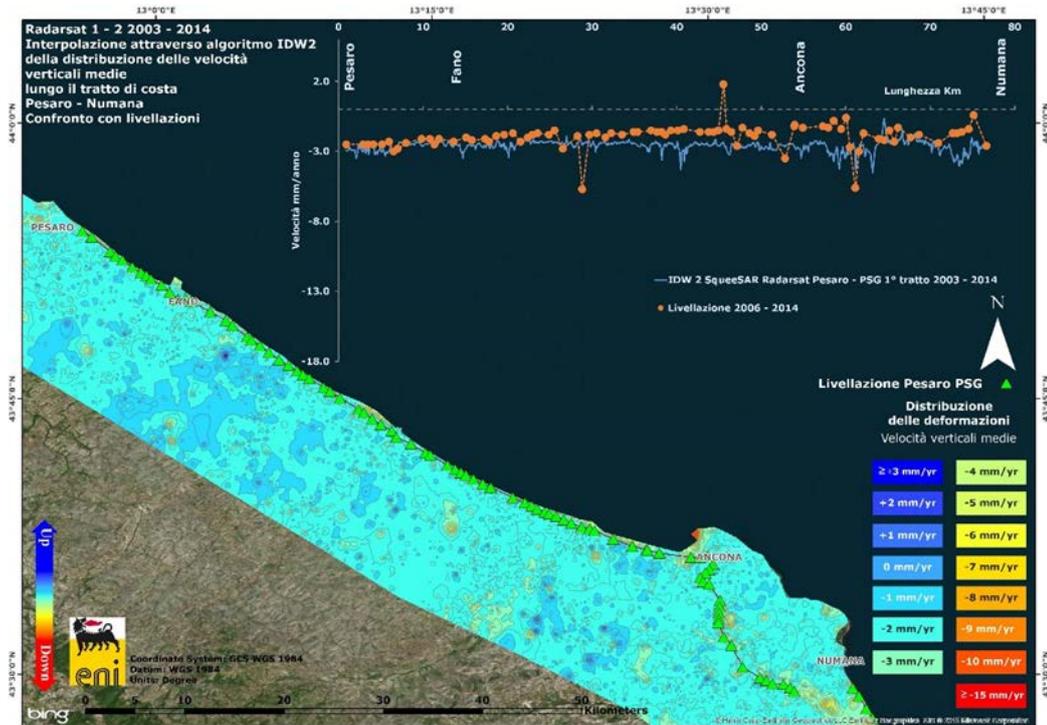


Fig. 10A – Tratto Pesaro – Numana: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

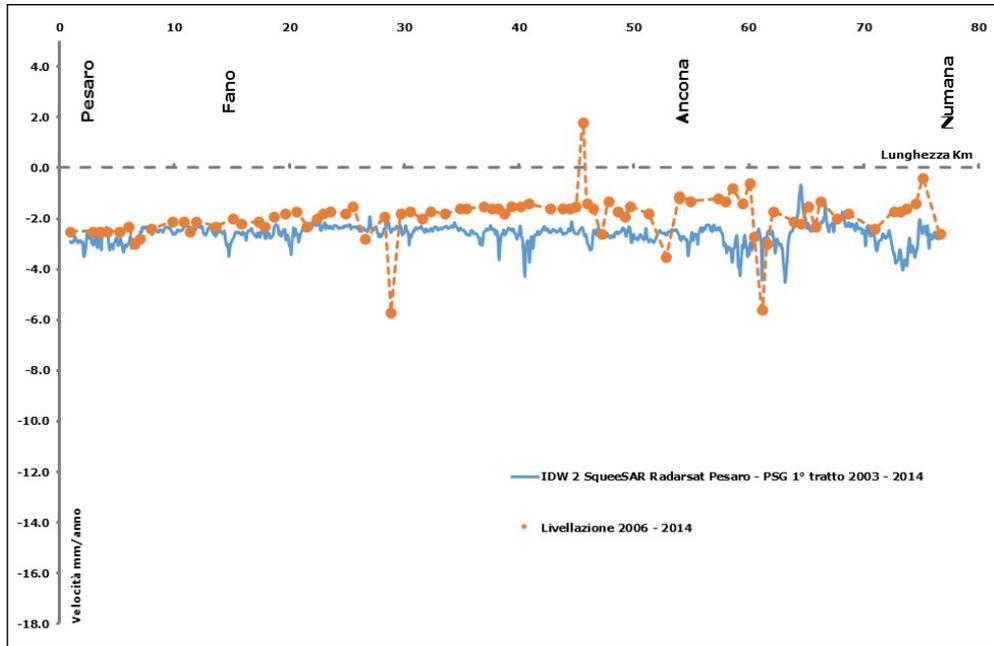


Fig. 11A – Tratto Pesaro – Numana: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

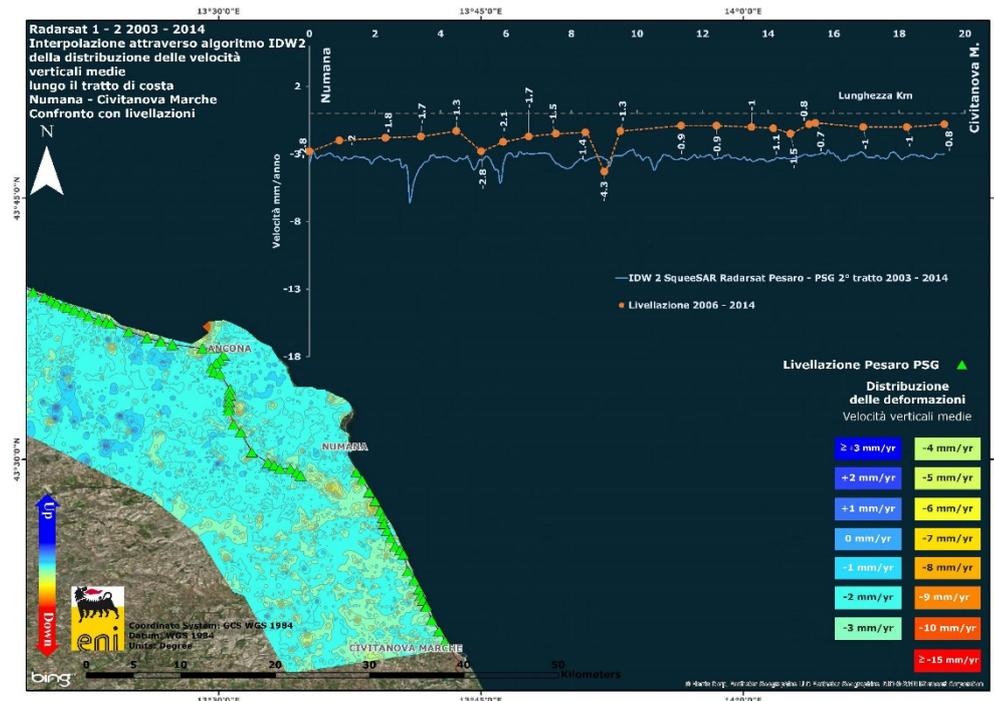


Fig. 12A – Tratto Numana – Civitanova Marche: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

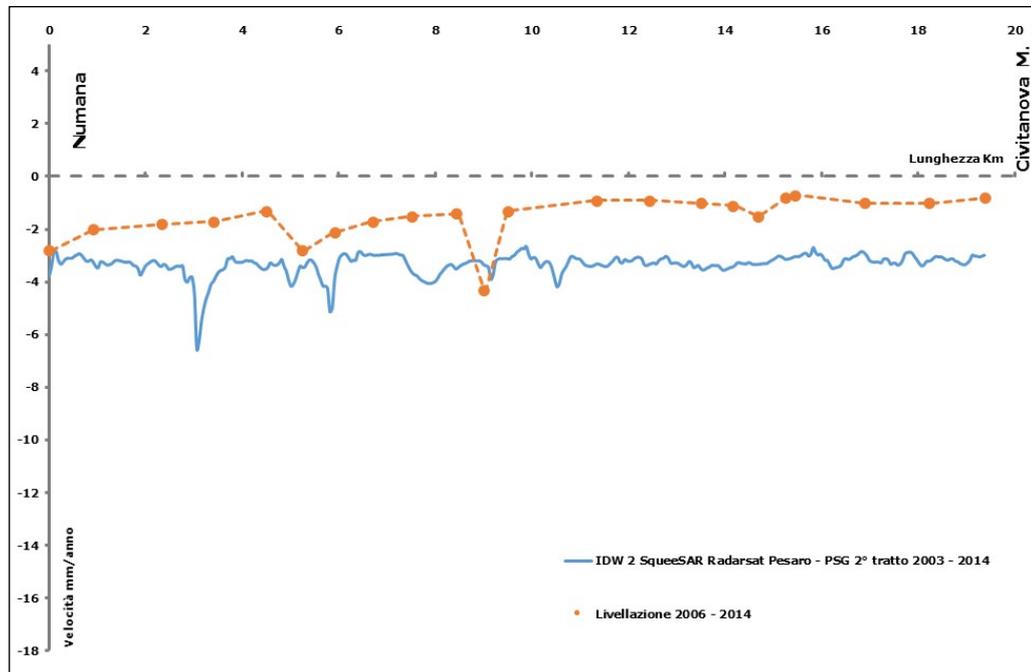


Fig. 13A – Tratto Numana – Civitanova Marche: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radar-sat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si notano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

Appendice 2: Stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Cervia ed 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.

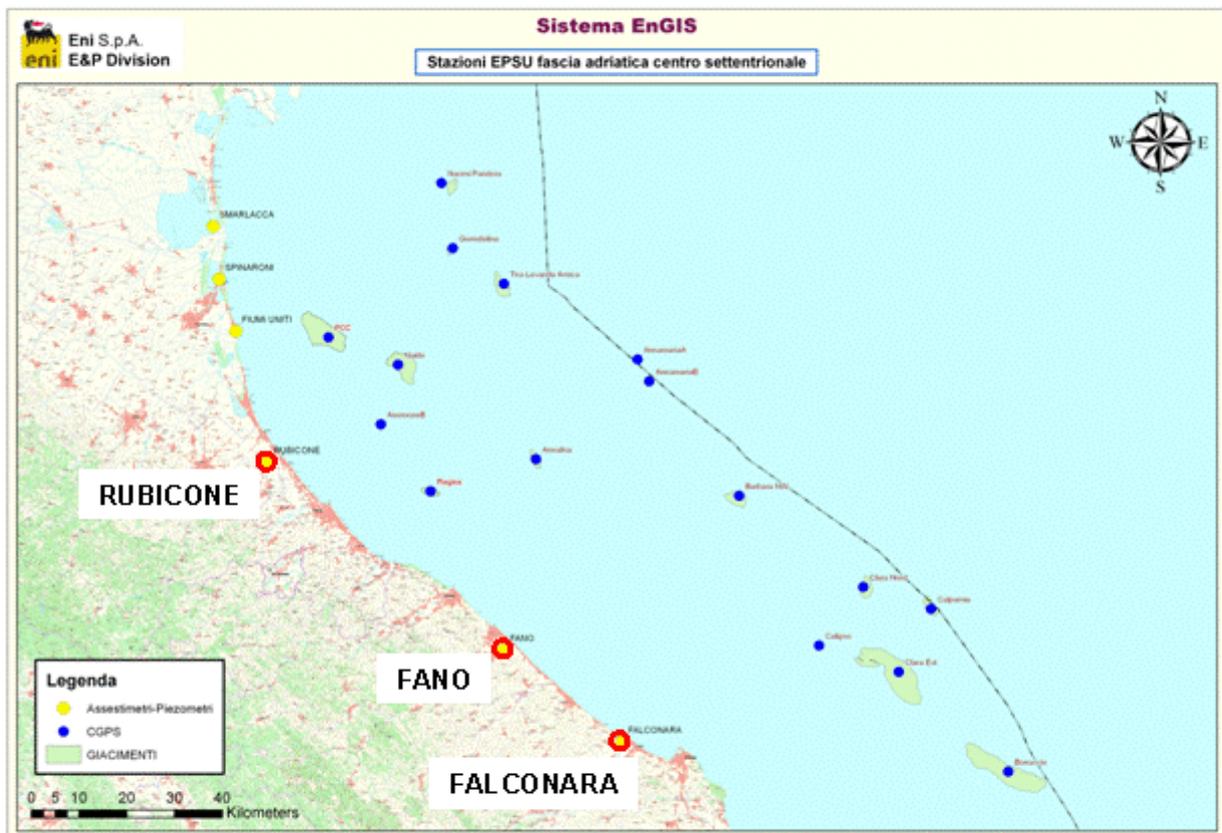


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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.

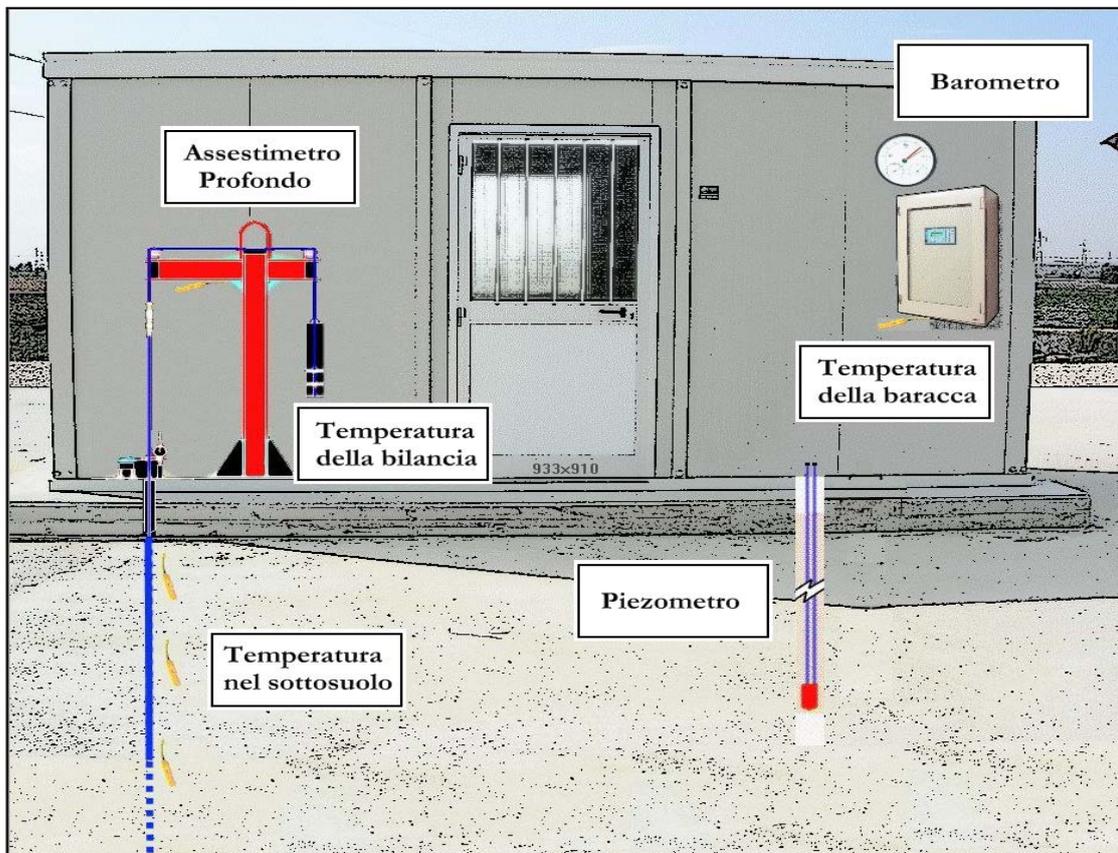


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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).

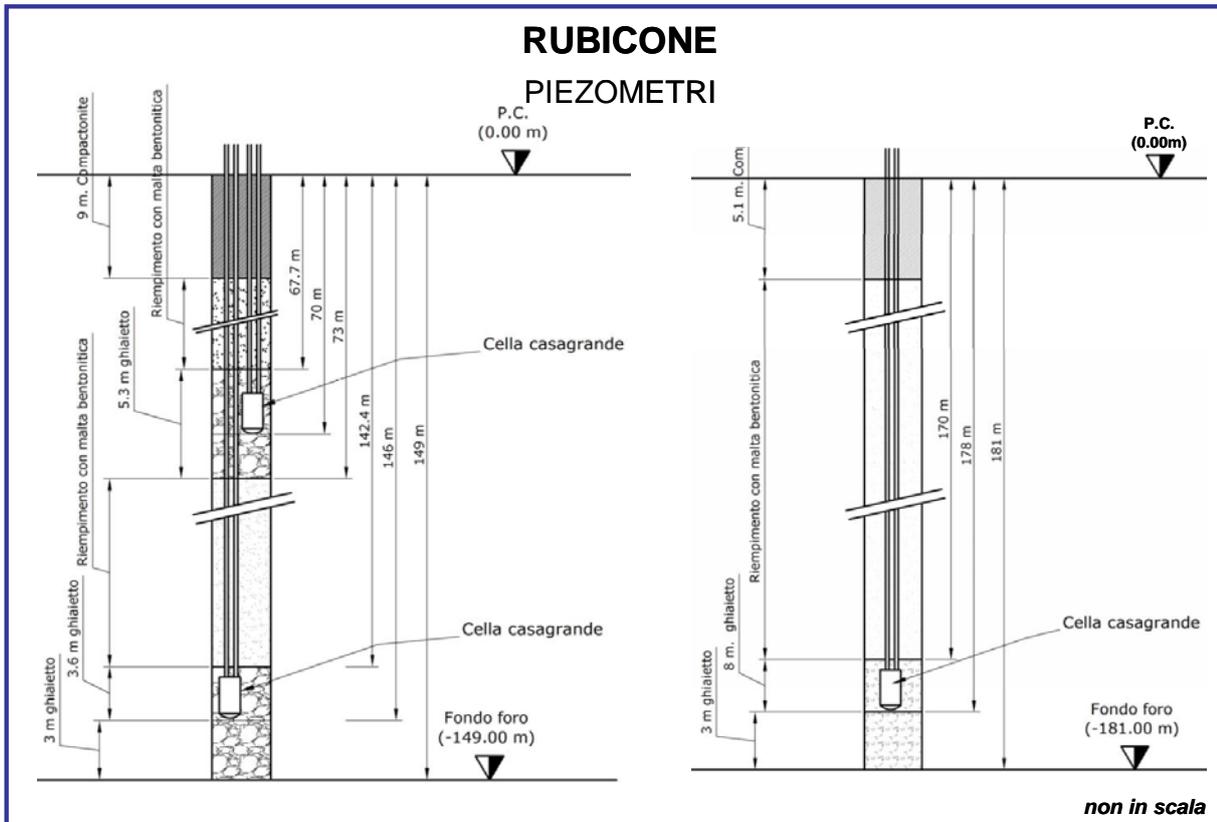
Analisi dei dati piezometrici

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.

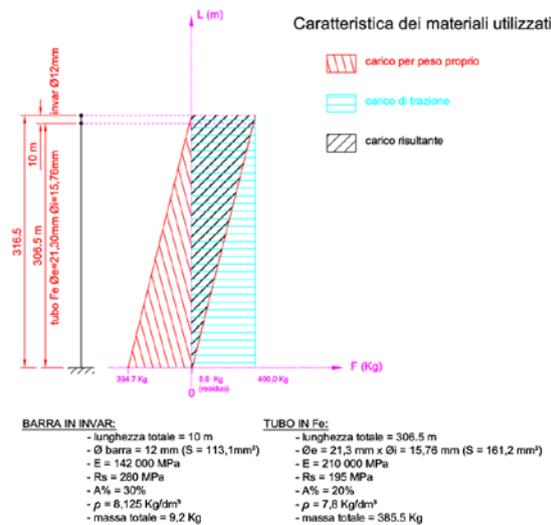
Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento.

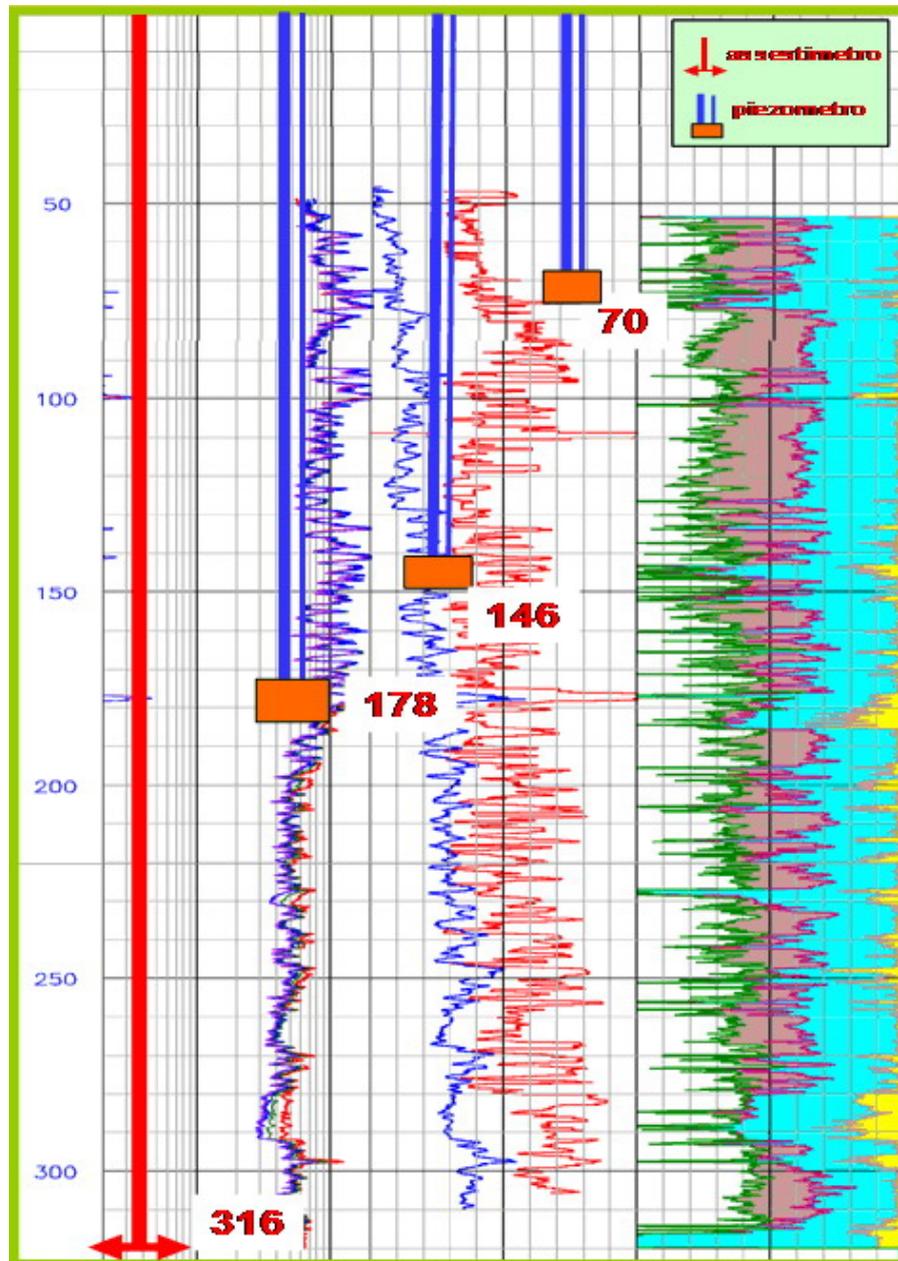
Un nuovo intervento di spurgo è stato fatto a fine settembre 2014, controllando accuratamente piezometri e trasduttori. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata verificata effettuando alcune misure manuali con freatometro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche,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



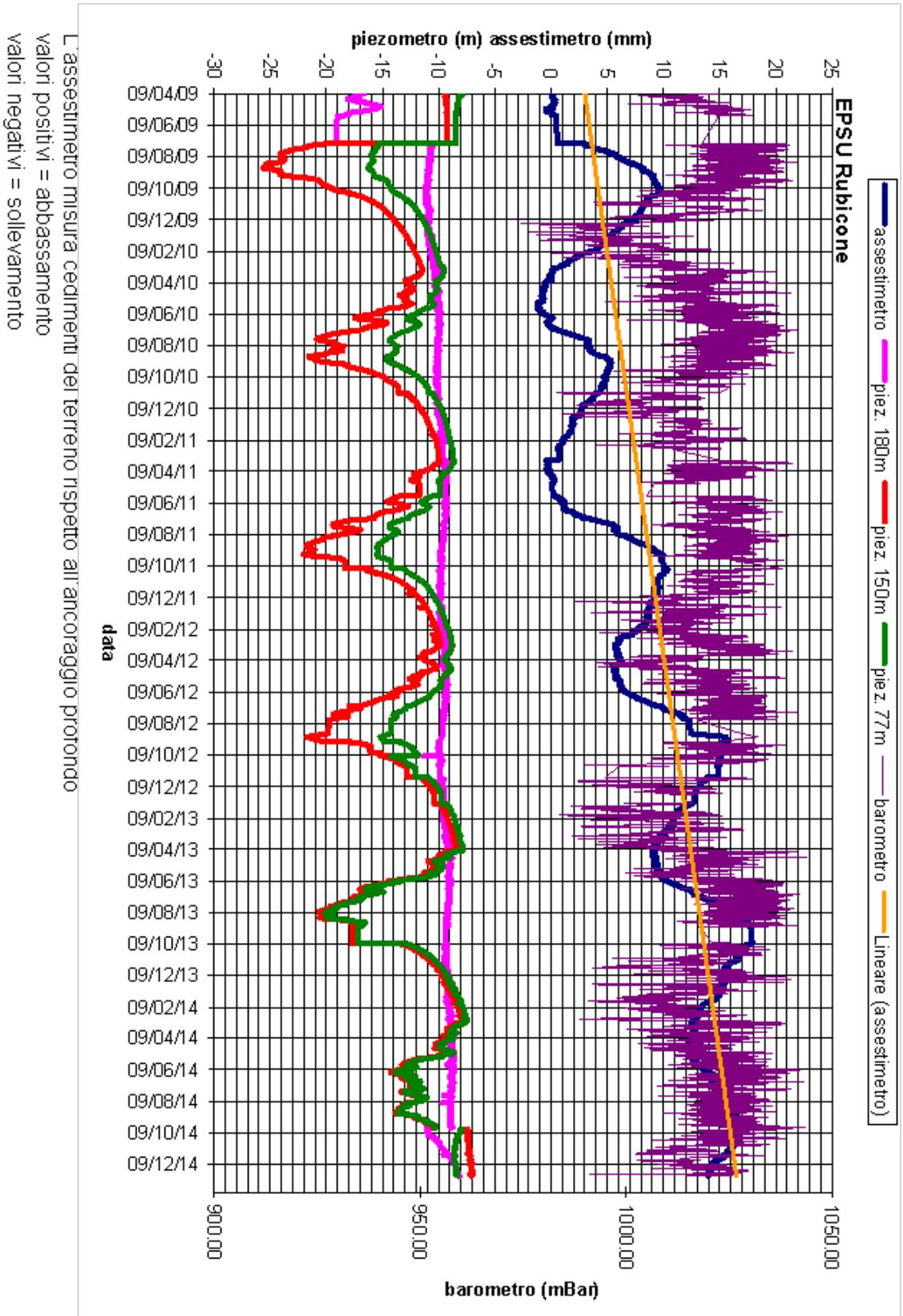
RUBICONE ASSESTIMETRO

- 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.



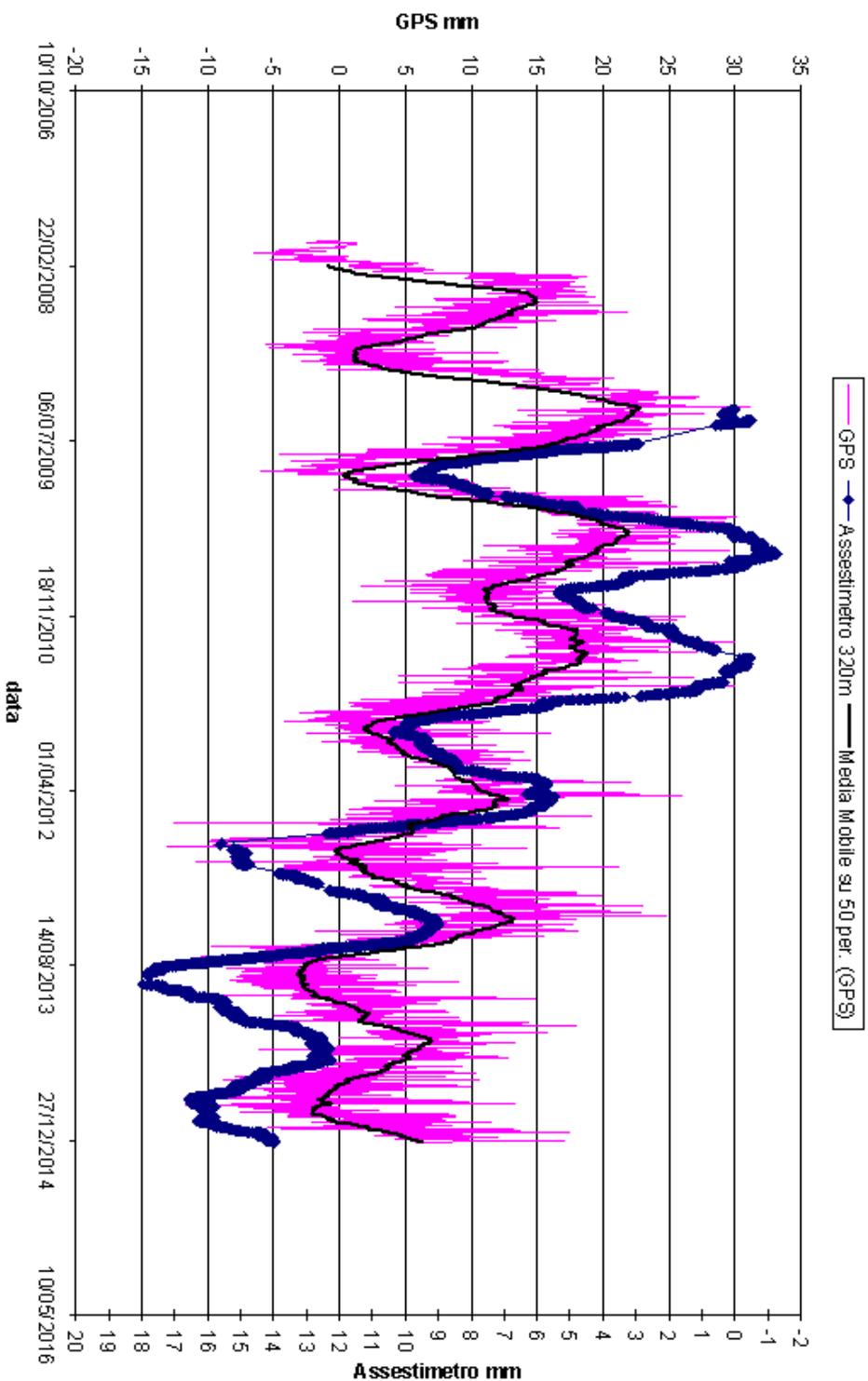


Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.





RUBICONE - Confronto GPS ed 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 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 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; compattazione 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 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 già 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 indi-



cano sollevamenti del terreno e viceversa).

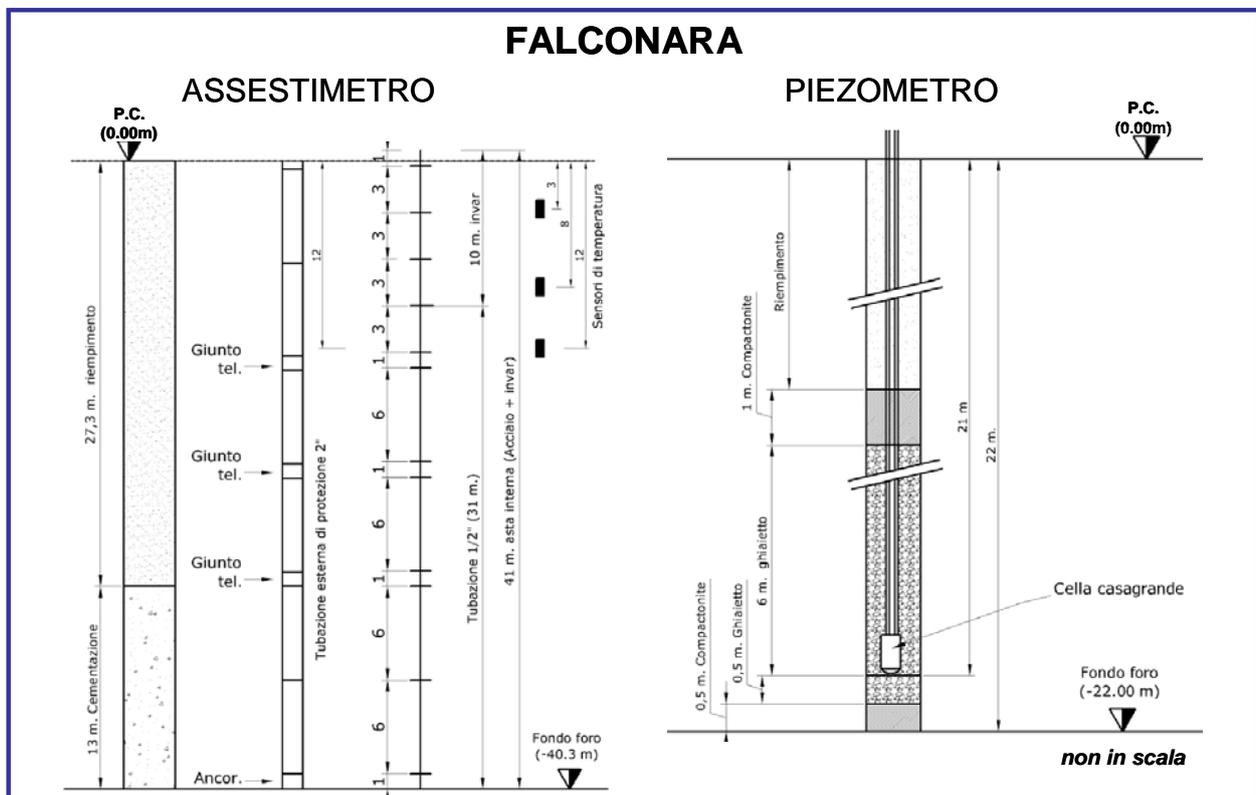
Analisi dei dati piezometrici

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.

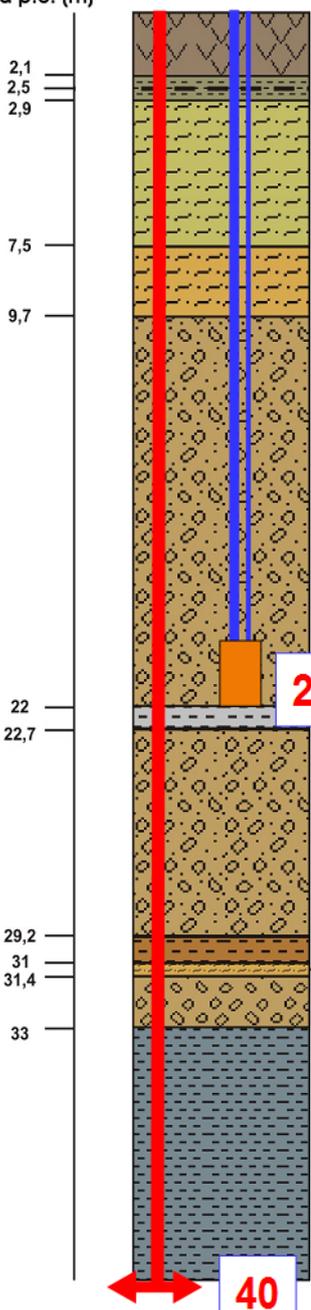
Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Nel dicembre del 2014 si è fatta la manutenzione dei piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un 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.





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.

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

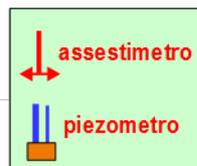
Ghiaia medio-fine con sabbia medio-grossa limosa marrone chiaro. I granuli sono appiattiti e ben classati, raggiungono $d_{max} = 2,3$ cm, composizione prevalentemente calcarea.

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

Limo con sabbia marrone chiaro.

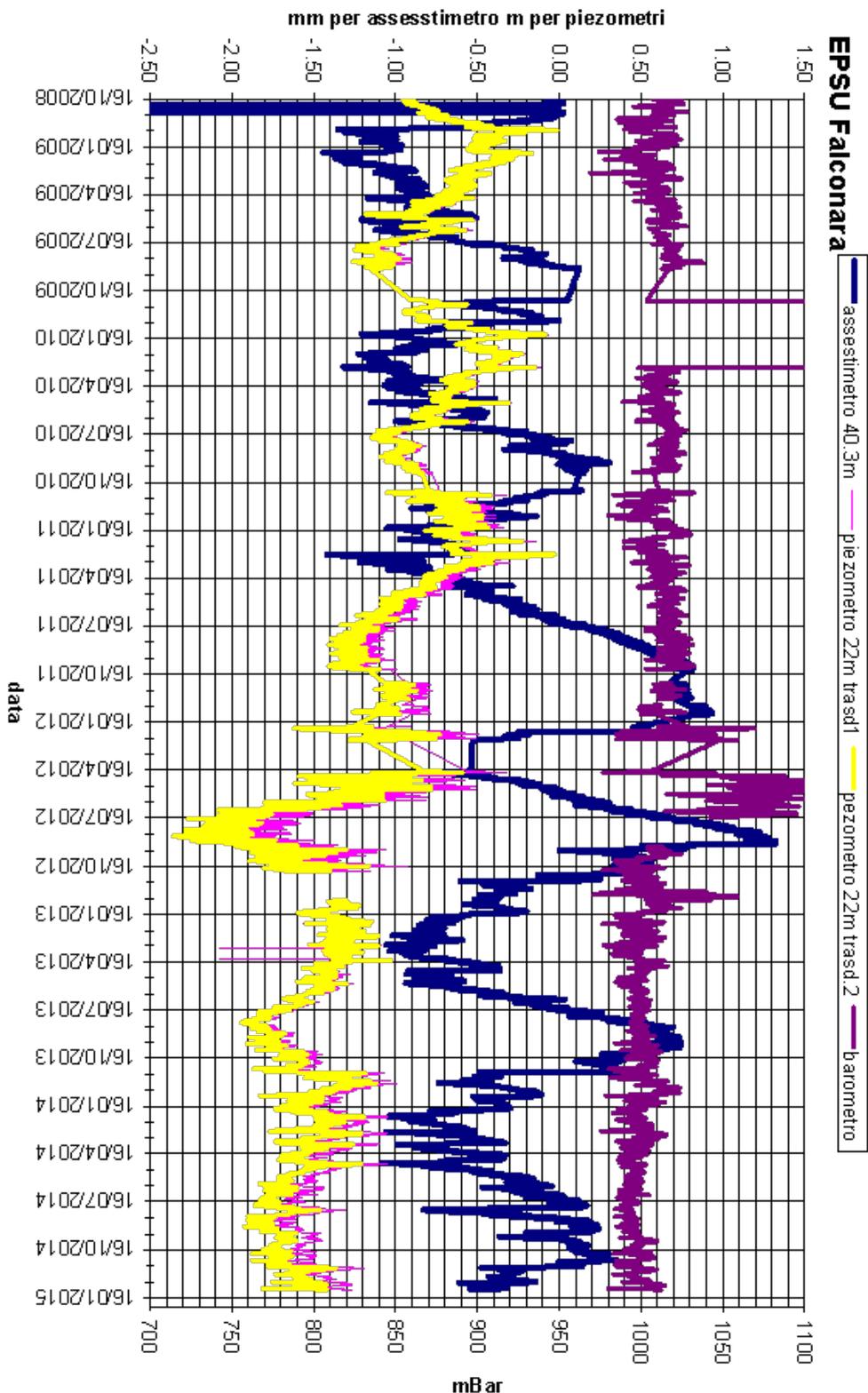
Ghiaia limosa eterometrica ed eterogena. Granuli appiattiti e arrotondati.

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



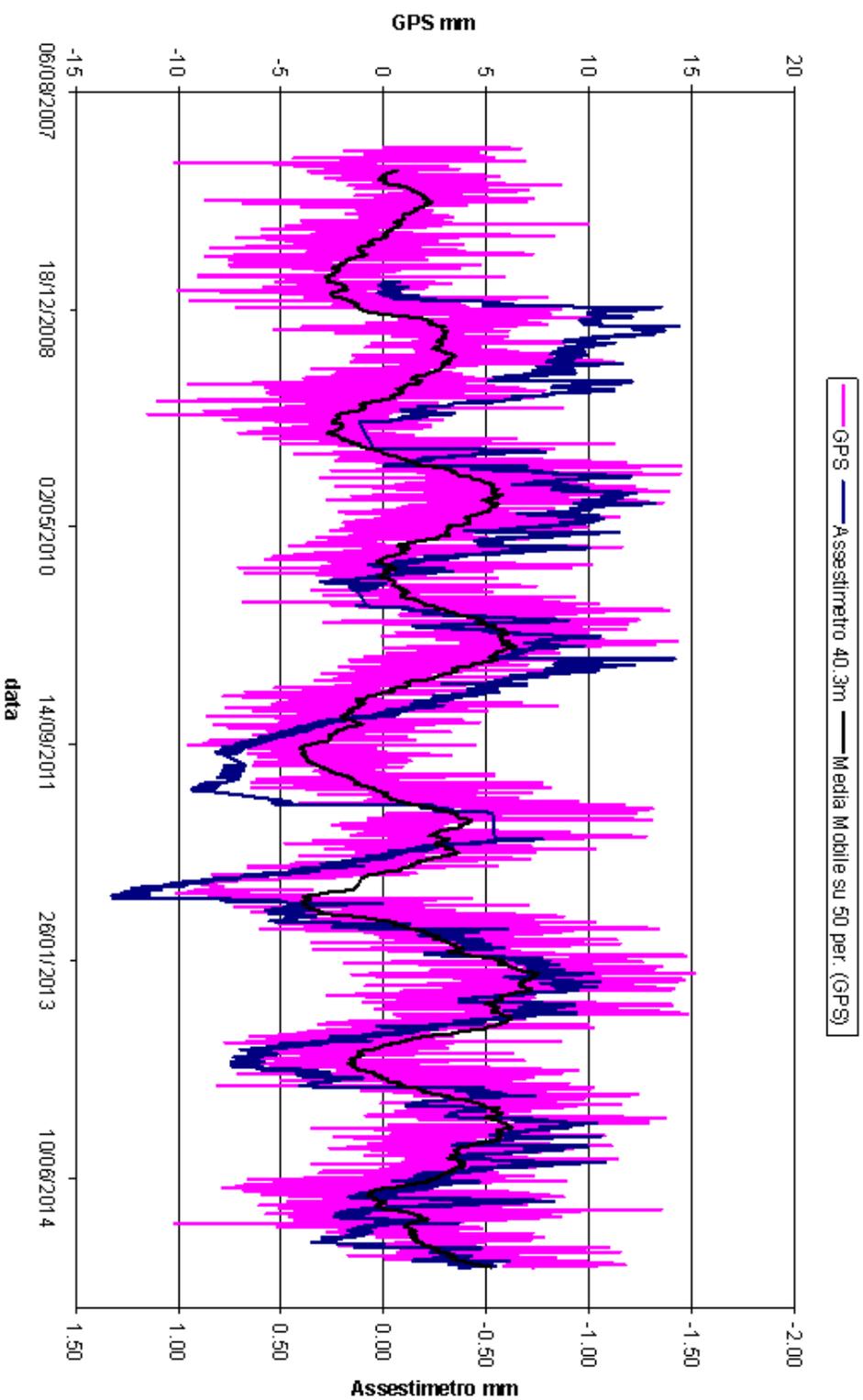


L'assessimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





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 2014.

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 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'assestimetro 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 verticale 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.

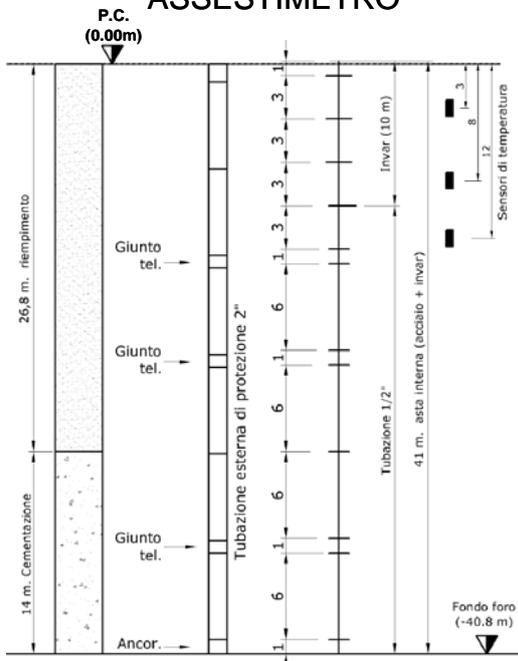
L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casagrande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è risultata di circa ± 8 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello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

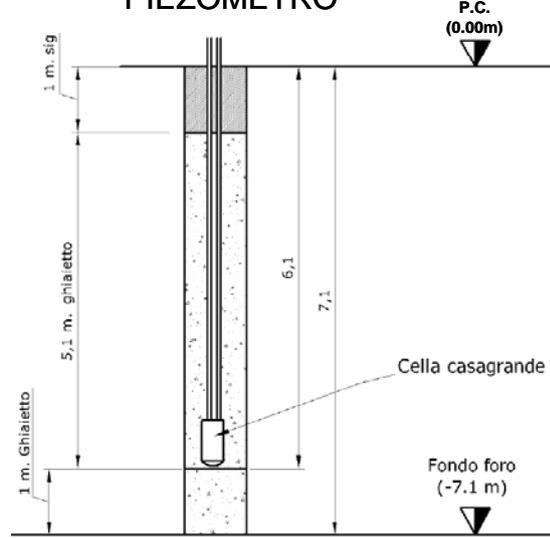


FANO

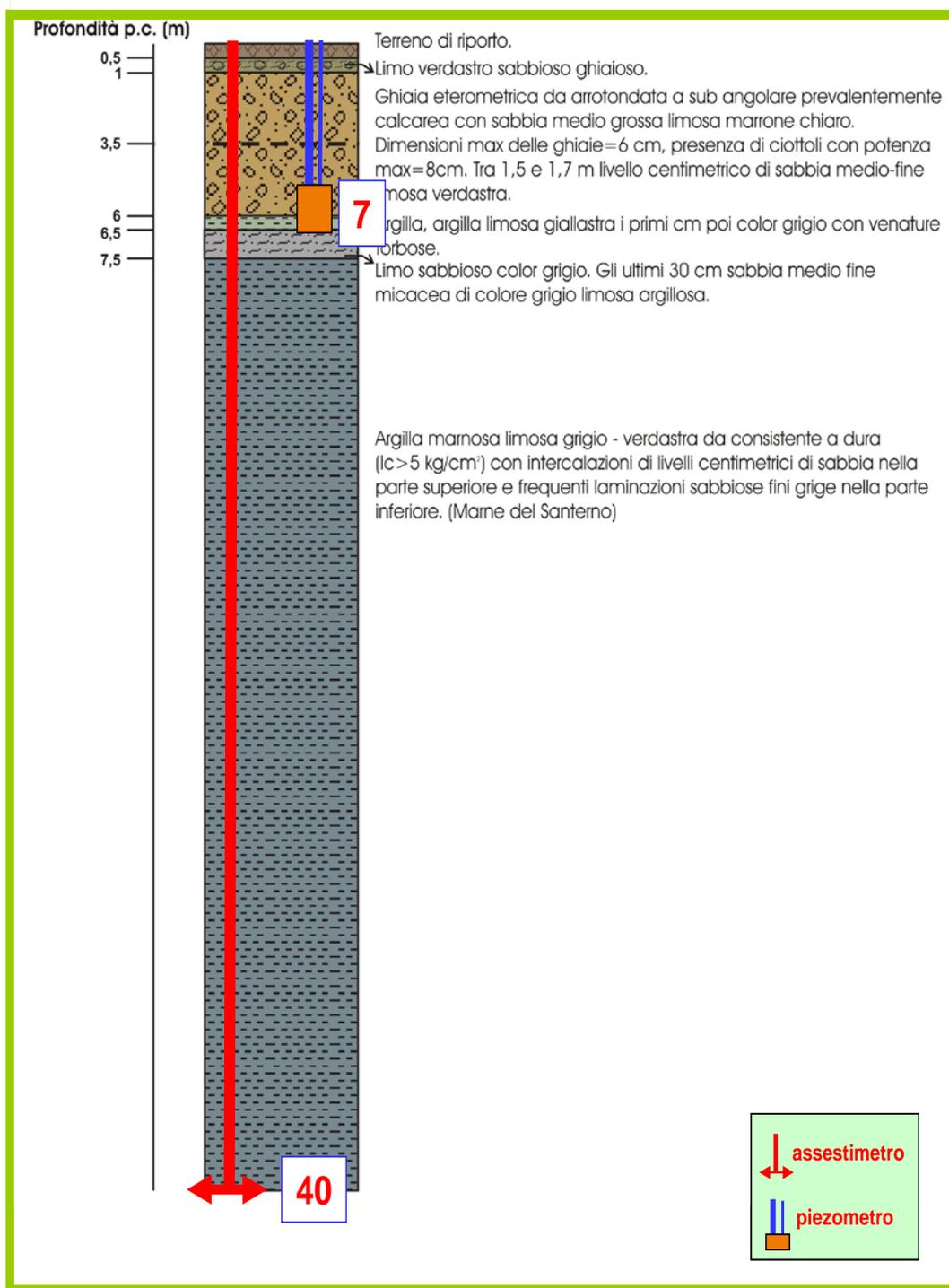
ASSESTIMETRO



PIEZOMETRO

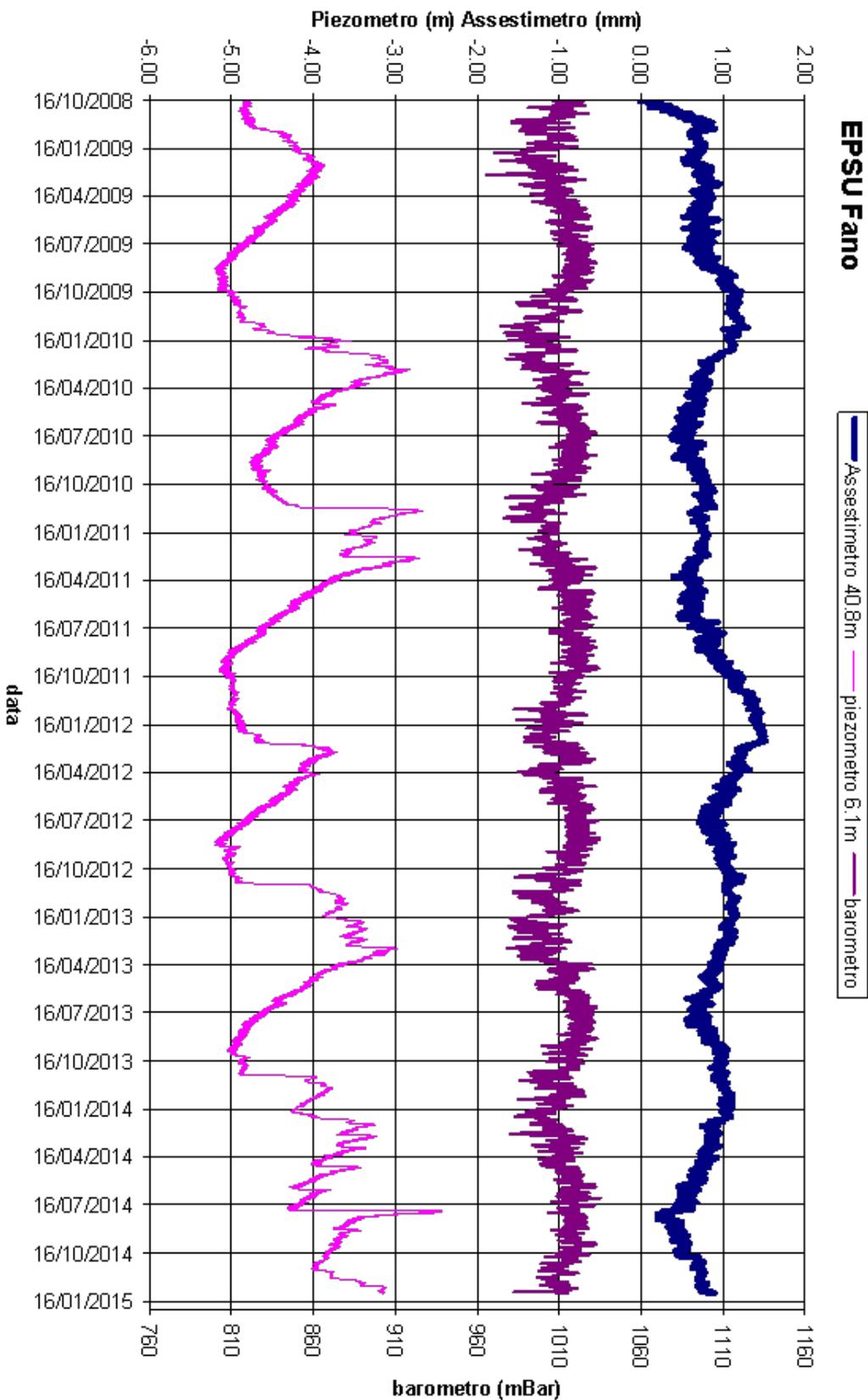


non in scala



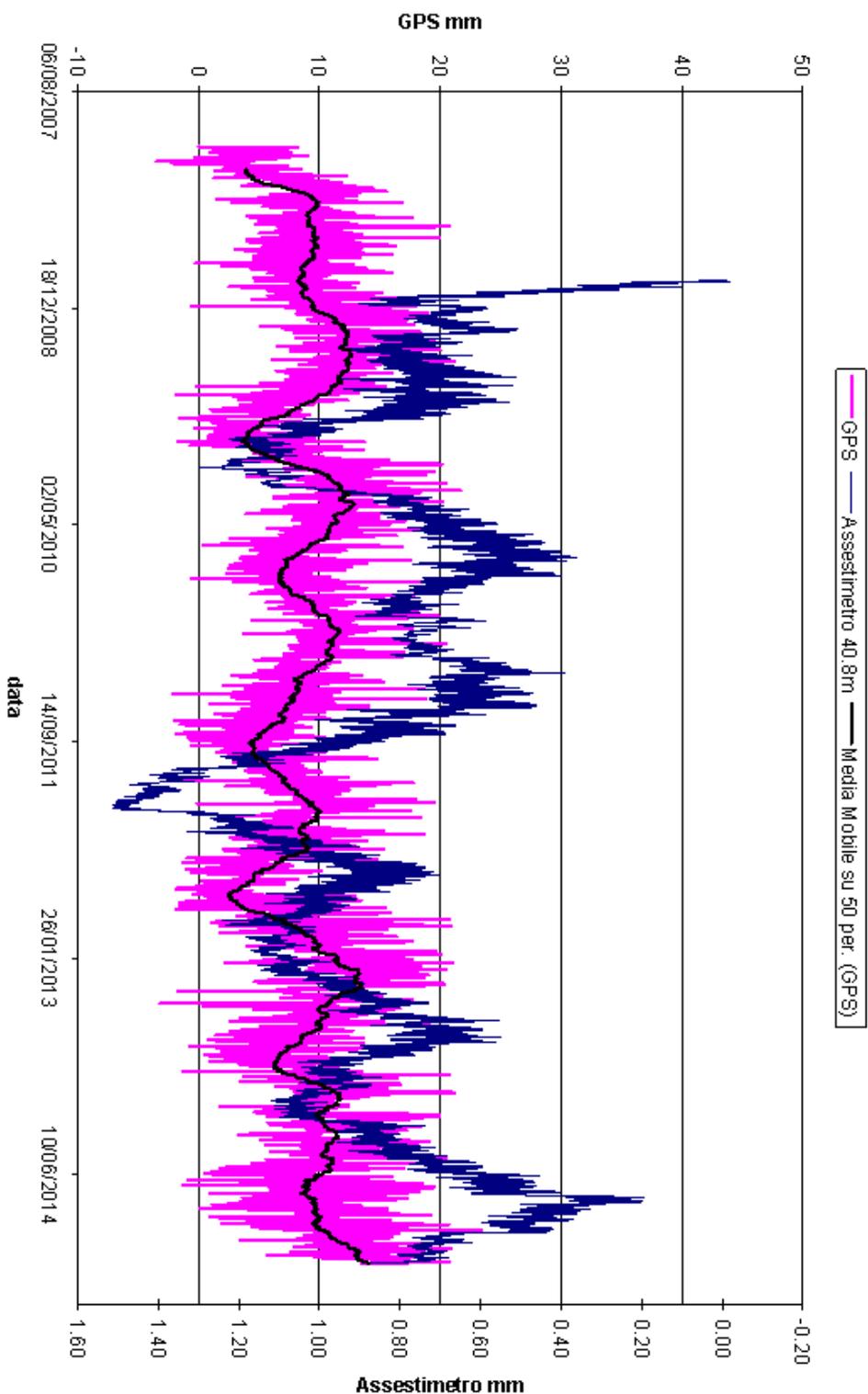


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





FANO - Confronto GPS ed assestimento superficiale



Nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva GPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva 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)
Rubicone	5,7	14,0	2,5	-	-
Fano	6,2	-	-	0,9	n.s.
Falconara	6,2	-	-	-0,4	n.s.

(n.s.= non significativa)