



Campo di ANNAMARIA

Aggiornamento al 31/12/14

Il campo a gas di Annamaria si trova nella zona meridionale del “Northern Adriatic Contract Area”, a circa 60 km della costa marchigiana, in un’area dove la profondità dell’acqua varia tra 56 e 65 m (Figura 2).

Il campo, situato tra Italia e Croazia, ricade entro due concessioni denominate *Production License* A.C11.AG (Eni 100%) e “*Exploitation Concession* SJEVERNI JADRAN” (titolare INA, operatore INAgip).

La concessione A.C11.AG è stata inizialmente conferita ad Agip in data 23/10/79 per la durata di anni 30, ossia, fino al 23/10/09; tale scadenza è stata in seguito prorogata al 23/10/19 con decreto ministeriale del 06/07/09.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C11.AG	23/10/19	Eni	Eni	100%	Marche

Il contesto geologico entro cui si colloca l’area di Annamaria è rappresentato dalla fascia di transizione tra l’avanfossa plio-pleistocenica e il relativo avanpaese, con un substrato costituito da una piattaforma carbonatica (Calcari del Cellina) suturata dalle peliti di rampa della F.ne Santerno. A partire dal Pleistocene inferiore, l’area di Annamaria è stata raggiunta dalle frange più esterne del sistema torbiditico della F.ne Porto Garibaldi e in seguito dalle torbiditi distali della F.ne Carola, che hanno progressivamente colmato il bacino torbiditico poggiando direttamente in onlap sulla rampa di avanpaese della F.ne Santerno (Figura 3).

La fase esplorativa del campo ha visto la perforazione dei pozzi Jadran-16/1A (1979) e Annamaria-1 (1982), che hanno intercettato la culminazione che sarà poi sviluppata dalla piattaforma Annamaria A, e dal pozzo Annamaria-2 (2002) che ha intercettato la culminazione in seguito sviluppata dalla piattaforma Annamaria B.

Lo sviluppo del campo ha richiesto la perforazione di 6 pozzi (AM1dir, AM2dir, AM3dir, AM4dir, AM5dir, AM12dir) dalla piattaforma Annamaria A, ubicata in acque croate (inizio



produzione marzo 2009) e operata da INAgip, e di 6 pozzi (AM6dir, AM7dir, AM8dir, AM9dir, AM10dir e AM15dir) più uno di monitoraggio (AM11dir) dalla piattaforma Annamaria B, ubicata in acque italiane e operata da Eni.

Su **Annamaria B** sono entrati in produzione per primi i pozzi AM 6dir, AM8dir e AM9dir (marzo 2010), in seguito i pozzi AM10dir (maggio 2010), AM7dir (giugno 2010) e AM15dir (agosto 2010).

Nel documento SIA redatto per il progetto di sviluppo, si è riportato un profilo di produzione derivante dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello Eclipse 3D) dell'aprile 2006. Tale profilo è riferito alla produzione di entrambe le piattaforme (Figura 3), e prevede:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 8793 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,0 MSm³/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 9337 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,1 MSm³/g.

Nel maggio 2012, è stato fatto un aggiornamento del modello di giacimento Eclipse (*rel. Eni-GISE 07/12 del 31/05/2012, Campo di Annamaria – Studio dinamico di giacimento*) tenendo conto sia dei dati di produzione acquisiti nella prima fase erogativa del campo, sia del previsto completamento della fase di sviluppo con la perforazione di ulteriori due pozzi infilling, realizzati poi nel periodo gennaio - aprile 2013 dalla piattaforma Annamaria B.

Questo nuovo studio ha portato a una riduzione di circa il 31% delle riserve a vita intera del giacimento. Infatti, con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme, si è stimato:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 8022 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,0 MSm³/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 4415 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,1 MSm³/g.

La produzione totale di campo al 31/12/14 è stata di 4049 MSm³, ovvero il 32,6% circa delle riserve calcolate nello studio del maggio 2012 (Figura 4). Tale produzione è così ripartita fra le due piattaforme:

- Annamaria A: 1958 MSm³ (Figura 5);



- Annamaria B: 2091 MSm³ (Figura 6).

Per alcuni livelli rappresentativi del campo, la Figura 7 riporta un confronto fra le pressioni rilevate sul pozzo Annamaria 11B e registrate in continuo con “permanent pressure gauges” (PPG) e i corrispondenti valori di pressione calcolati dal modello Eclipse (maggio 2012). Tale confronto si può ritenere soddisfacente anche se ancora preliminare.

Per il giacimento di Annamaria la previsione iniziale di subsidenza allegata al SIA è stata eseguita con modello geomeccanico a elementi finiti (FEM), adottando criteri del tutto cautelativi e impiegando metodologie e strumenti in linea con il più avanzato stato dell’arte in campo internazionale (*Campo di Annamaria – Modello elasto-plastico di subsidenza, rel. Eni-TERA 16/2007, giugno 2007*).

Detto modello ha stimato in 90 cm al 2038 (anno di fine produzione) il valore massimo di subsidenza nel caso dello scenario di riferimento ritenuto più probabile (M2). Alla stessa data e per lo stesso scenario la curva d’isosubsidenza di 2 cm è stata prevista estendersi per circa 12 km dal centro del campo¹. Al 2060 il valore massimo di subsidenza è stato previsto essere 86 cm con la curva d’isosubsidenza di 2 cm che si estende per circa 15 km dal centro del campo.

I risultati dello studio hanno mostrato, quindi, come il cono di subsidenza si esaurisca a una distanza di oltre 45 km dalla costa più vicina dopo 22 anni dalla fine della produzione del campo. Questo risultato è stato, di fatto, lo stesso per tutti gli scenari considerati e non è stato sostanzialmente modificato considerando anche una possibile interferenza con altri campi a gas in produzione nelle acque croate.

Per accertare, infatti, gli effetti di possibili interazioni di tipo idraulico e/o meccanico con giacimenti limitrofi è stato eseguito uno studio di previsione di subsidenza considerando anche i campi a gas di Ida e Ika in produzione nelle acque croate (*Campo di Annamaria – Studio di previsione di subsidenza e interazione con i campi di Ida e Ika, Management Summary*,

¹ Nel 2002 Eni ha nominato una Commissione Scientifica Internazionale (CSI), presieduta dal Prof. E. Boschi e costituita da esperti di fama internazionale, per valutare gli effetti dell’estrazione di gas dai giacimenti offshore sulla stabilità delle coste del Ravennate e, in generale, di tutto il Nord Adriatico. In merito all’estensione del cono di subsidenza, la CSI ha concluso che la linea d’isosubsidenza di 2 cm è da considerarsi “*the limit of any physical identification of induced subsidence effects*”. Tutti gli studi e le conclusioni della CSI sono stati poi resi pubblici con il volume “*Land Subsidence – Special Volume*” edito in occasione del *7th International Symposium on Land Subsidence – Shanghai (P.R. China) – 23-38 Oct. 2005*. A partire da tale data Eni considera nei propri studi la linea d’isosubsidenza di 2 cm come il contorno esterno che delimita il cono di subsidenza.

 eni spa exploration & production division	Campo di ANNAMARIA Novembre 2015	Page - 4 - of 65
---	-------------------------------------	------------------

Relazione Eni-TERA 11/2008, maggio 2008). Tale studio è stato trasmesso da Eni al MATTM nell'ambito della documentazione integrativa del SIA del campo "Annamaria" con nota del 19/06/08.

I risultati di questa nuova valutazione sono stati del tutto in linea con quelli ottenuti nella previsione di subsidenza indotta dalla produzione del solo campo di Annamaria. Nel caso di riferimento più probabile (M2), infatti, la subsidenza calcolata al 2038 è risultata pari a 92 cm, valore che è raggiunto alla fine della produzione e tende lievemente a ridursi negli anni successivi; al 2060 l'estensione della linea d'isosubsidenza dei 2 cm è risultata estendersi di circa 15 km dal centro del campo, confermando come il fenomeno si esaurisca a oltre 45 km dalla linea di costa.

A seguito della revisione del modello di giacimento del maggio 2012 è stato poi eseguito un nuovo aggiornamento del modello geomeccanico (*Campo di Annamaria – Modello elastoplastico di subsidenza e interazione con i campi di Ida e Ika, Management Summary, Relazione Eni-TERA 03/2013, aprile 2013*).

Le previsioni di subsidenza sono state eseguite per tre differenti scenari di compressibilità C_m : uno scenario più probabile (Medio), uno scenario conservativo (Up) e uno scenario ottimistico (Low). I risultati della simulazione riferiti allo scenario "Medio" prevedono un valore di subsidenza massimo di 51 cm che si verifica al termine della produzione, cioè al 2040. A tale data, la massima estensione della linea d'isosubsidenza di 2 cm è di 21 km in direzione della costa, ossia a 39 km dalla costa stessa. A fine simulazione (2070) l'estensione massima della linea dei 2 cm si ferma a 32 km dalla costa (Figura 8).

In ottemperanza a quanto prescritto al punto C del *DEC/2008-0000271 del 12/12/08*, nel periodo 4/2009-12/2009 è stato eseguito un rilievo batimetrico in un'area del campo di Annamaria comprendente le piattaforme di Annamaria A e Annamaria B, per un'estensione totale pari a circa 1200 km² (Figura 9). Il risultato del rilievo mostra un fondale con una profondità minima di -41 m nella parte NE che declina fino a -68 m di profondità nella parte meridionale (Figura 10). L'area del rilievo si può idealmente dividere in due parti, separate approssimativamente dalla batimetrica di -56 m:

- la parte settentrionale è abbastanza regolare a bassa pendenza, ad eccezione della parte di NE, dove sono visibili delle depressioni lineari;
- la parte meridionale invece è più aspra e articolata, caratterizzata da strutture che sembrerebbero essere tipiche di un paleo-delta.

Le pendenze del fondale sono generalmente inferiori a 0.5°; i valori più elevati (>2°) sono presenti nella parte settentrionale.

La parte settentrionale è, quindi, delimitata a sud (intorno alla batimetrica di -56 m) da un brusco cambiamento nella morfologia del fondale oltre il quale si rilevano strutture meandri-formi. E' possibile ipotizzare dall'andamento batimetrico generale come queste strutture appartengano al paleo-delta del fiume Po, con una parte settentrionale rappresentativa della piana alluvionale e deltizia e una parte meridionale rappresentativa di morfologie di fronte deltizia e di prodelta.

L'esecuzione del rilievo batimetrico multibeam è stata fatta al fine di ottenere un "termine di confronto" prima dell'avvio della produzione del campo, abbracciando un'area d'estensione tale da coprire la possibile superficie di disturbo indotta dalla subsidenza così come prevista in fase di modellazione.

Si valuterà, in seguito sulla base dei valori di subsidenza registrati in continuo dal CGPS installato in piattaforma, la necessità di eseguire un nuovo rilievo batimetrico per un controllo e/o taratura delle previsioni 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), è rilevata da oltre un decennio con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle *"Linee Guida per lo Studio 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 spa exploration & production division	Campo di ANNAMARIA Novembre 2015	Page - 6 - of 65
---	-------------------------------------	------------------

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:

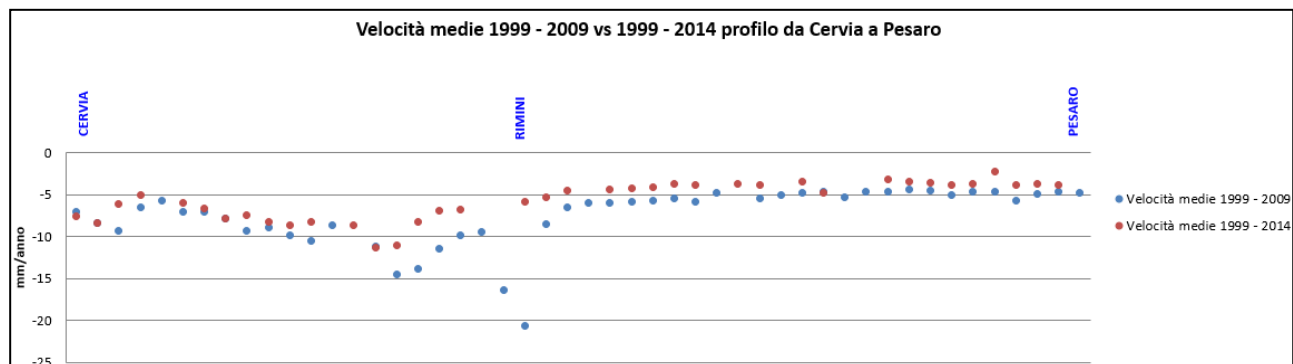
- dorsale Adriatica, da Treviso fino a Pesaro, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po, per un totale di circa 1100 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per 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 Pineto e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara.

Per i capisaldi della tratta Cervia-Pesaro, i valori di velocità media 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, in seguito a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un’origine diversa rispetto a tutte le altre.

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

- classe 4: include i capisaldi con $V_a > 10$ mm/a;
- classe 3: include i capisaldi con $5 \leq V_a < 10$ mm/a;

² Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie) sono rappresentate con valori negativi. Per comodità d’interpretazione, però, nell’elenco che segue, come pure nei due paragrafi successivi, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

- classe 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) ha 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.

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 11), 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 E e Clara N (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 e Barbara E, la cui serie storica è troppo breve per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la 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 solidariamente 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 di Annamaria 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, sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certifi-

cati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 1.

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

	Dati Non Certificati				Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
Stazione	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
Annamaria-B	26,38	20,18	-59,64		21,09	20,47	-59,66	5,29	-0,29	0,02

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

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

Serie storiche di durata inferiore ai 36 mesi possono, quindi, essere utilizzate solo per confrontare il trend degli andamenti temporali delle misure altimetriche con quello dei valori calcolati da modello previsionale, qualora si abbia una subsidenza caratterizzata da valori sufficientemente elevati. In questi casi sarà possibile monitorare solo eventuali anomalie di trend, ma non procedere ad 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
 - o piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;



- o 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 Annamaria B, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale³ misurata da CGPS pari a -81 mm/a (Figura 12), in aumento rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-60 mm/a al 2013).

La serie storica di misure CGPS sulla piattaforma Annamaria B, può essere ulteriormente scomposta utilizzando un software di recente realizzazione che consente di apprezzare variazioni significative nel gradiente di velocità delle misure stesse.

Si osserva, infatti (Figura 13):

- dall'installazione a gennaio 2013 una velocità media di circa -45 mm/a:
- da gennaio 2013 al 31 dicembre 2014 una velocità media di circa -139 mm/a.

³La "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.

Si segnala che la serie storica di misure del secondo periodo è relativa a un intervallo di tempo (24 mesi) non ancora del tutto in linea con quello ritenuto necessario per fare un'analisi completamente attendibile del dato CGPS (36 mesi).

Le differenze dei risultati delle velocità, che si possono registrare rielaborando in epoche successive i dati di periodi pregressi, dipendono dal fatto che l'aggiornamento delle serie storiche comporta la ridefinizione degli outliers mediante il test a tre sigma su tutta la serie storica esistente.

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del 2011 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS (Figura 15), senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale. L'accordo è decisamente buono per lo scenario "Medio" praticamente fino al 2012; a partire dal 2013 si nota fra le due serie di dati uno scostamento che si conferma anche nel corso del 2014.

Al fine di migliorare l'accordo tra le misure CGPS e le previsioni modellistiche di subsidenza, nel corso del 2015 si aggiorneranno i modelli statico e dinamico di giacimento, cui seguirà la revisione del relativo modello geomeccanico.

Allo scopo di monitorare in situ la compattazione delle rocce serbatoio, inoltre, si è proceduto in data 30/09/2014 al rilievo con FSMT dei marker installati nel pozzo di Annamaria B11 (rilievi fatti nel passato alle date 16/03/10, 19/09/10, 17/03/2011, 06/04/2012 e 24/07/2013), come prescritto dal *DEC/2008-0000271 del 12/12/08* e dal "*Piano di monitoraggio dei fenomeni geodinamici*" redatto da Eni e inviato a MATTM il 14/07/09.

In particolare la compattazione misurata tra marzo 2010 e settembre 2010 è stata di circa 10 mm, così suddivisi:

- da 970 a 1002 m: compattazione di ca. 1 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 8 mm;
- da 1738 a 1775 m: compattazione di ca. 1 mm.

La compattazione misurata tra settembre 2010 e marzo 2011 è pari a circa 26 mm, così suddivisi:



- da 970 a 1002 m: espansione di ca. 3 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 21 mm;
- da 1738 a 1775 m: compattazione di ca. 8 mm.

La compattazione misurata tra marzo 2011 e aprile 2012 è pari a circa 13 mm, così suddivisi:

- da 970 a 1002 m: compattazione di ca. 2 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 3 mm;
- da 1738 a 1775 m: compattazione di ca. 8 mm.

La compattazione misurata tra aprile 2012 e luglio 2013 (calcolata solo fino alla profondità di 1769,5 m a causa della registrazione non ottimale del picco dato dal marker a 1775 m) è pari a circa 174 mm, così suddivisi:

- da 970 a 1002 m: compattazione di 0 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 156 mm;
- da 1738 a 1769,50 m: compattazione di ca. 18 mm.

La compattazione misurata tra luglio 2013 e settembre 2014 è pari a circa 176 mm, così suddivisi:

- da 970 a 1002 m: espansione di 4 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 172 mm;
- da 1738 a 1769,50 m: compattazione di ca. 8 mm.

In Figura 16 e Figura 17, sono riportati i risultati dei monitoraggi FSMT in termini di compattazione (mm) tra i rilievi eseguiti rispettivamente a settembre 2010 – marzo 2011, a marzo 2011 – marzo 2012 e ad aprile 2012 – luglio 2013.

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 Annamaria non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale antistante.

Si segnala infine che:

- a) Figura 18 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 19 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio.

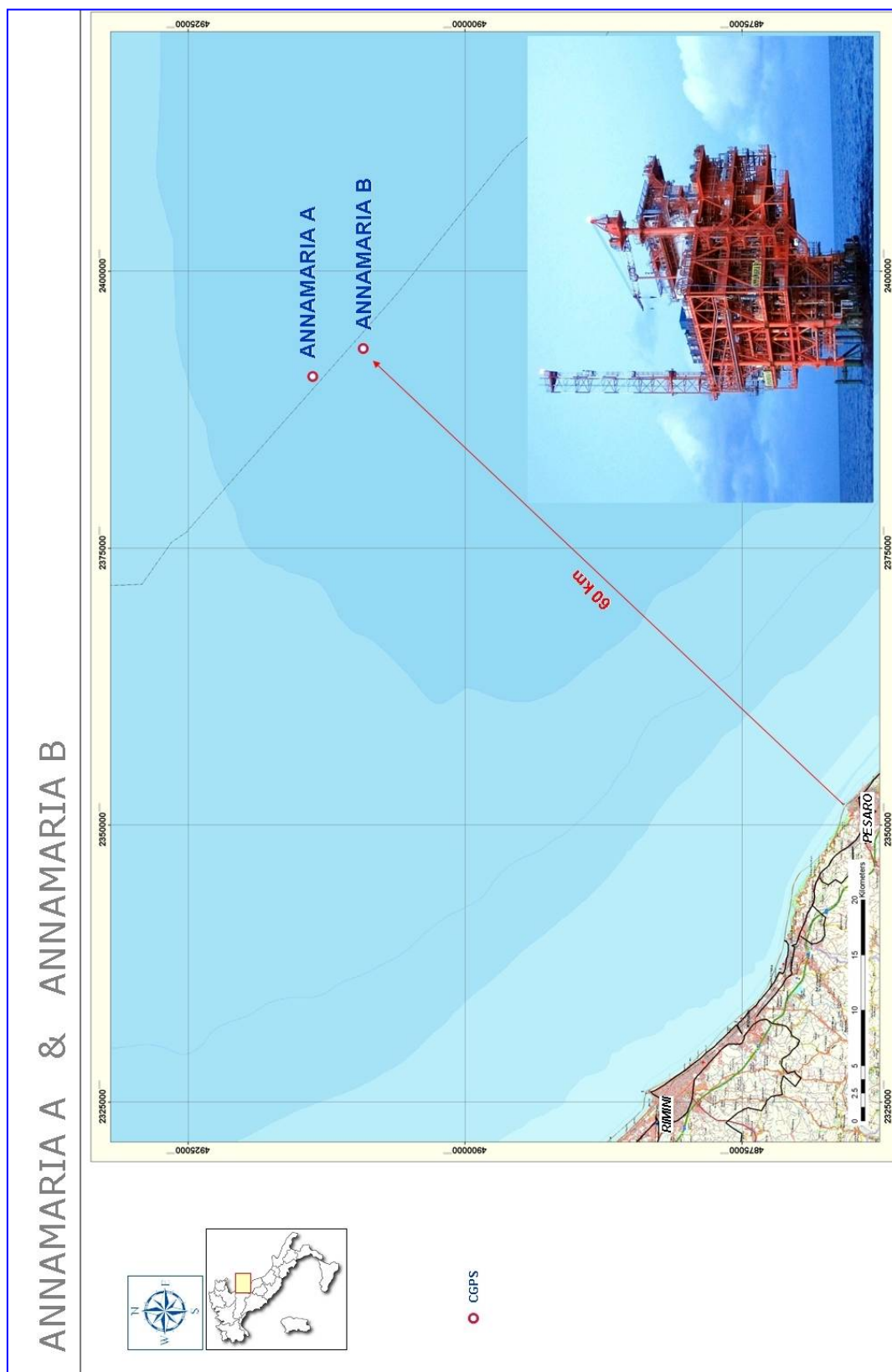
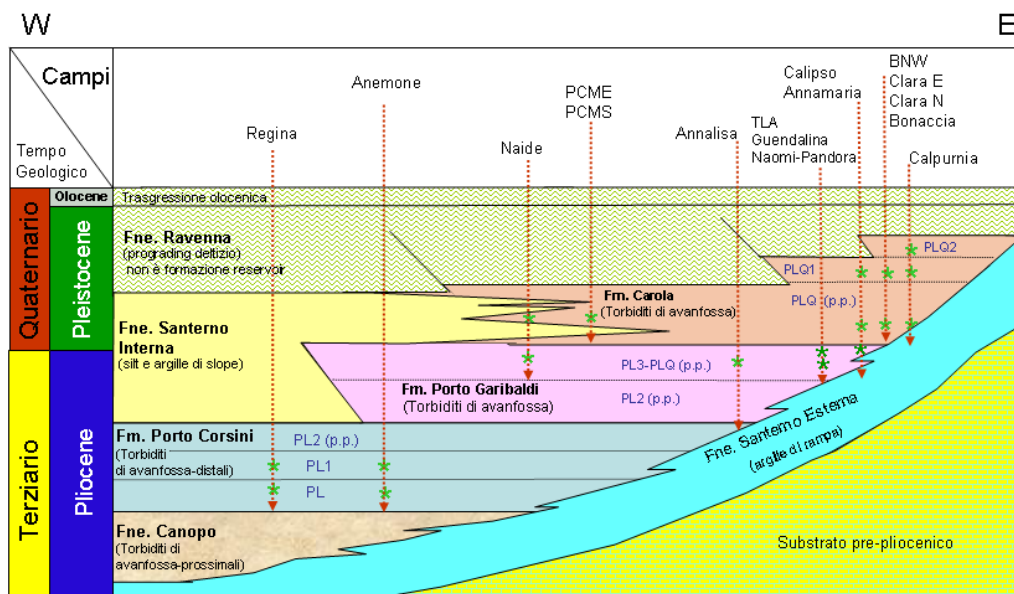


Figura 2 - Posizione del Campo di Annamaria



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

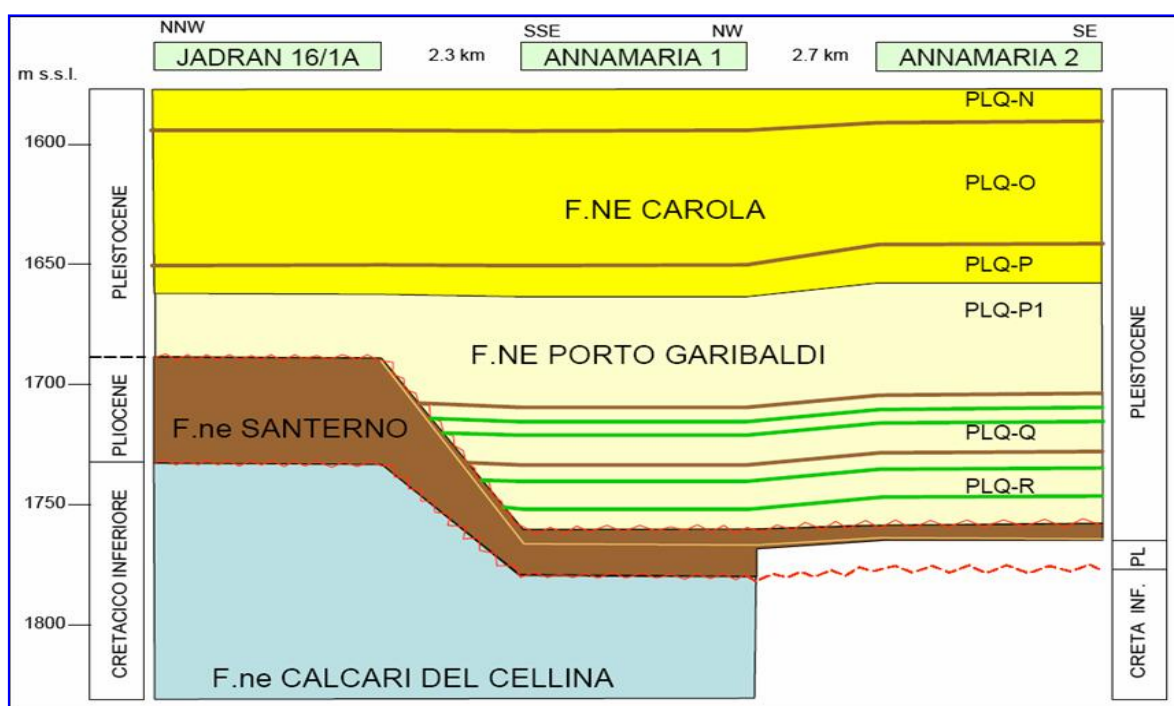


Figura 3 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI ANNAMARIA TOTALE	Profilo di Produzione calcolato da Modello Eclipse 04/2006	Profilo di Produzione calcolato da Modello Eclipse 04/2006	Profilo di Produzione calcolato da Modello Eclipse 05/2012	Profilo di Produzione calcolato da Modello Eclipse 05/2012	Gas.Prodotto TOTALE Reale al 31-12-2014	Gas.Prodotto TOTALE Reale al 31-12-2014	Percentuale Gas Prodotto vs Riserve da Modello Eclipse 05/2012
	(Cumulativa)	(Produzione anno)	(Cumulativa)	(Produzione anno)	(Cumulativa)	(Produzione anno)	
ANNO	MSm3	MSm3	MSm3	MSm3	MSm3	MSm3	
2009	763	763	46	46	45	45	0.4%
2010	1521	758	671	626	716	671	5.8%
2011	2447	926	1482	811	1482	766	11.9%
2012	3367	920	2269	787	2290	808	18.4%
2013	4267	900	3169	901	3241	951	26.1%
2014	5154	887	4052	883	4049	808	32.6%
2015	6030	876	4873	821			
2016	6899	869	5626	753			
2017	7757	858	6304	678			
2018	8607	850	6904	600			
2019	9441	834	7439	535			
2020	10232	791	7925	486			
2021	10988	756	8365	440			
2022	11689	701	8772	407			
2023	12349	660	9144	372			
2024	12959	610	9485	341			
2025	13495	536	9793	308			
2026	13997	502	10079	287			
2027	14424	427	10338	258			
2028	14848	424	10572	235			
2029	15254	406	10789	216			
2030	15636	382	10993	204			
2031	16003	367	11190	197			
2032	16356	353	11382	192			
2033	16691	335	11567	185			
2034	17011	320	11746	179			
2035	17318	307	11915	169			
2036	17600	282	12076	161			
2037	17870	270	12228	152			
2038	18130	260	12374	146			
2039			12438	64			

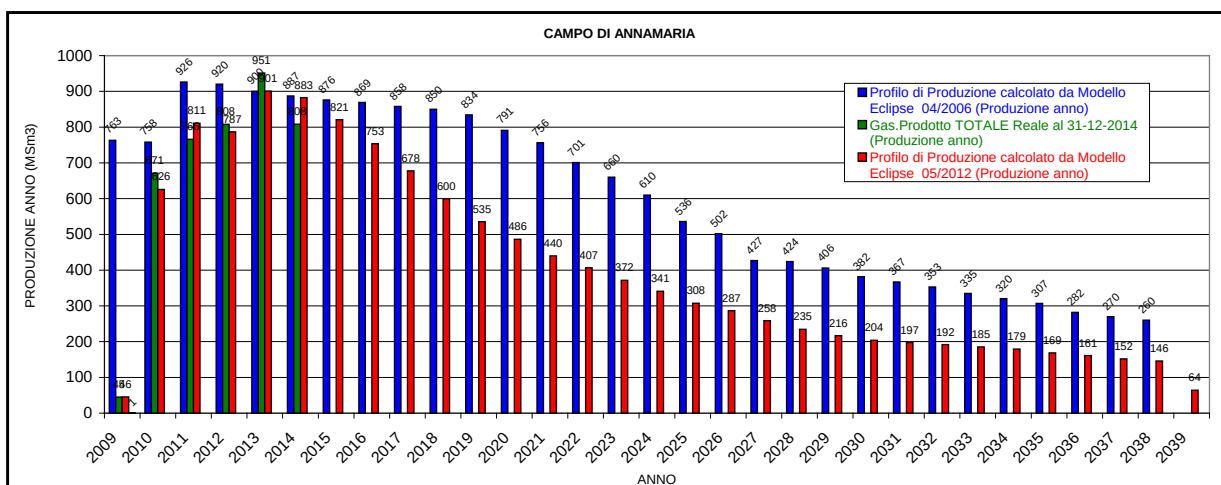
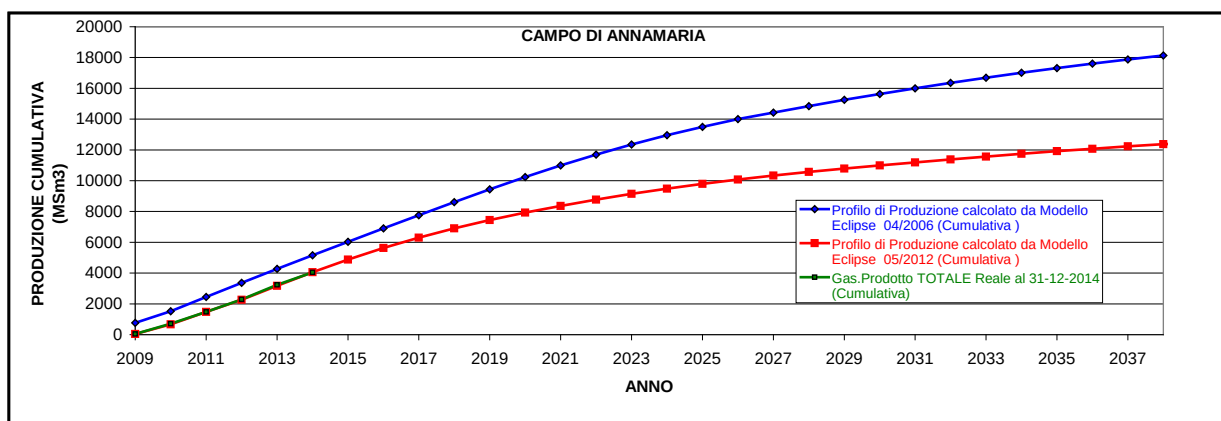


Figura 4 – Campo di Annamaria: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse

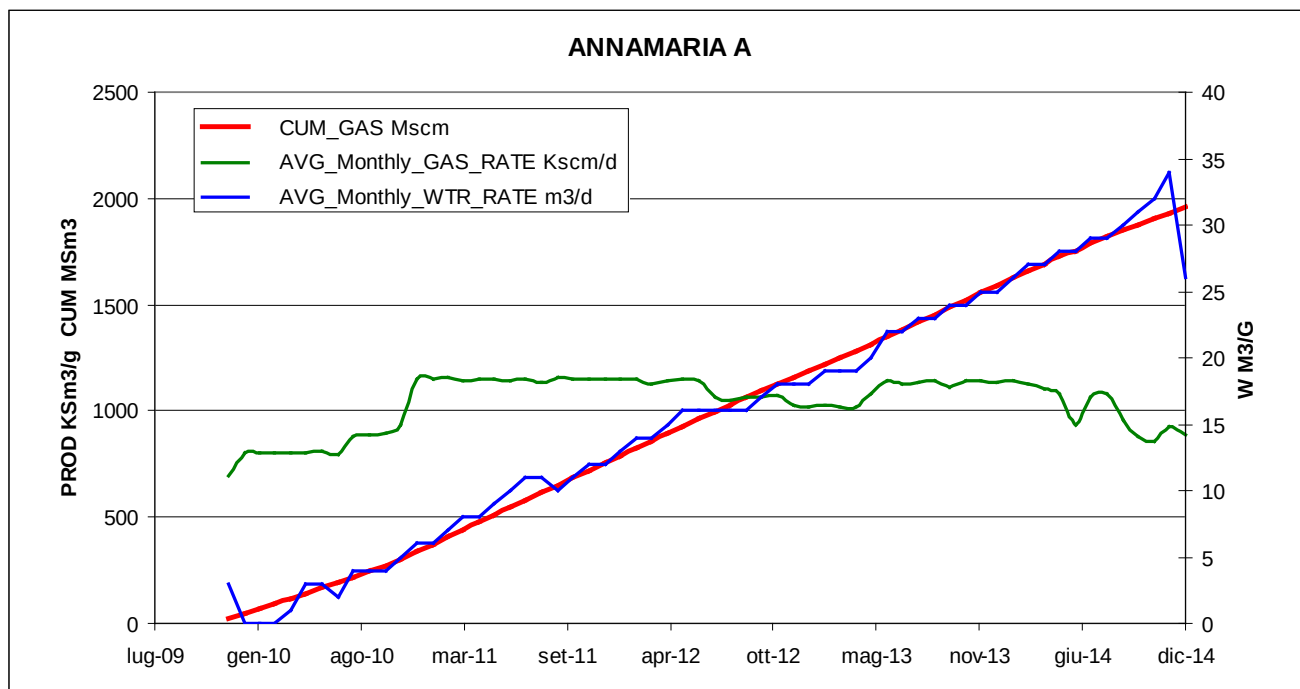


Figura 5 – Campo di Annamaria – Piattaforma A: di produzione storica

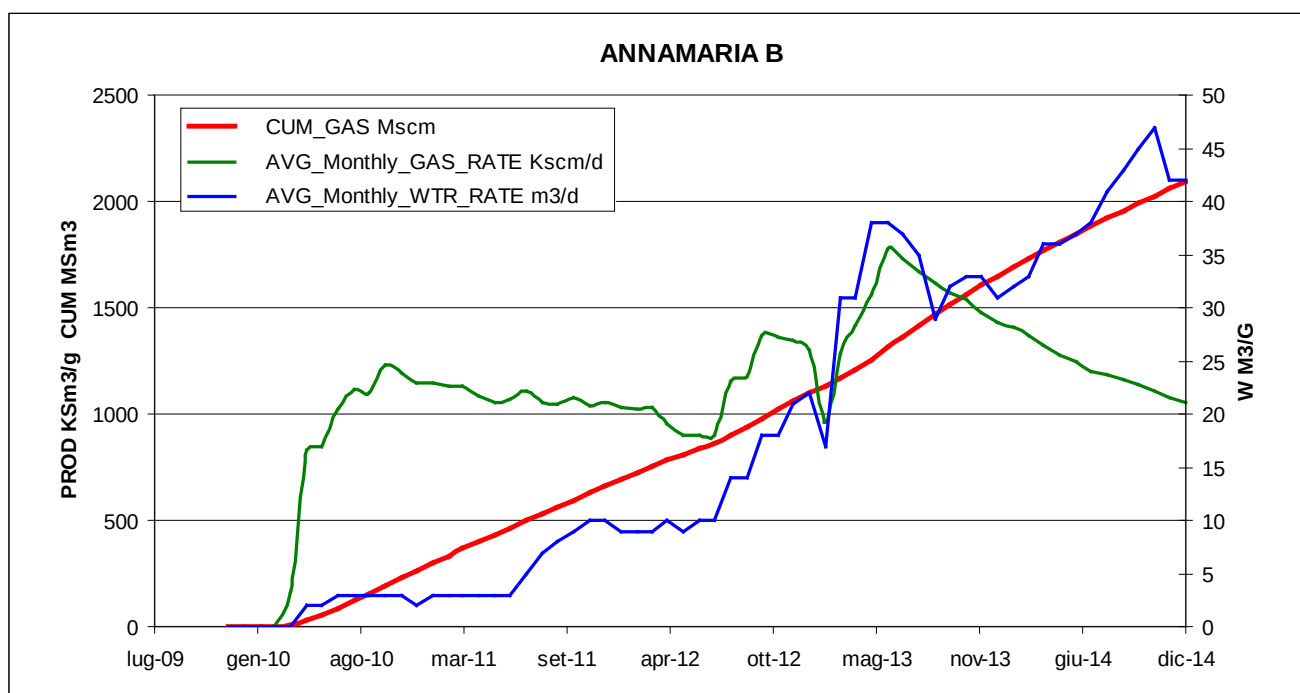


Figura 6 - Campo di Annamaria – Piattaforma B: produzione storica

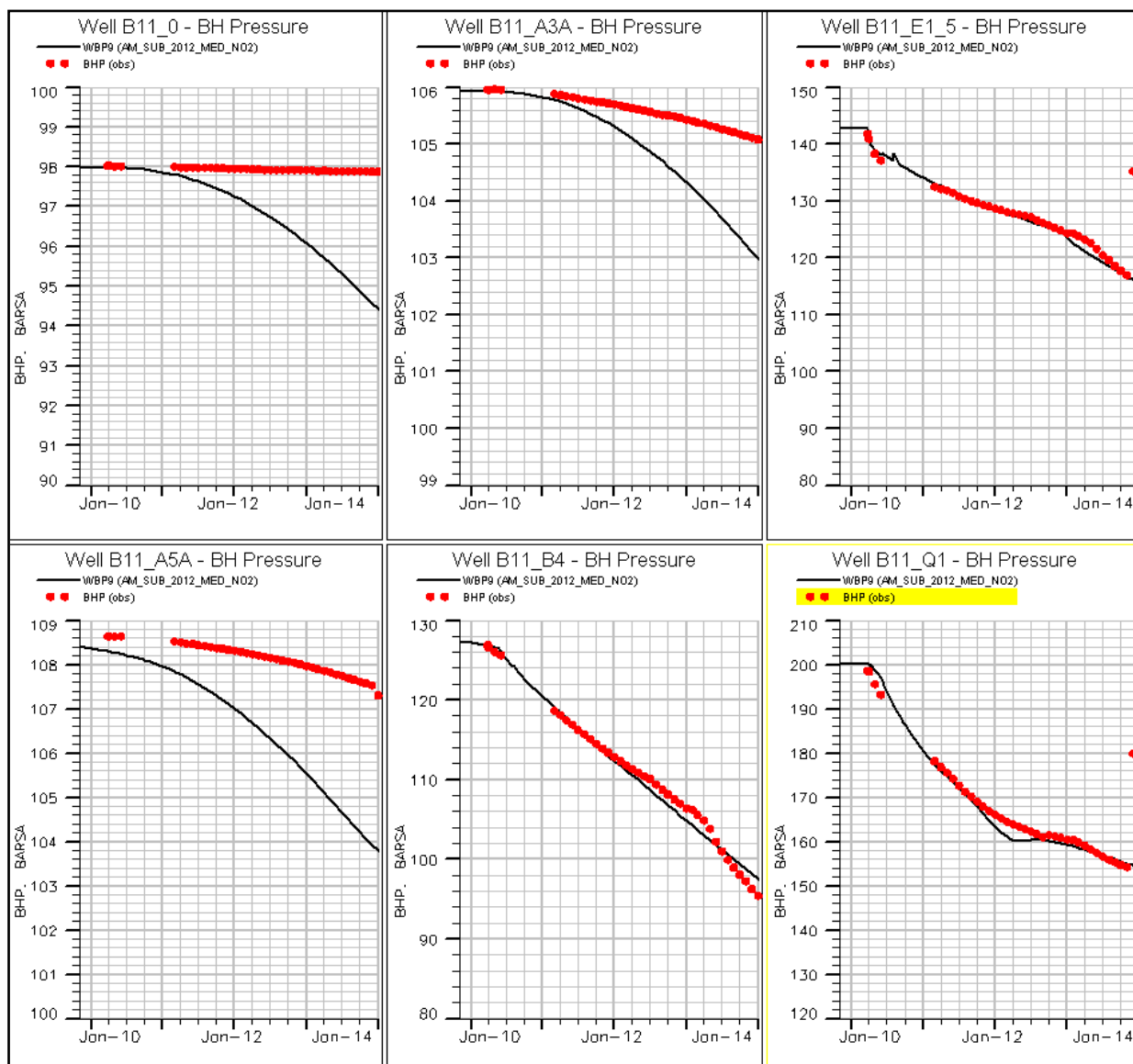


Figura 7 - Confronto tra dati di pressione (Annamaria 11B PPG) e modello Eclipse del 05/2012

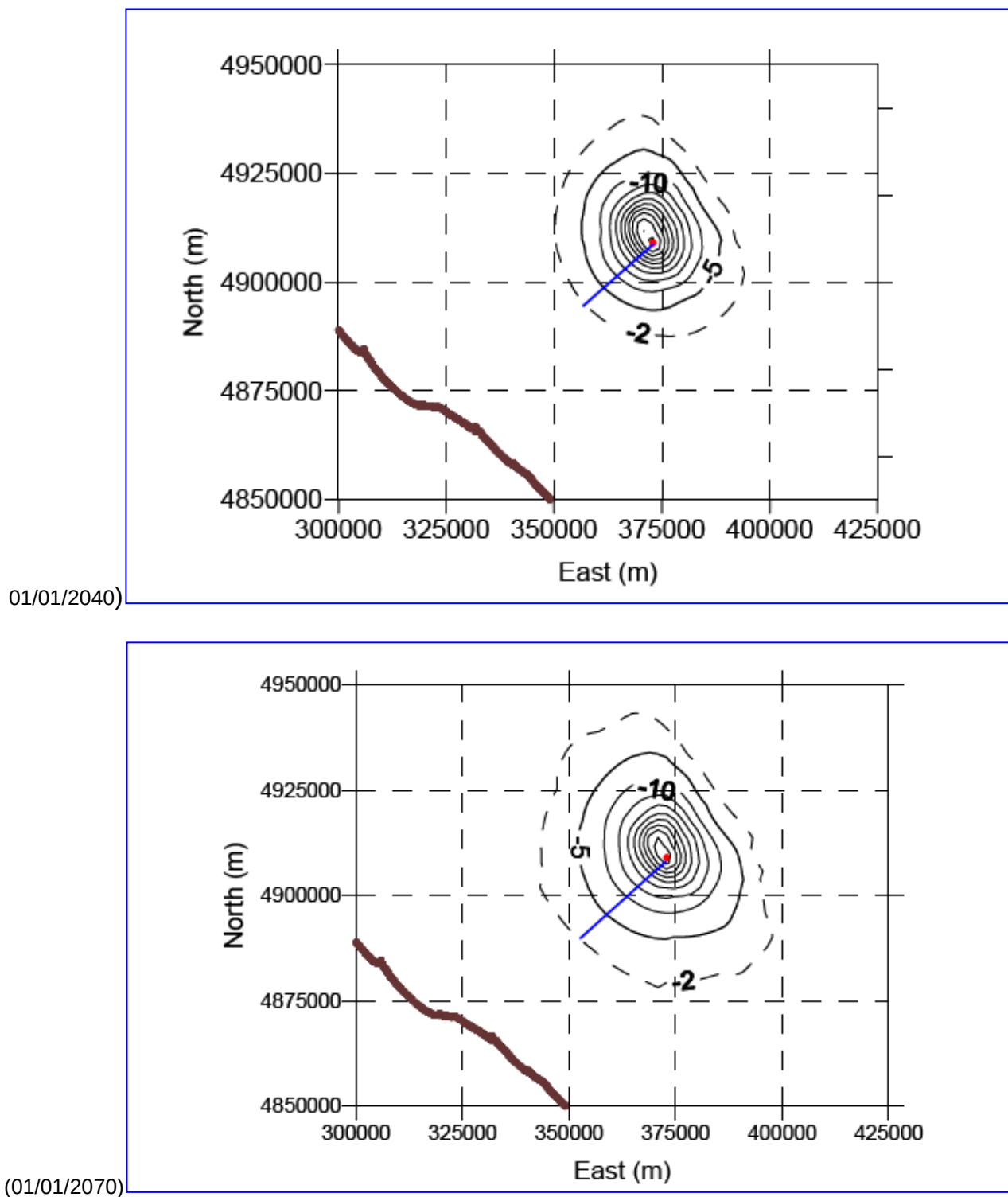


Figura 8– Campo di Annamaria: curve d'isosubsidenza a fine produzione (01/01/2040) e a fine simulazione (01/01/2070) per lo scenario Medio. I valori di subsidenza sono in cm. In rosso è riportata la posizione del punto di massima subsidenza (modello geomeccanico dell'aprile 2013)

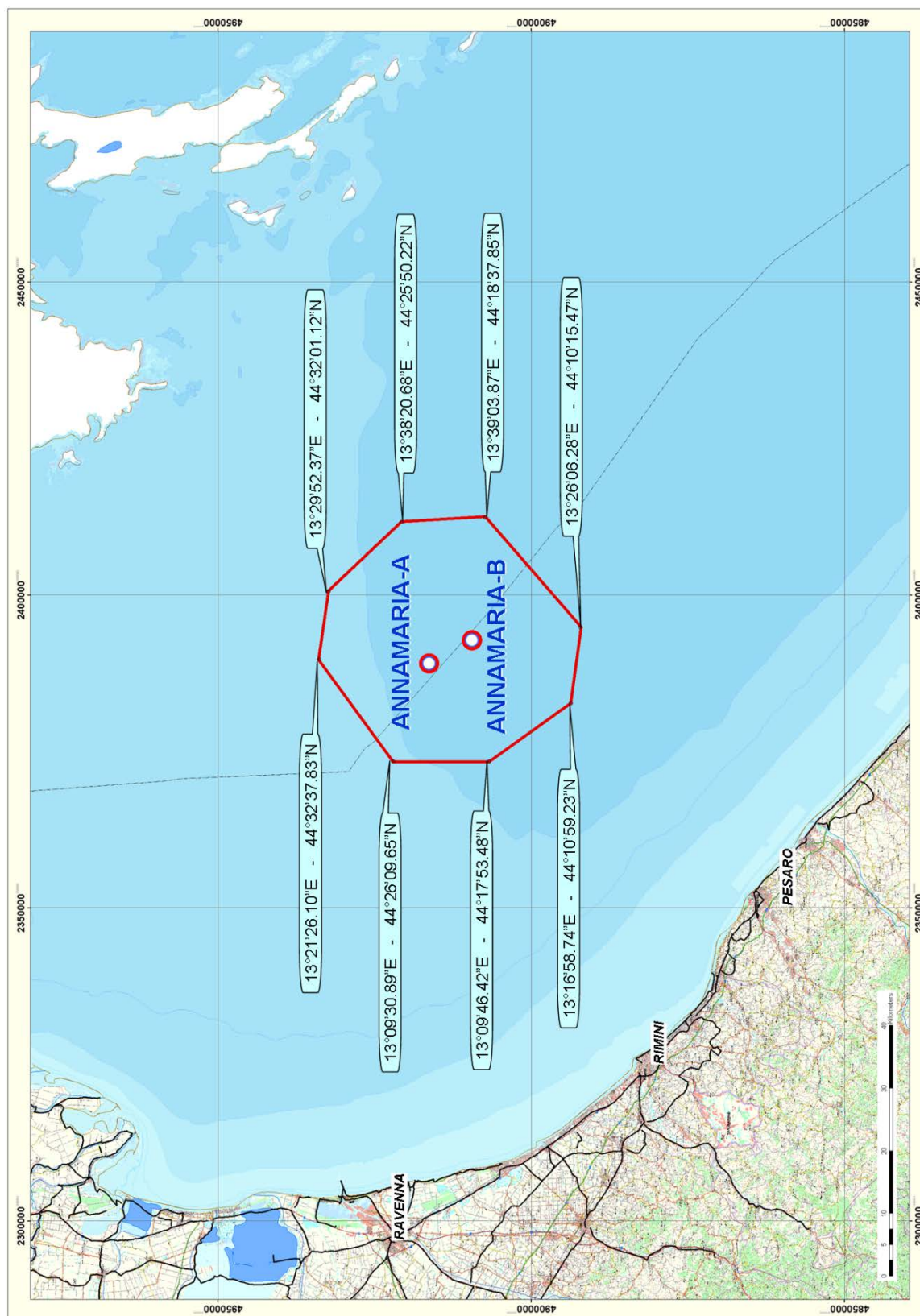


Figura9 – Campo di Annamaria: estensione del rilievo batimetrico

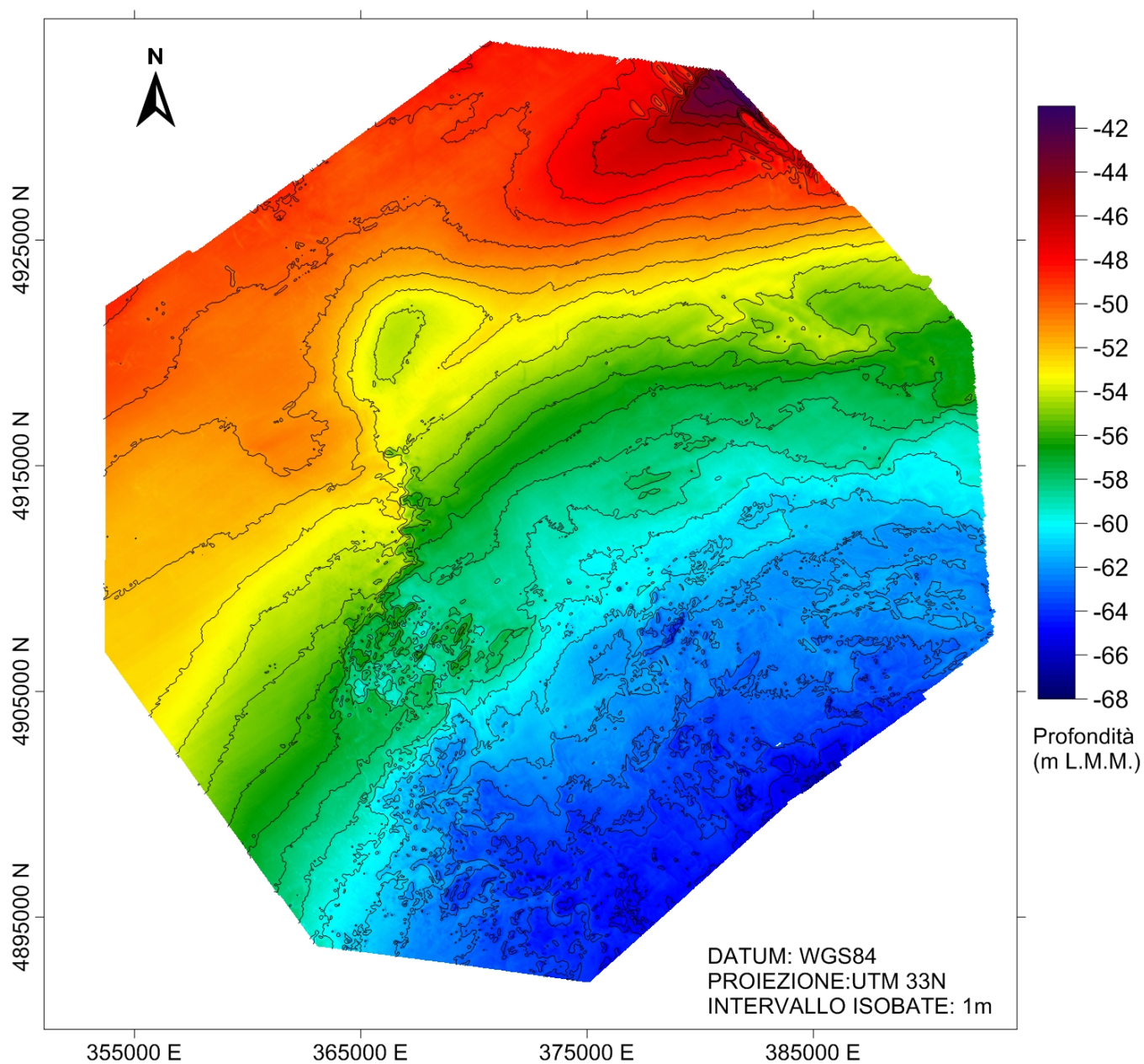


Figura 10 – Campo di Annamaria: modello digitale del fondale da rilievo batimetrico "multi-beam"

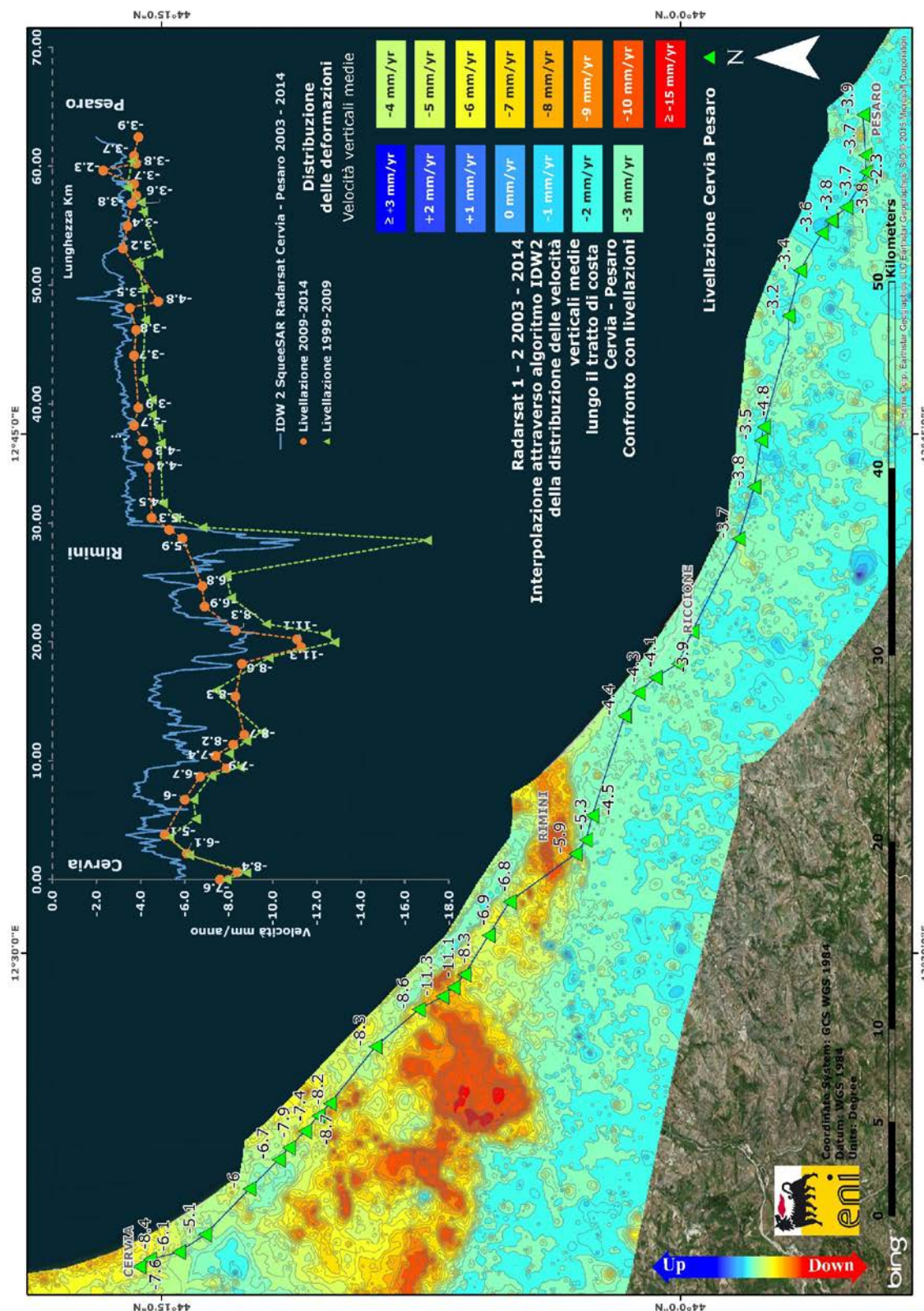
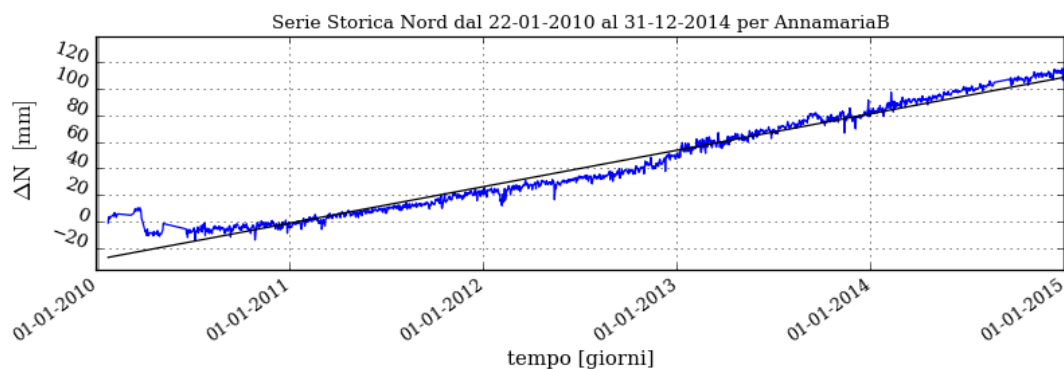


Figura 1 – Analisi dati SAR dal 2003 al 2014



Serie storiche spostamenti IGB08 RETE AnnamariaB

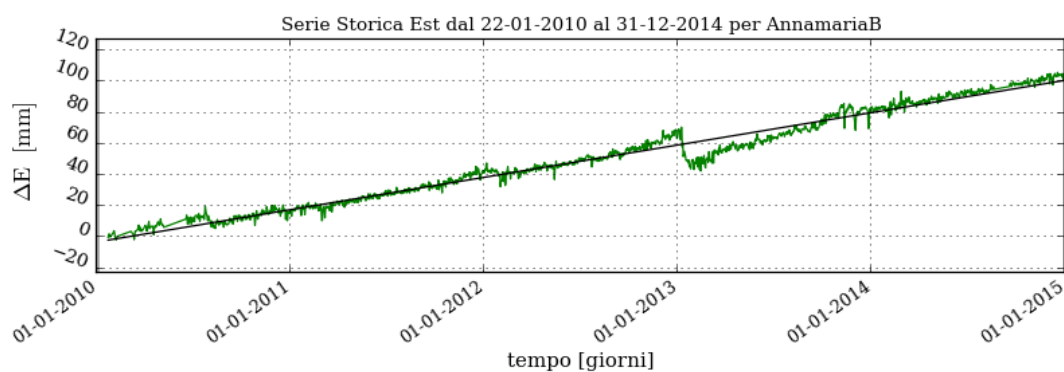


$$Vel_n = 27.75 \pm 0.12 \text{ mm/y}$$

$$WRMS_n = 6.28 \text{ mm}$$

$$\chi^2 / \text{DOF} = 179.44$$

— Nord
— Regressione lineare

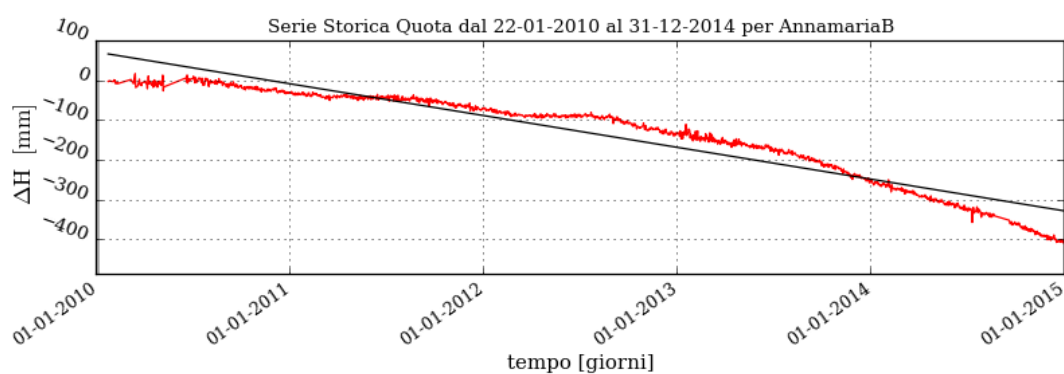


$$Vel_e = 21.07 \pm 0.07 \text{ mm/y}$$

$$WRMS_e = 3.61 \text{ mm}$$

$$\chi^2 / \text{DOF} = 85.2$$

— Est
— Regressione lineare



$$Vel_h = -81.03 \pm 0.58 \text{ mm/y}$$

$$WRMS_h = 31.16 \text{ mm}$$

$$\chi^2 / \text{DOF} = 323.96$$

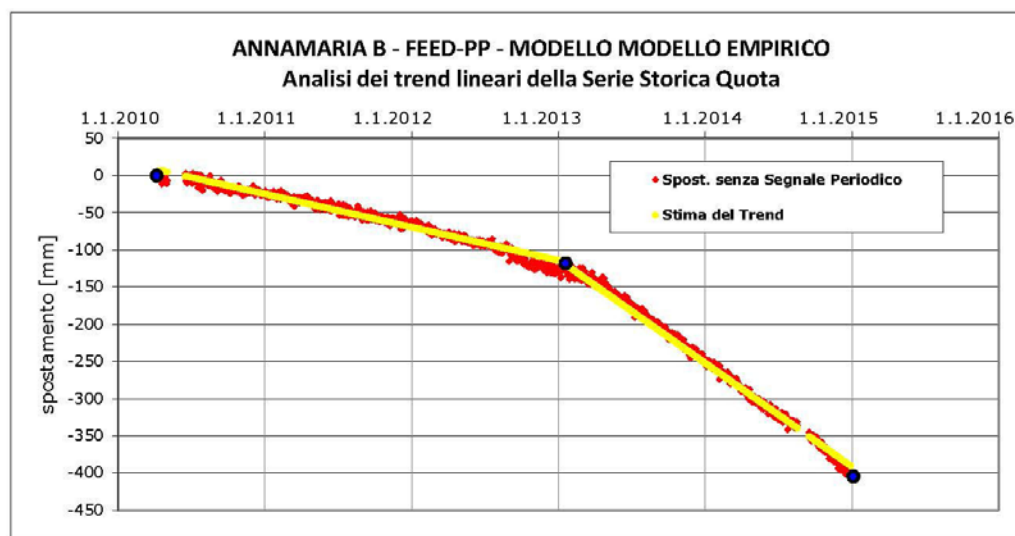
— Quota
— Regressione lineare

Figura 2 - Serie storiche plano-altimetriche CGPS Annamaria B

ANNAMARIA B

FEED-PP – MODELLO EMPIRICO

Il modello empirico relativo alla stazione CGPS Annamaria B è stato stimato considerando un solo nodo di discontinuità.



FEED PP - MODELLO EMPIRICO		
Periodo	velocità	sigma
-	[mm/y]	[mm/y]
16/04/2010 - 06/01/2013	-44.6	0.2
06/01/2013 - 31/12/2014	-139.3	0.3

Note: La stazione CGPS Annamaria B è stata installata presso la omonima piattaforma contemporaneamente alle attività di work-over che si sono concluse ad agosto 2010. Durante questo periodo si sono avuti numerosi problemi di disalimentazione degli apparati GPS. Inoltre, la piattaforma ha subito una ulteriore attività di work-over nel periodo gennaio – aprile 2013. Infine risultano mancanti i dati relativi al periodo 21 agosto – 17 settembre 2014 a seguito di una avaria del ricevitore GPS.

Figura 3 - analisi della serie storica plano-altimetrica 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 4 - Velocità di “subsidenza totale CGPS” vs modelli

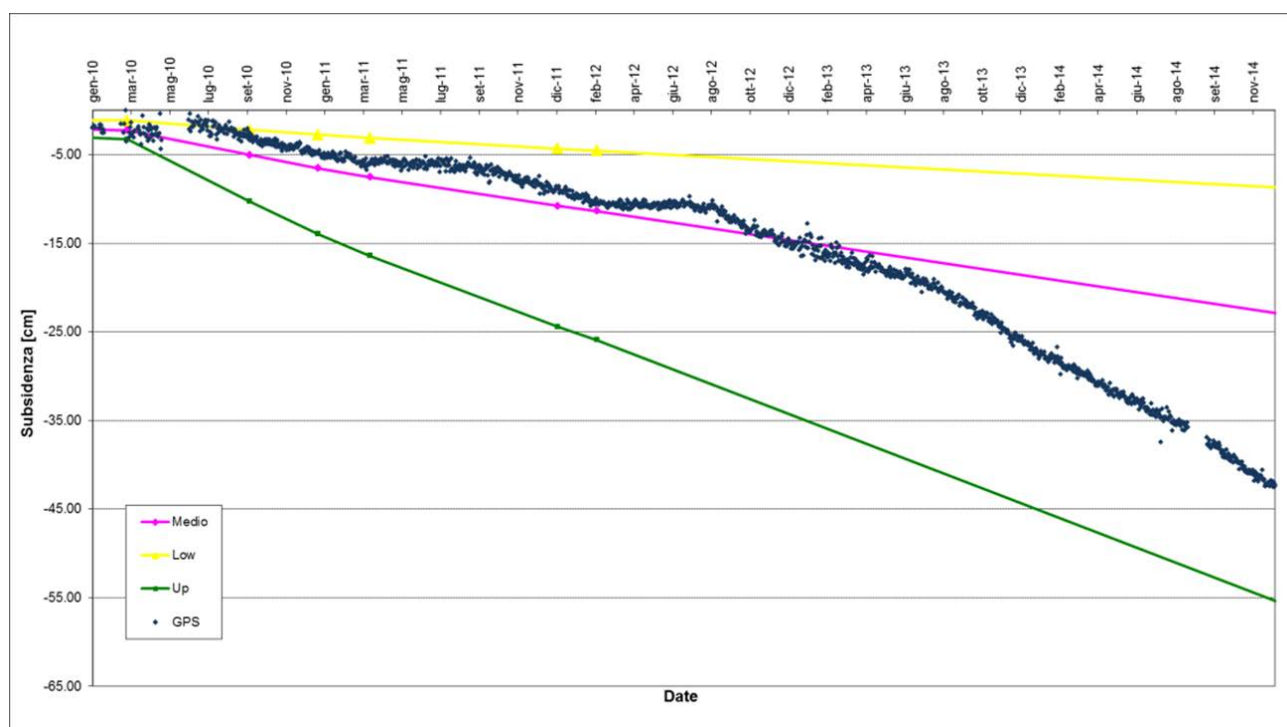


Figura 5 – Confronta fra “subsidenza totale misurata dalla stazione CGPS” installata sulla piattaforma Annamaria B e i valori previsti dal modello geomeccanico del maggio 2012



Compattazione ANNAMARIA							
Spacing	Top ref depth	Bottom ref depth	Sep 2010	Mar 2011	Mar2012	Jul 2013	Sep 2014
	MD	MD	Mar 2010	Sep 2010	Mar 2011	Mar2012	Jul 2013
#	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
48	1288.55	1299.05	2	-1	0	-2	0
47	1293.8	1304.3	2	1	0	-4	0
46	1299.05	1309.55	0	-1	0	-3	4
45	1304.3	1314.8	2	0	1	0	-4
44	1309.55	1320.05	-1	-2	2	-9	-5
43	1314.8	1325.3	-3	-2	-6	-6	-3
42	1320.05	1330.55	0	-1	-5	-4	-2
41	1325.3	1335.8	-1	-2	-3	-7	-6
40	1330.55	1341.05	-1	-2	-3	-8	-5
39	1335.8	1346.3	2	-1	-2	-1	1
38	1341.05	1351.55	-1	0	1	-1	-6
37	1346.3	1356.8	0	-2	-1	-2	-5
36	1351.55	1362.05	-1	-1	-1	-7	-4
35	1356.8	1367.3	-3	1	0	-10	-2
34	1362.05	1372.55	0	-2	1	-4	-4
33	1367.3	1377.8	-1	0	0	-3	-3
32	1372.55	1383.05	-4	1	-1	-2	-8
31	1377.8	1388.3	-4	-2	2	-9	-5
30	1383.05	1393.55	-3	-2	-3	-2	-7
29	1388.3	1398.8	0	-2	-1	-6	-5
28	1393.55	1404.05	0	-3	1	-6	-7
27	1398.8	1409.3	0	0	0	-4	-3
26	1404.05	1414.55	1	1	0	-1	-2
25	1409.3	1419.8	2	-1	1	-5	-5
24	1414.55	1425.05	0	0	0	-13	-4
23	1419.8	1430.3	1	-2	-1	-11	0
22	1425.05	1435.55	0	-1	2	-7	-2
21	1430.3	1440.8	0	-2	4	-5	-3
20	1435.55	1446.05	2	-2	1	-4	1
19	1440.8	1451.3	1	-2	3	-3	-1
18	1446.05	1456.55	1	0	-1	1	3
17	1451.3	1461.8	1	1	2	-4	2
16	1456.55	1467.05	0	1	-2	0	-1
15	1461.8	1472.3	-1	1	2	-3	0
14	1467.05	1477.55	-1	2	1	-3	2
13	1472.3	1482.8	-1	0	0	1	-1
12	1477.55	1488.05	1	1	1	-2	4
11	1482.8	1493.3	2	-4	2	0	0
10	1488.05	1498.55	2	-1	3	-2	-2
7	1738	1748.5	-2	-2	2	-3	-3
6	1743.25	1753.75	-4	-1	-5	-11	6
5	1748.5	1759	-2	-2	-4	-5	-6
4	1753.75	1764.25	-3	-1	-8	-7	-5
3	1759	1769.5	5	-1	-3	-9	-6
2	1764.25	1774.75	4	-4	0	-	-

Figura 6 - Misure di compattazione *in-situ* (da FSMT) da spacing #2 a spacing #48



Compattazione ANNAMARIA							
Spacing	Top ref depth	Bottom ref depth	Sep 2010	Mar 2011	Mar2012	Jul 2013	Sep 2014
	MD	MD	Mar 2010	Sep 2010	Mar 2011	Mar2012	Jul 2013
#	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
99	970	980.5	2	1	2	1	2
98	975.25	985.75	-1	0	0	1	1
97	980.5	991	-5	3	-3	-2	4
96	985.75	996.25	0	-1	0	0	0
95	991	1001.5	2	2	-3	-1	1
92	1057.55	1068.05	1	3	-2	0	2
91	1062.8	1073.3	3	-4	2	-2	-1
90	1068.05	1078.05	1	0	0	-3	4
89	1073.3	1083.8	-3	4	4	-11	5
88	1078.05	1089.05	2	4	-6	-1	1
87	1083.8	1094.3	1	-1	-5	7	0
86	1089.05	1099.55	2	-1	1	7	-14
85	1094.3	1104.8	2	0	2	-4	3
84	1099.55	1110.05	2	1	1	0	0
83	1104.8	1115.3	-3	-1	1	-1	2
82	1110.05	1120.55	-1	1	4	0	-3
81	1115.3	1125.8	4	-4	3	-3	1
80	1120.55	1131.05	-1	-6	6	-2	5
79	1125.8	1136.3	-2	-2	3	-3	-4
78	1131.05	1141.55	2	1	1	-4	-2
77	1136.3	1146.8	4	1	-4	-2	12
76	1141.55	1152.05	-4	2	-2	1	2
75	1146.8	1157.3	-1	-3	3	-3	-4
74	1152.05	1162.55	1	1	-3	-2	5
73	1157.3	1167.8	1	-1	1	-2	-3
72	1162.55	1173.05	2	-5	5	-4	-4
71	1167.8	1178.3	0	2	-3	-6	-3
70	1173.05	1183.55	-6	3	-2	-13	-15
69	1178.3	1188.8	-2	0	0	-9	-46
68	1183.55	1194.05	2	-2	0	-14	-46
67	1188.8	1199.3	-4	1	-2	-14	-18
66	1194.05	1204.55	2	-1	-2	-5	-11
65	1199.3	1209.8	-1	0	-3	-1	-4
64	1204.55	1215.05	3	0	-2	-3	5
63	1209.8	1220.3	-3	2	1	0	-5
62	1215.05	1225.55	1	-3	1	0	2
61	1220.3	1230.8	0	-2	2	-2	2
60	1225.55	1236.05	-1	0	-2	3	-5
59	1230.8	1241.3	2	-3	2	-1	0
58	1236.05	1246.55	1	0	-2	-5	-5
57	1241.3	1251.8	-3	2	-1	1	-3
56	1246.55	1257.05	1	3	0	-14	-1
55	1251.8	1262.3	-2	2	3	-9	-12
54	1257.05	1267.55	-4	4	0	-7	-14
53	1262.3	1272.8	-2	-1	-5	-4	-12
52	1267.55	1278.05	1	-1	-4	-10	-15
51	1272.8	1283.3	-4	-2	2	-12	-22
50	1278.05	1288.55	-4	-2	-4	-6	-18
49	1283.3	1293.8	-1	-2	-3	-3	-10

Figura 17 - Misure di compattazione in-situ (da FSMT) da spacing #49 a spacing #99

campo ANNAMARIA - ANNAMARIA B (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA: GAB-DEC-2008-0000271 del 12.12.2008 poi modificato alla lett. C con GAB-DEC-2009-0000093 del 31.07.2009	
		AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNAMARIA)	
UBICAZIONE	offshore - 60 Km dalla costa marchigiana		
PROFONDITA' FONDALE	55-65 m		
LITOLOGIA	silt-sabbie fini in livelli sottili		
FORMAZIONE RESERVOIR	Ravenna - Carola		
ZONA MINERARIA	PI.02 - PI.01 - PI.0		
PROFONDITA' RESERVOIR	570 - 1015 (TVOSS)		
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa - standard		
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili		
	D.M @dic '08	@ 31 dic 2014	
CONCESSIONE	A.C11.AG		
DATA SCADENZA CONCESSIONE	23/10/2019		
N. POZZI	12	12 + 2	
(Annamaria A)	6	6	
(Annamaria B)	6	6+2	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)			
Annamaria B	8793	8022	
campo Annamaria (p.me Annmaria A+B)	18130	12437	
START UP PRODUZIONE (Annamaria B)	mar-10		
(Annamaria A)	mar-09		
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2038	2039	
GAS PRODOTTO campo (MSm3)	0	4049	
(Annamaria A)	0	1958	
(Annamaria B)	0	2091	
% RISERVE PRODOTTE (campo)		32,6%	
(rispetto alla prod. totale del campo al 31/12/2011)			
		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
		LIVELLAZIONI	
		ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014.	
		I DATI SONO STATI CERTIFICATI DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM	
		IL PROSSIMO RILIEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI	
		LA PERIODICITA' DEL RILIEVO E' ,COMUNQUE, PRESCRITTA OGNI 3 ANNI	
		MARKERS	
		MARKERS SU ANNAMARIA B11: ULTIMO SURVEY @ settembre 2014	
		survey eseguiti : marzo 2010 (rilevo base), settembre 2010, marzo 2011, aprile 2012, luglio 2013	
		CGPS	
		NEL GENNAIO DEL 2010 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA	
		SAR	
		ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT 2014 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.M.A ANNAMARIA B NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	
		BATIMETRIE	
		RILIEVO BATIMETRICO effettuato tra aprile-giugno 2009 (area italiana) e ottobre-dicembre 2009 (area croata)	





Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2014

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

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

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

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

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

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

L'analisi e il confronto dei SAR, non calibrati e acquisiti in un'area circolare (raggio di circa 150 m) intorno alla stazione CGPS di Smarlacca, hanno mostrato come questi sottostimino di -3,0 mm/a la componente verticale della velocità media d'abbassamento rispetto alla misura CGPS; per tale motivo ai valori di detta velocità media ottenuti con la tecnologia SAR è stata applicata una correzione pari a -3,0 mm/a.

Si sono poi confrontati tali dati SAR con le misure dei CGPS di Manara, Smarlacca e Spinaroni considerando i punti SAR disponibili in un'area circolare (raggio pari a 200 m) intorno a

stazioni. Il confronto ha mostrato differenze inferiori a 1 mm/a tra le misure CGPS e i dati SAR calibrati, confermando la bontà della calibrazione effettuata.

Analogamente a quanto fatto anche negli anni precedenti, tutti gli altri data-set SAR, acquisiti a sud di quello dell'area ravennate, sono stati calibrati confrontando tra loro le componenti verticali della velocità d'abbassamento del suolo nelle rispettive aree di sovrapposizione. Tale confronto mostra mediamente una differenza di circa -3 mm/a in ognuno dei data-set analizzati. Detta differenza è stata ovviamente corretta nel processo di calibrazione.



Fig. 1A – Mappa calibrazione dati SAR

Per verificare la correttezza di tutto il processo, sono state poi confrontate le velocità medie dei punti SAR, ricadenti in un raggio di 200 metri dalle postazioni CGPS di Fano e di Falconara (area di Ancona), con le velocità misurate dai CGPS, anche se per periodi inferiori alla serie storica SAR. La differenza riscontrata è stata inferiore a 2 mm/a, valore che, considerata anche la diversa scala temporale, ricade nel campo d'errore strumentale di entrambi i sistemi di misura.

Nella zona situata nell'intorno della stazione CGPS di Rubicone (area SAR di Rimini), i dati SAR mostrano un movimento verticale d'abbassamento fino al 2008 e di sostanziale stabilità poi per il periodo successivo. Le misure CGPS di detta stazione, installata nel dicembre 2007, confermano invece la sostanziale stabilità della zona a parità di osservazione temporale. Si può ritenere, quindi, che la differenza di velocità media riscontrata tra i dati SAR e i dati CGPS (pari a circa 2 mm) sia dovuta al diverso periodo di osservazione. Per tale motivo non si può fare un confronto diretto tra le velocità SAR e quelle CGPS senza avere opportunamente definito i tempi di riferimento. Per controllare il trend regionale dell'intera area in esame, è stata fatta un'analisi delle differenze tra la mappa d'interpolazione dati del data-base 2003-2013 e la corrispondente mappa d'interpolazione dati del data-base 2003-2014 (per l'interpolazione si è impiegato l'algoritmo IDW – Inverse Distance Weighted in ambiente GIS). Come rappresentato nelle Fig. 2A e Fig. 3A, non ci sono evidenti differenze di valori per l'intera area, se non nella zona adiacente al porto di Ravenna, per la quale, dopo attenta analisi, si è riscontrata una mancanza di dati per la scarsa coerenza del segnale SAR. Ciò ha prodotto un artefatto numerico, privo di significato fisico, nelle relative mappe d'interpolazione.

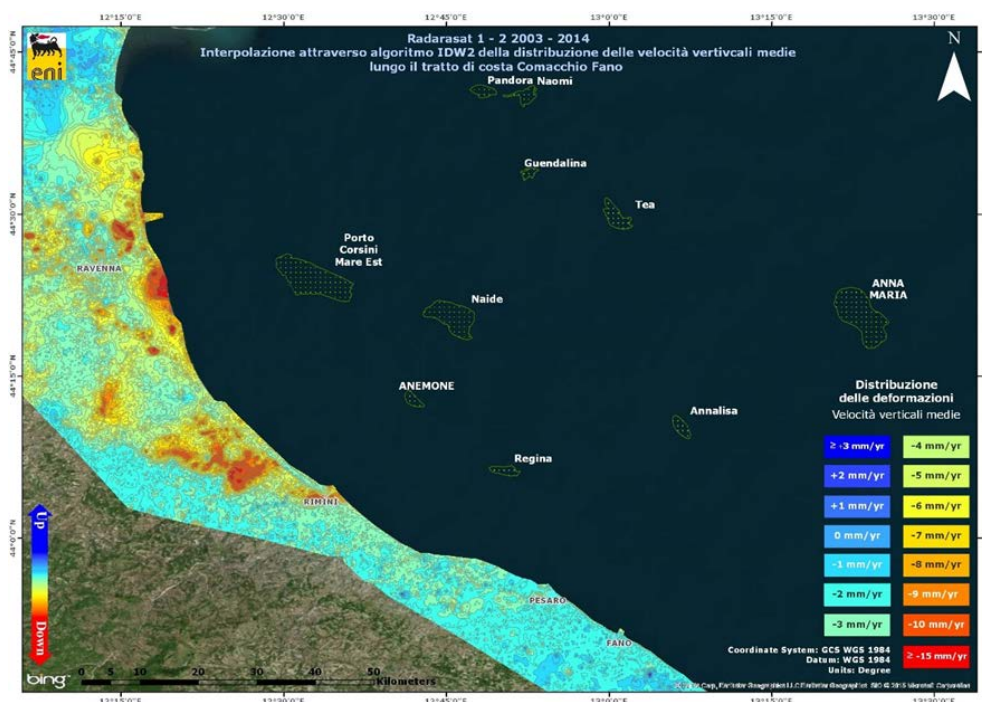


Fig. 2A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 - 2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

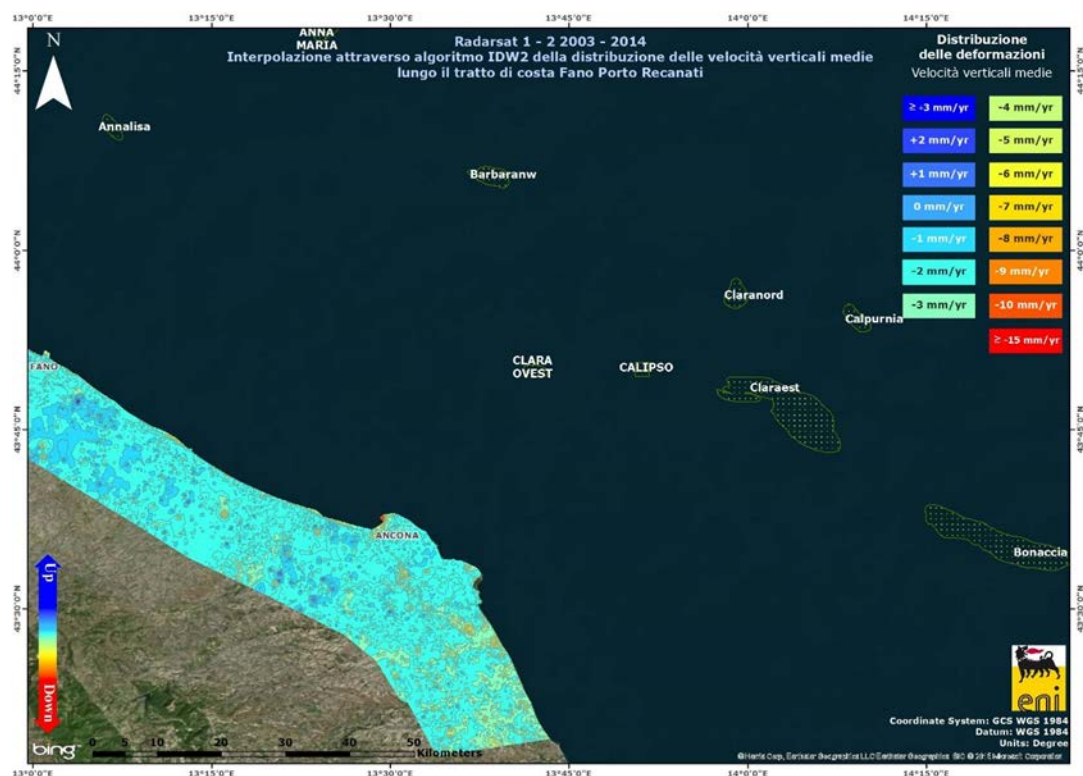


Fig. 3A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

Confronto dati SAR 2003 – 2013 vs. 2003 – 2014

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

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

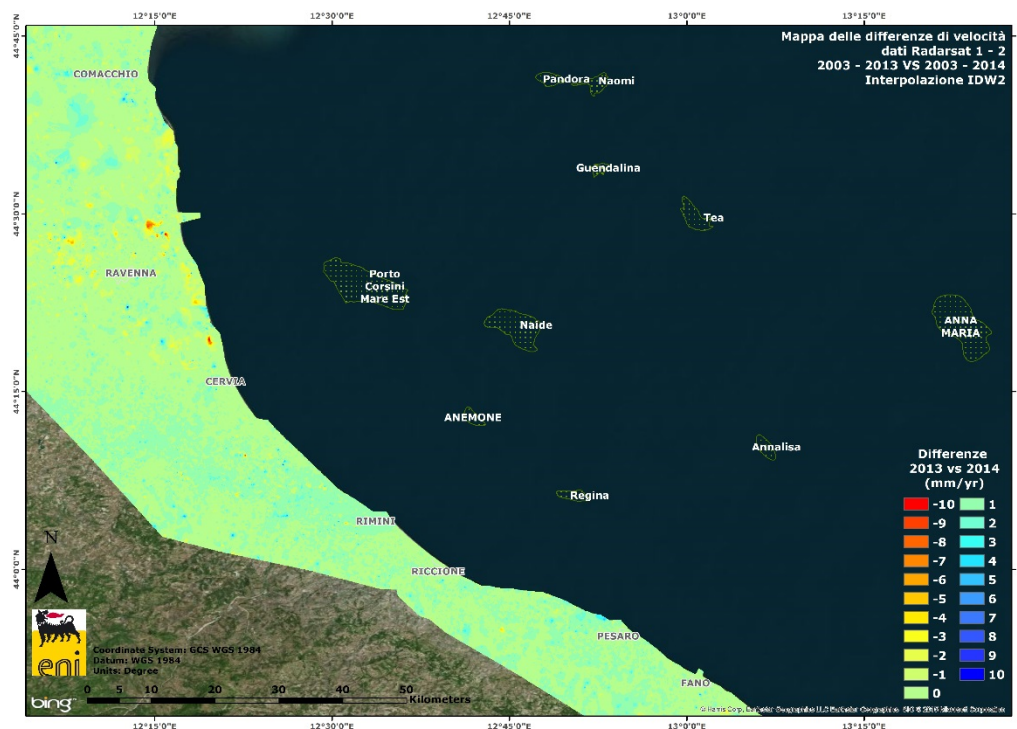


Fig. 4A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

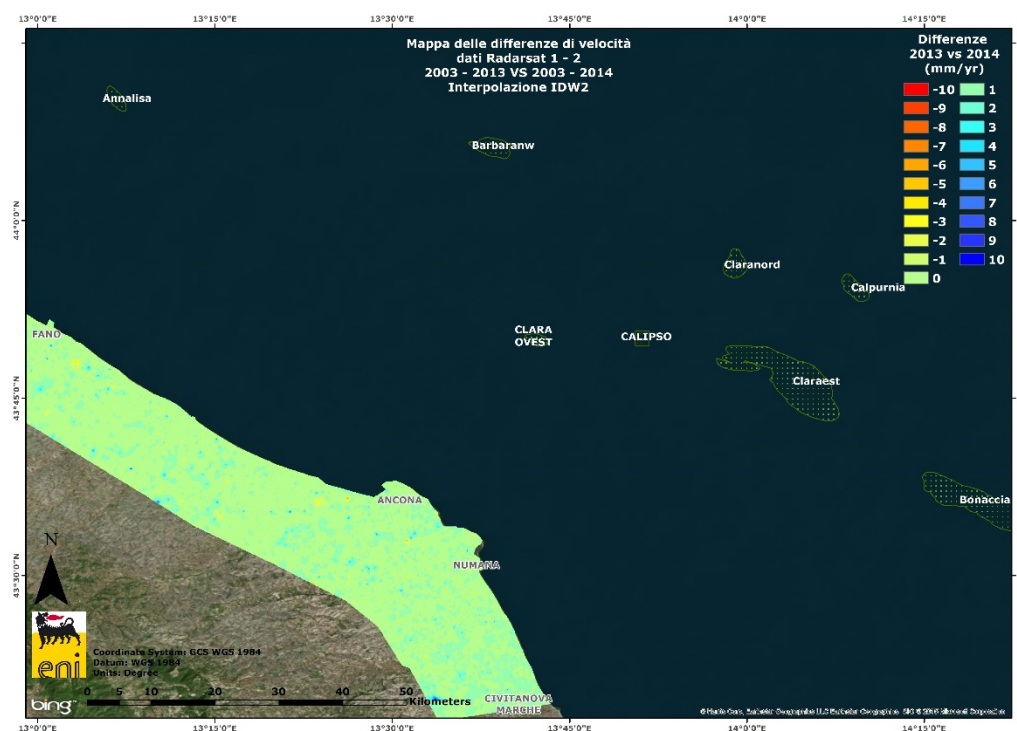


Fig. 5A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

Confronto dati SAR vs. Livellazione

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

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

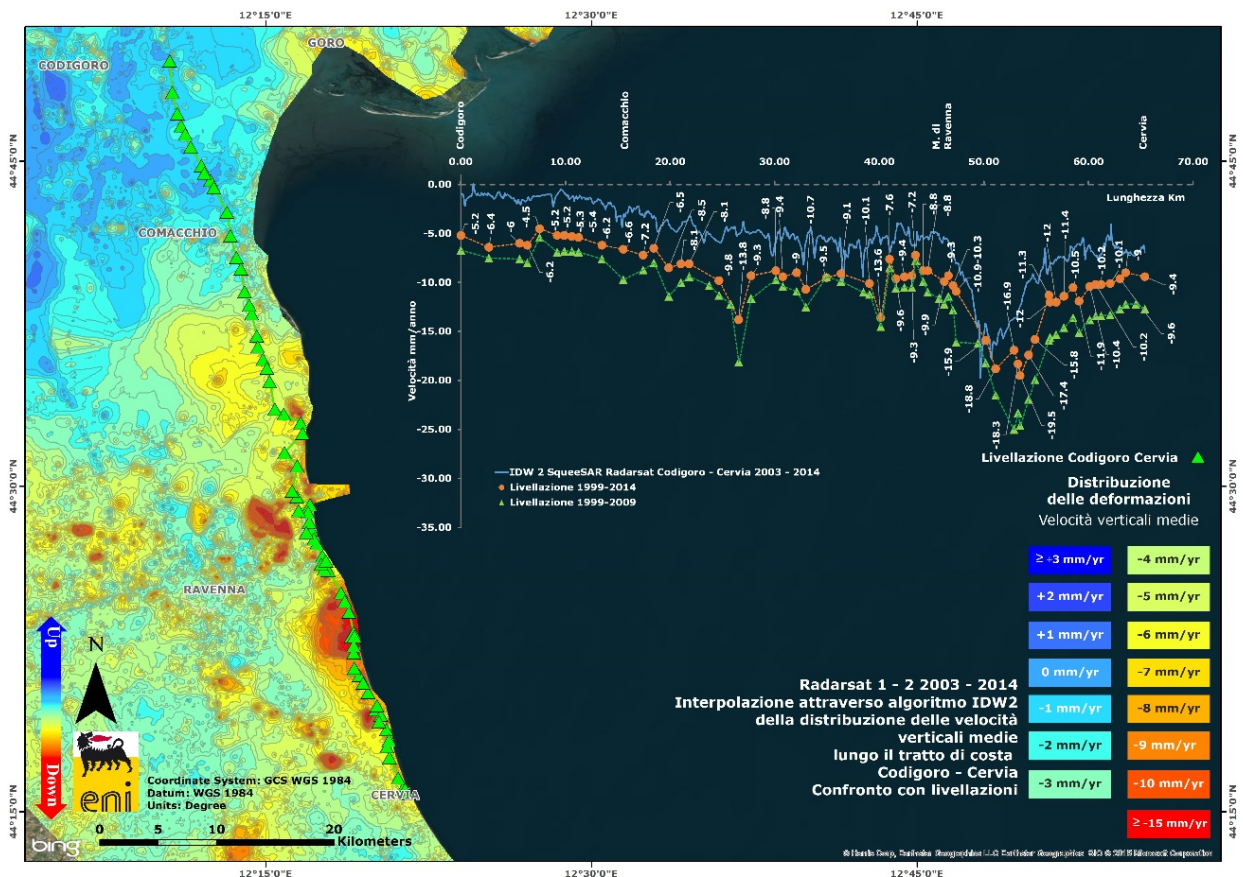


Fig. 6A – Tratto Codigoro – Cervia: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014e le campagne di livellazione 1999-2009 e 1999-2014

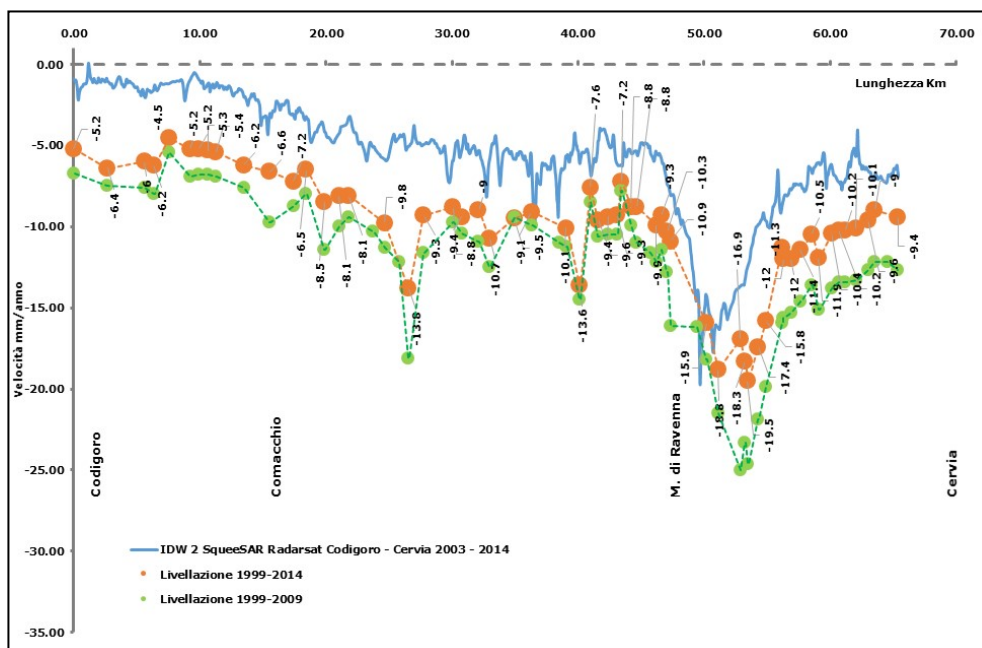


Fig. 7A – Tratto Codigoro – Cervia: dettaglio del grafico di confronto (Fig. 6A) tra il database Radarsat 1-2 (1999-2014) e le campagne di livellazione (1999-2014).

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

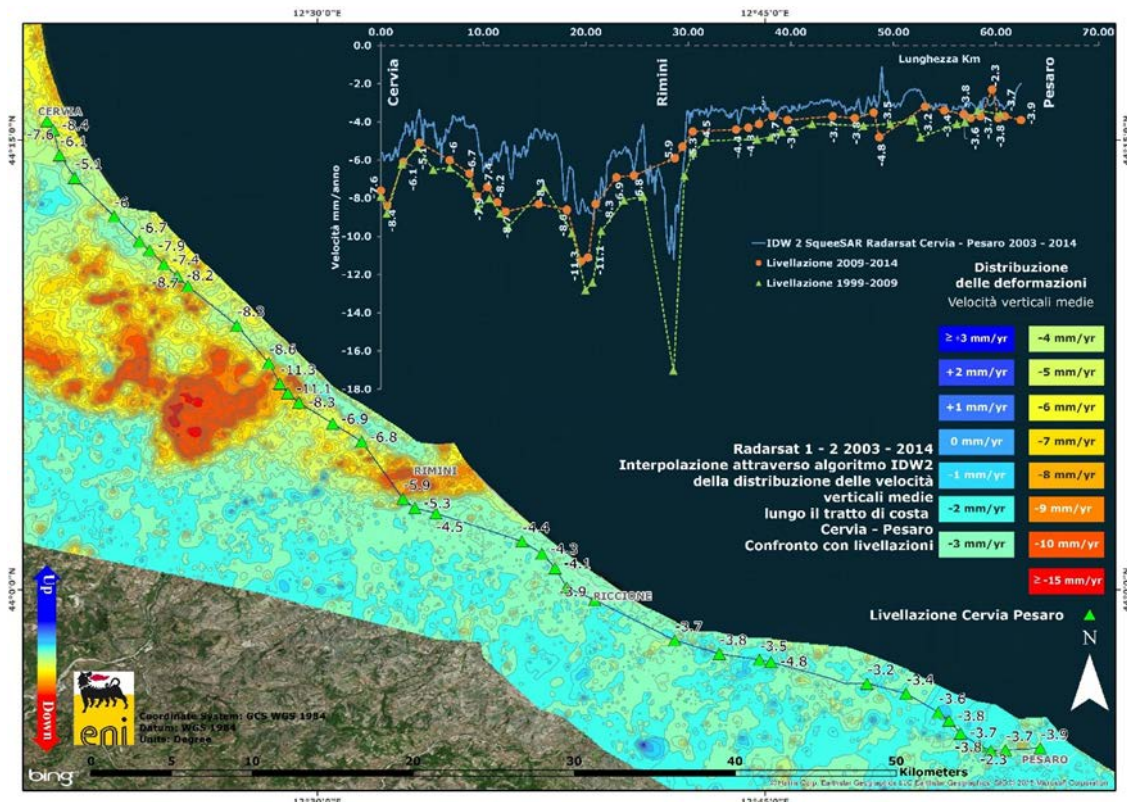


Fig. 8A – Tratto Cervia-Pesaro: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014

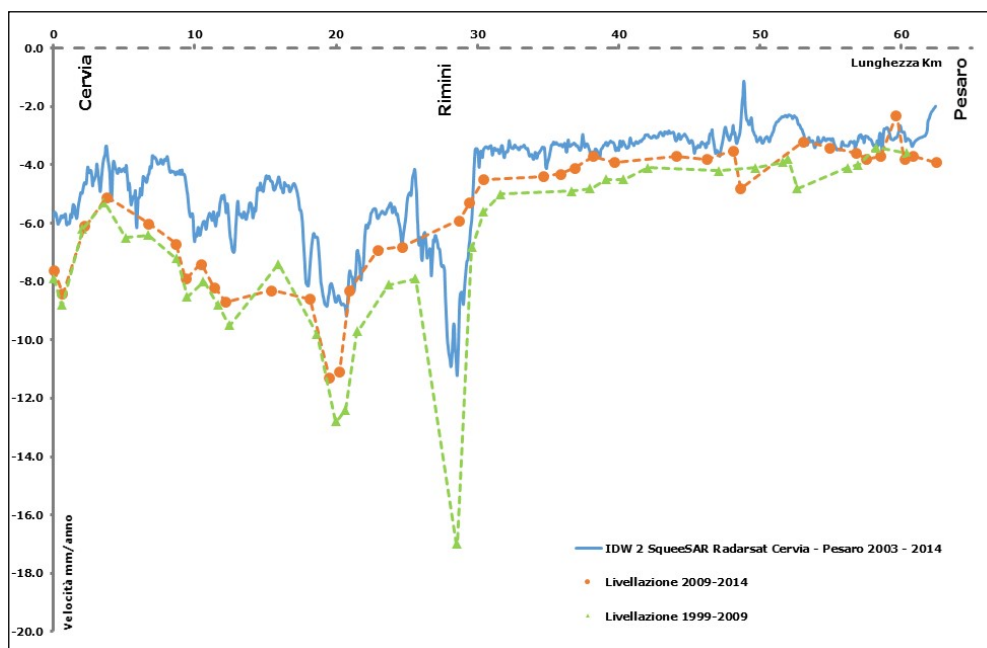


Fig. 9A – Tratto Cervia – Pesaro: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014.

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

Tale anomalia è da attribuirsi alla perdita del caposaldo 00305400

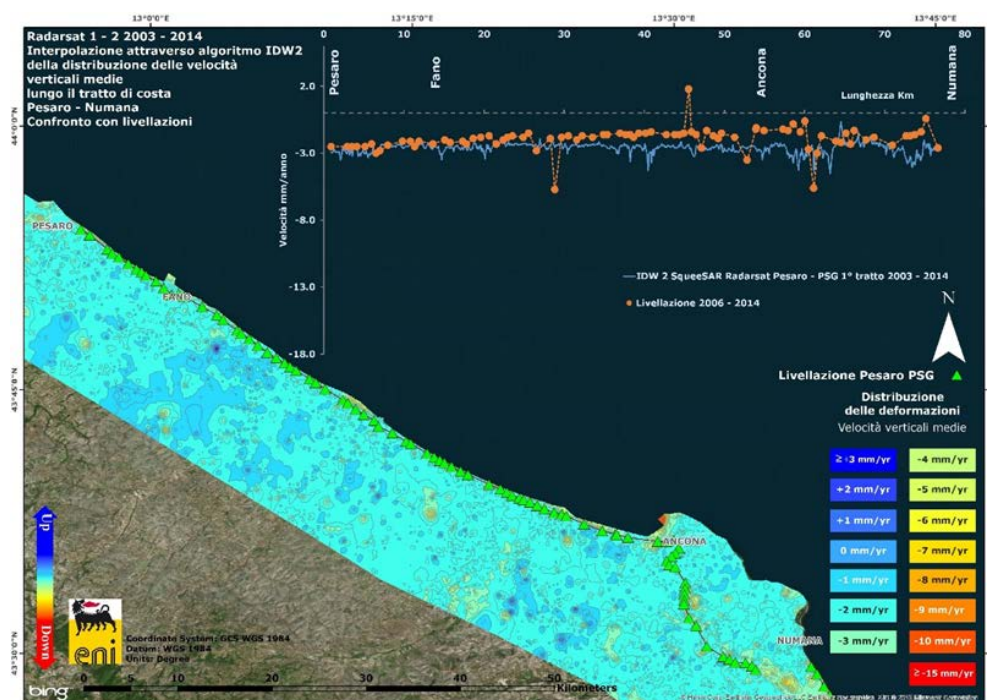


Fig. 10A – Tratto Pesaro – Numana: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

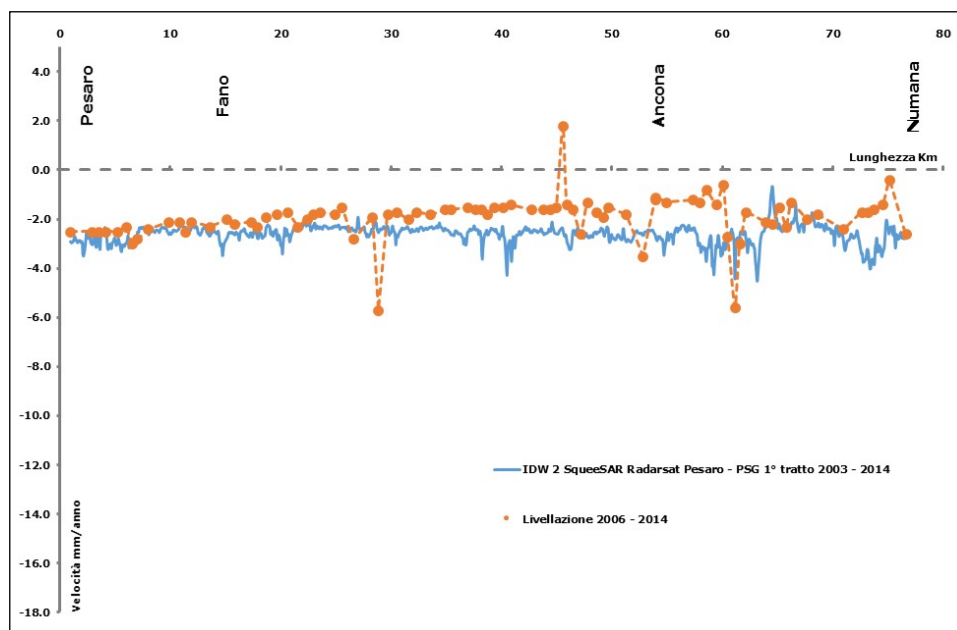


Fig. 11A – Tratto Pesaro – Numana: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014.
Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

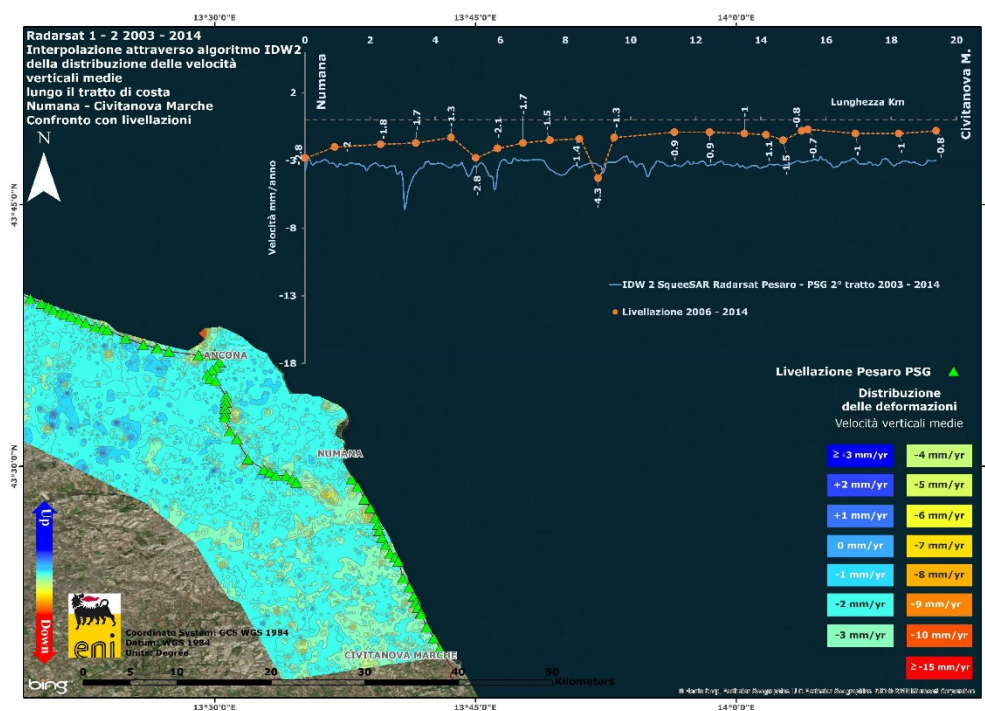


Fig. 12A – Tratto Numana – Civitanova Marche: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

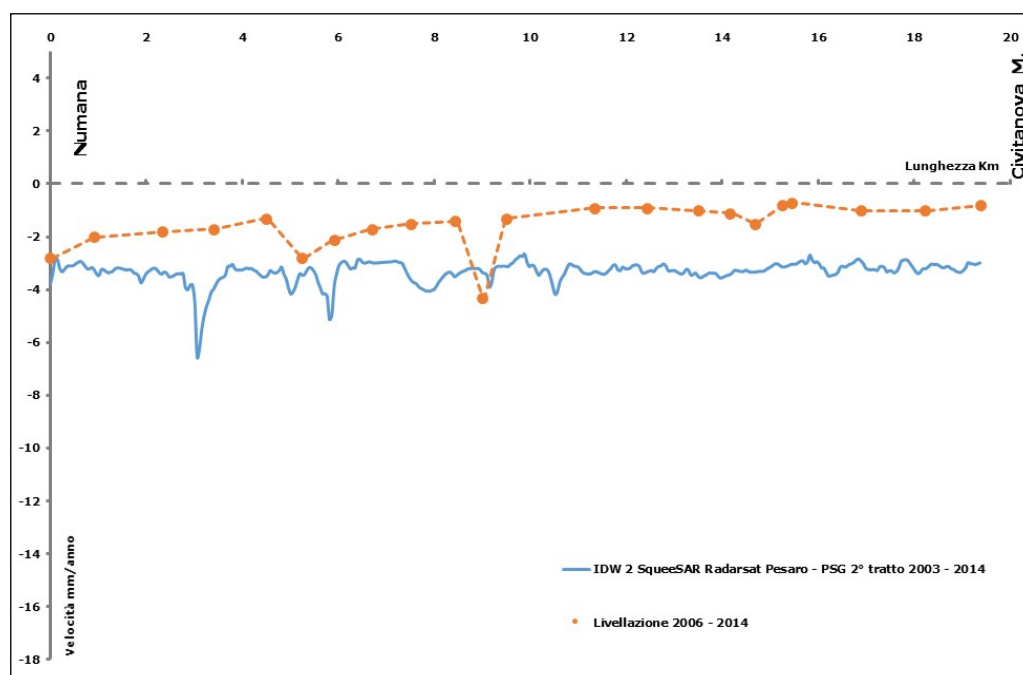


Fig. 13A – Tratto Numana – Civitanova Marche: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radar-sat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014.
Non si notano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

Appendice 2: stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Cervia 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 2A.

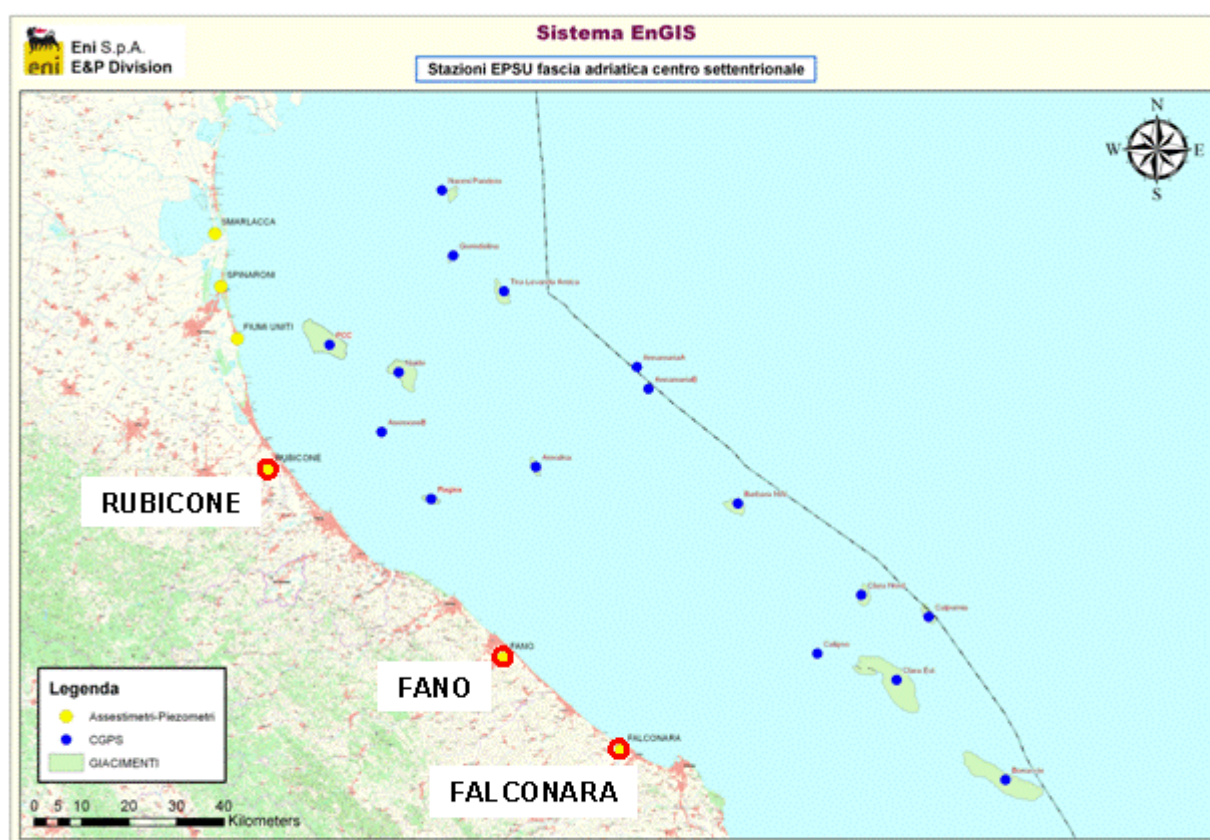


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU.

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.

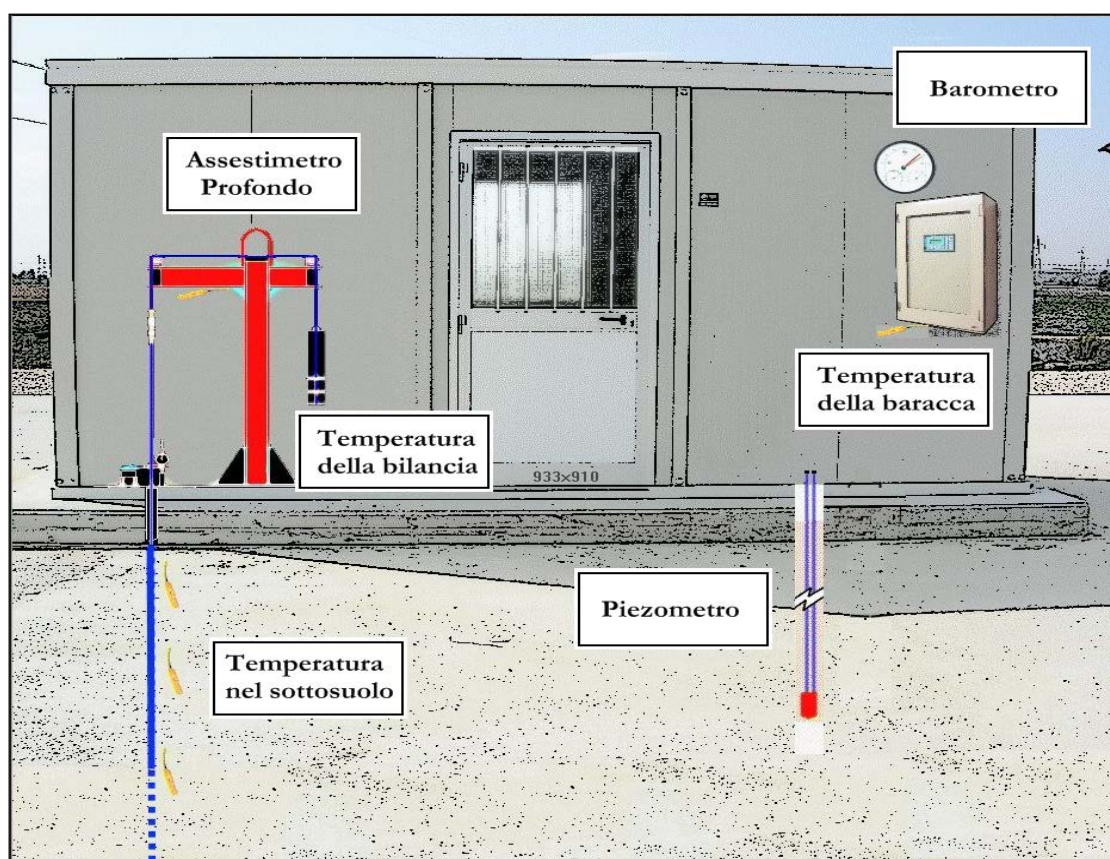


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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 assestimentriche 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'assestimento 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 assestimento 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 assestimentrica 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 assestimentriche. 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'assestimento.

Un'analisi qualitativa delle due serie temporali di misure (assestimentriche 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

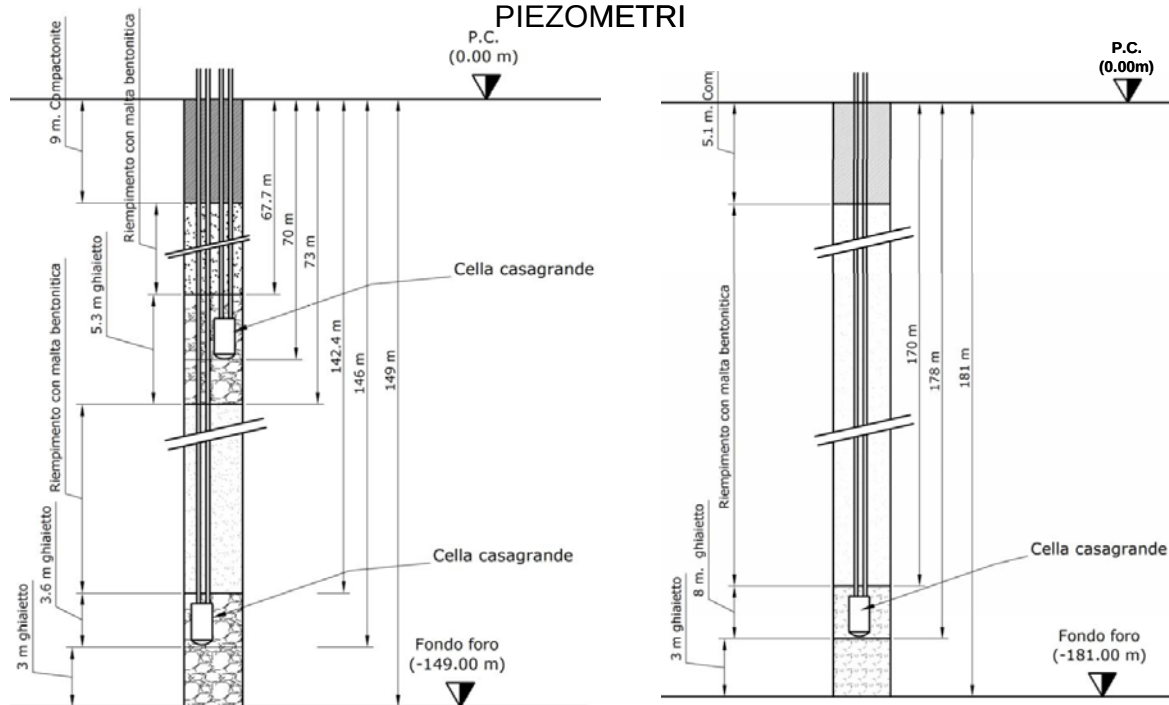
Nei grafici dei piezometri l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

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

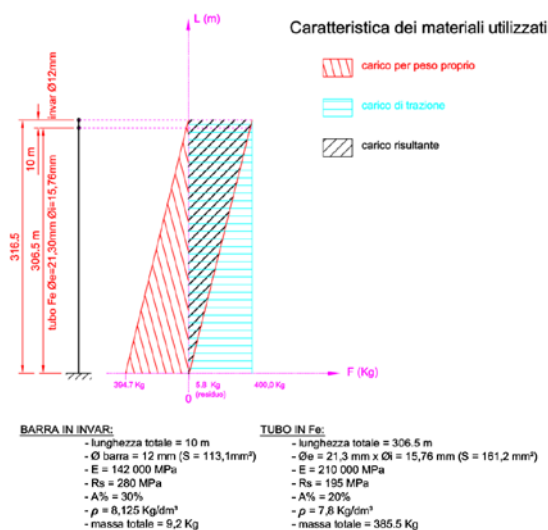
RUBICONE PIEZOMETRI

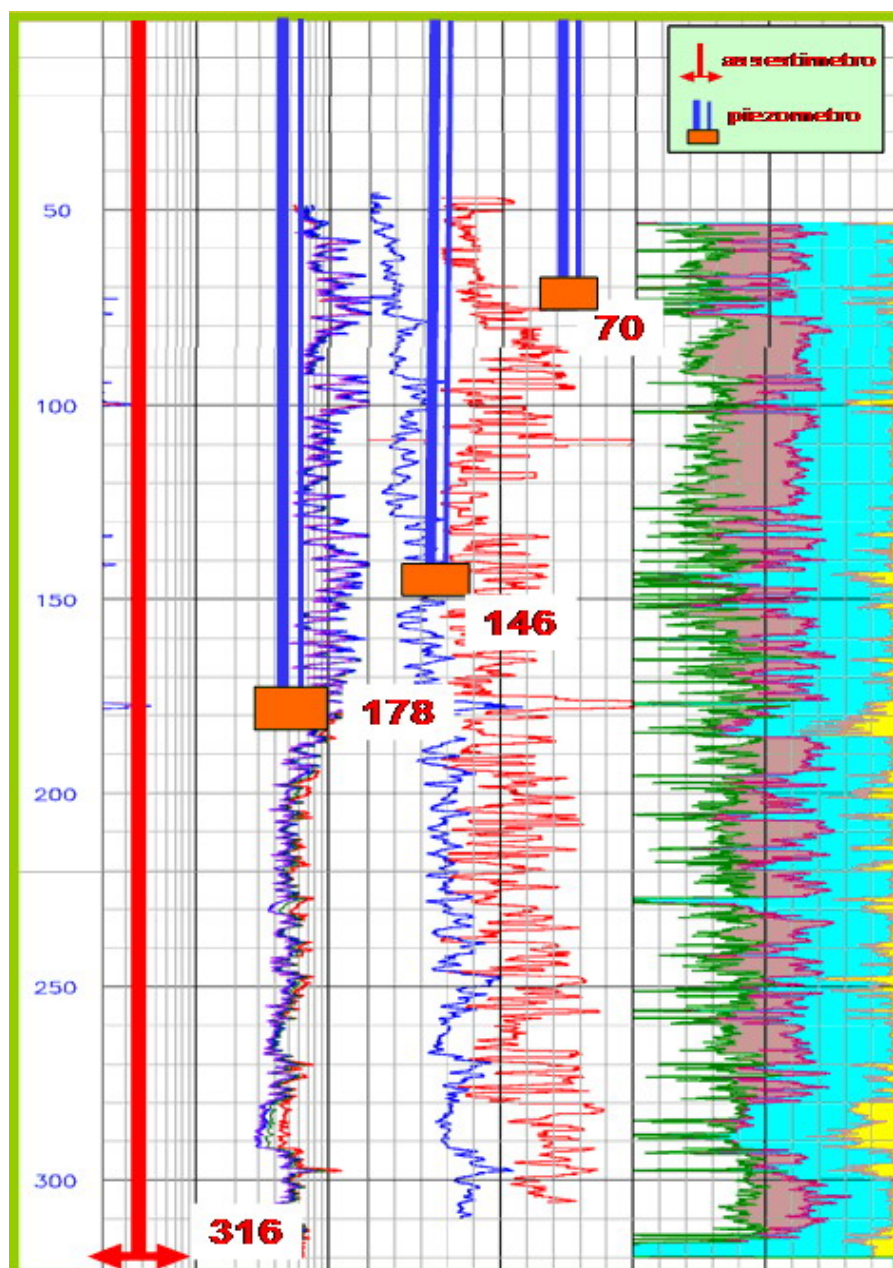


non in scala

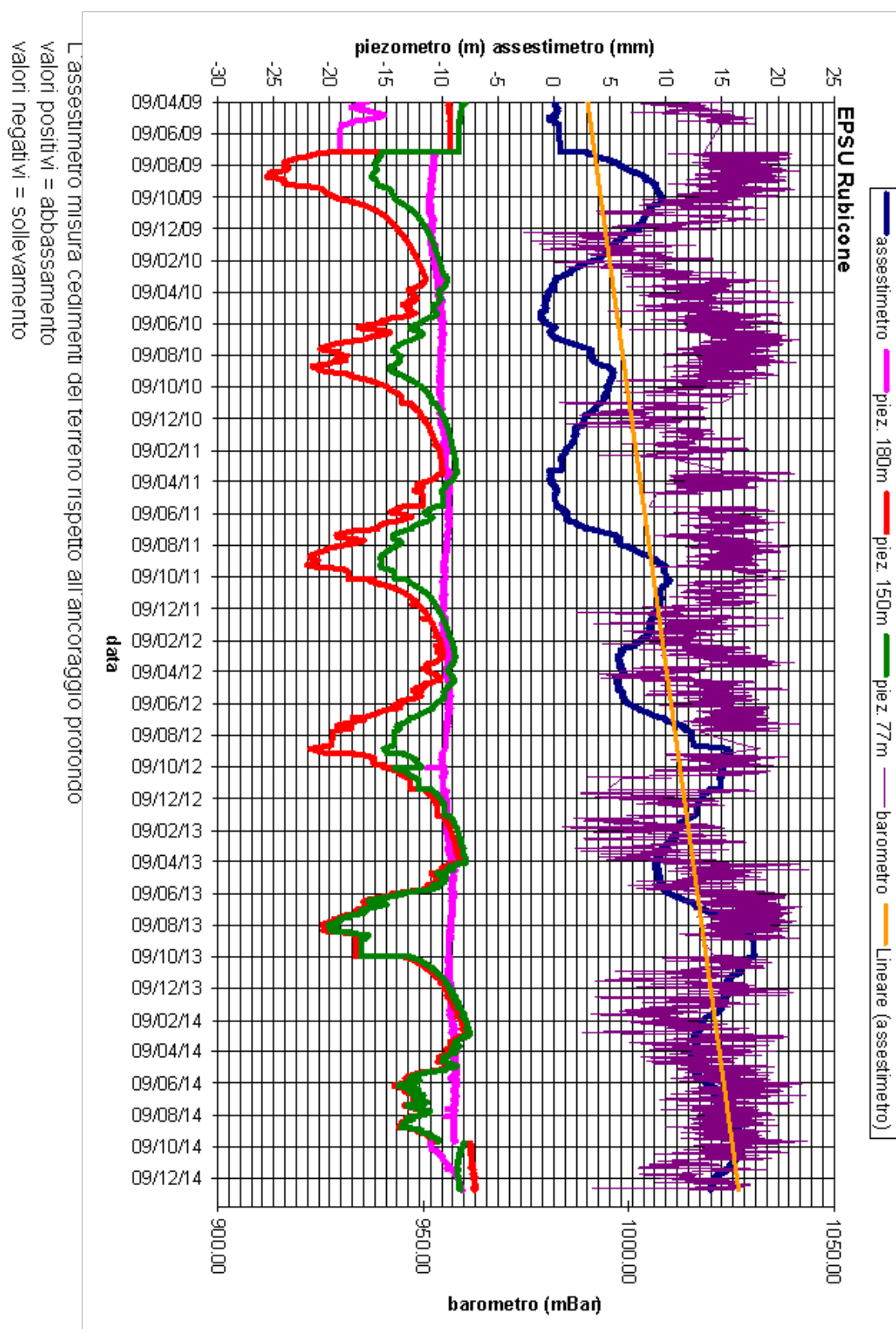
RUBICONE ASSESTIMETRO

- 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.

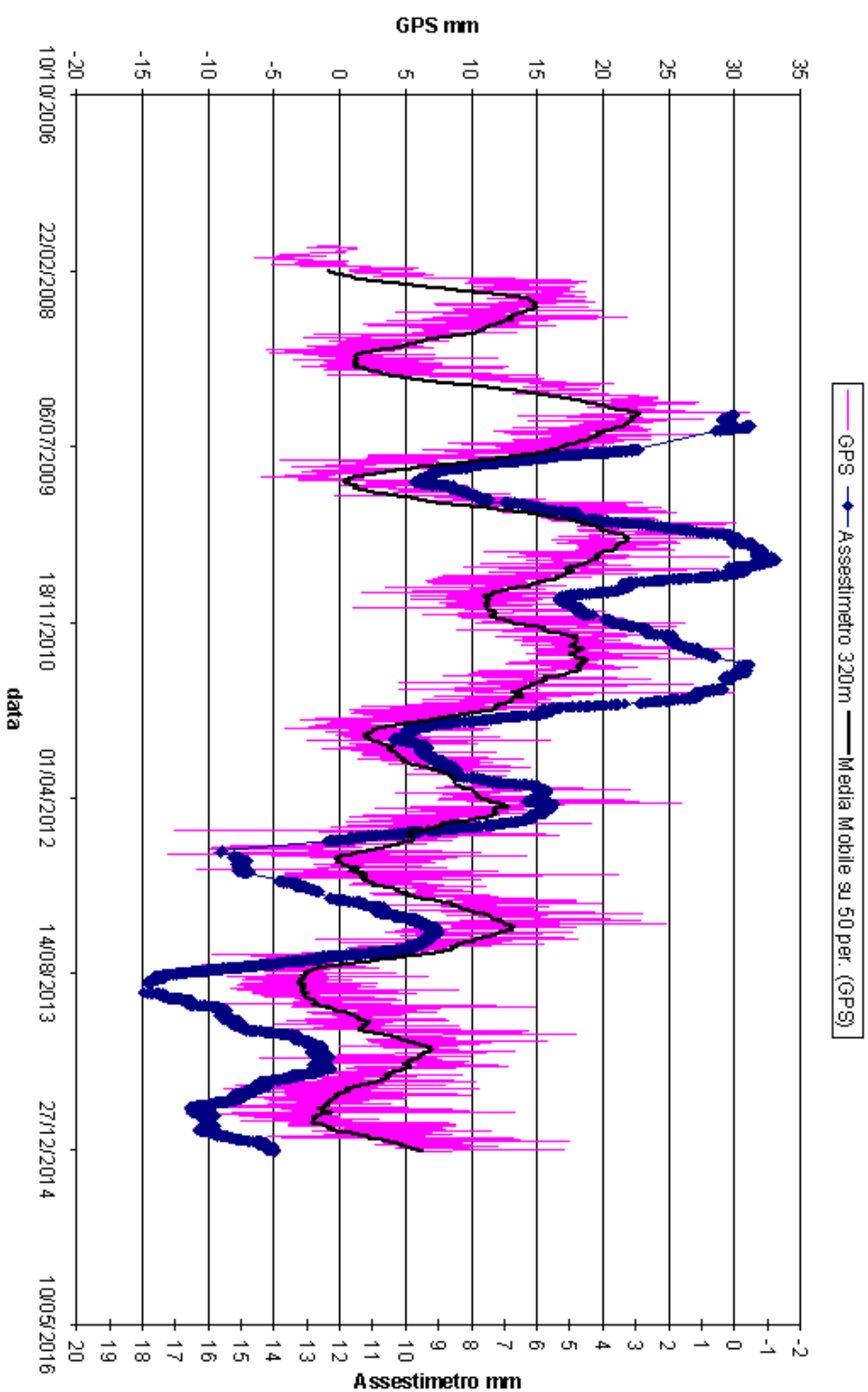




Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.



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 sostituita parte dell'hardware del sistema d'acquisizione.

L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata nel dicembre 2014.

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

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



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

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

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

Pur con un andamento oscillatorio nel tempo, non si nota nel grafico allegato un trend crescente di compattazione nel tempo. Le misure assestometriche 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 (assestometriche e geodetiche GPS – vedere grafico all.) mostra poi come queste siano ben correlate tra loro con “pulsazioni” del terreno (espansioni e compattazioni) di piccolissima entità. Gli andamenti di entrambe le curve ben si correlano a loro volta con le oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere, come del resto si è osservato in precedenza.

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico:

- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestometrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indi-

 eni spa exploration & production division	Campo di ANNAMARIA Novembre 2015	Page - 52 - of 65
---	-------------------------------------	-------------------

cano sollevamenti del terreno e viceversa).

Analisi dei dati piezometrici

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

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

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

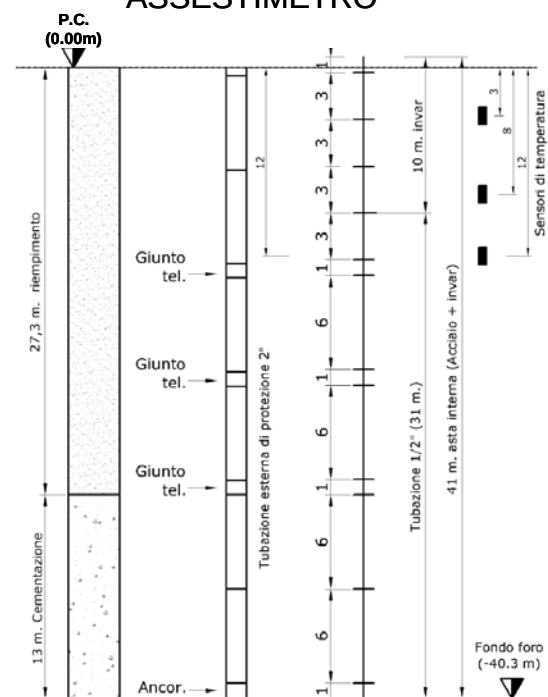
Nel dicembre del 2014 si è fatta la manutenzione dei piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un freatimetro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori. Le differenze riscontrate sono risultate sempre molto piccole, dell'ordine di 2-3 cm,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



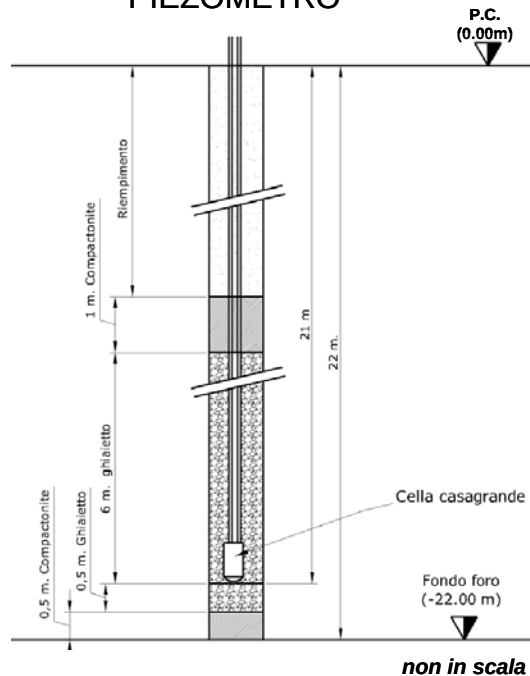
Campo di ANNAMARIA
Novembre 2015

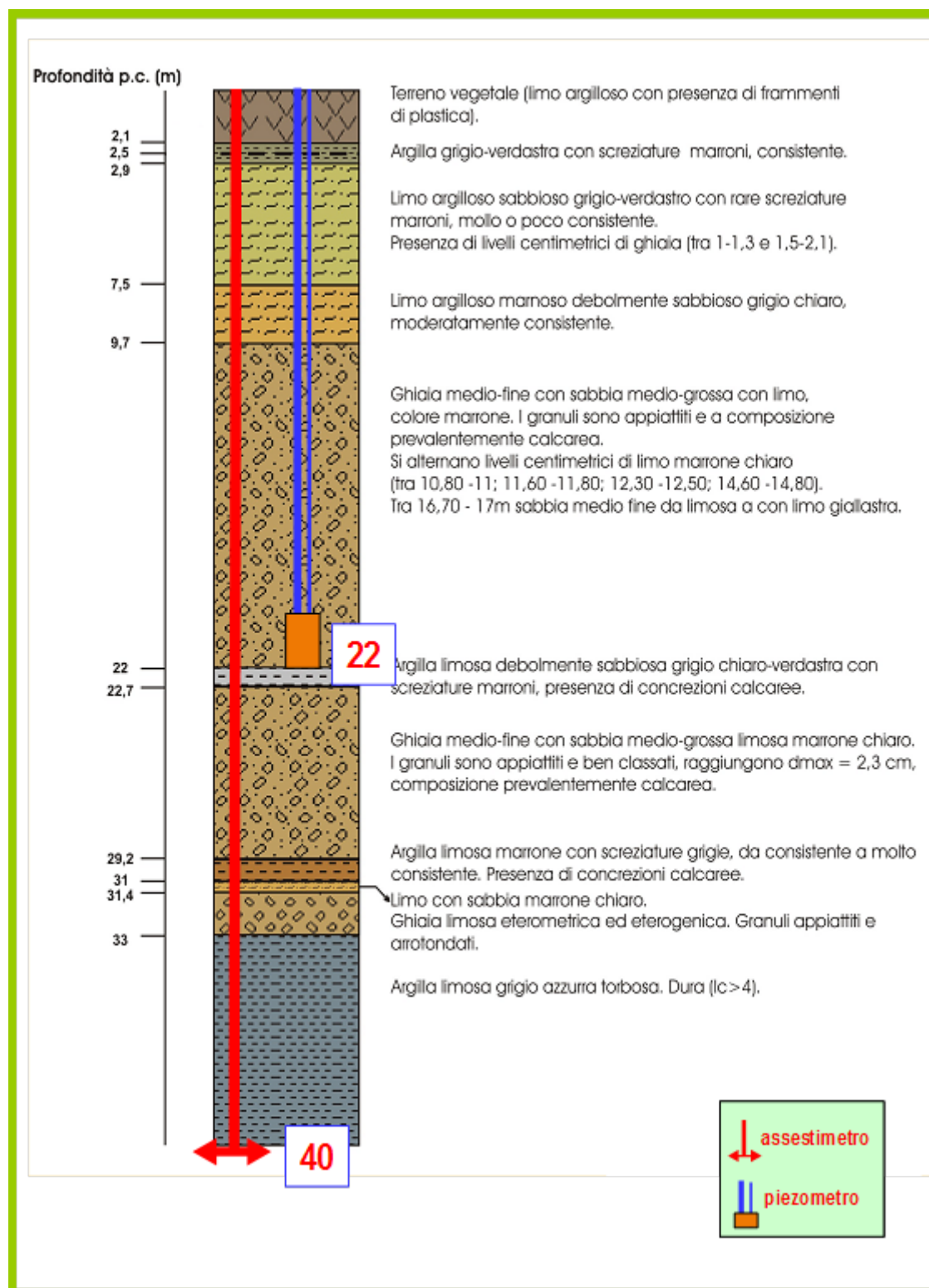
Page - 53 - of 65

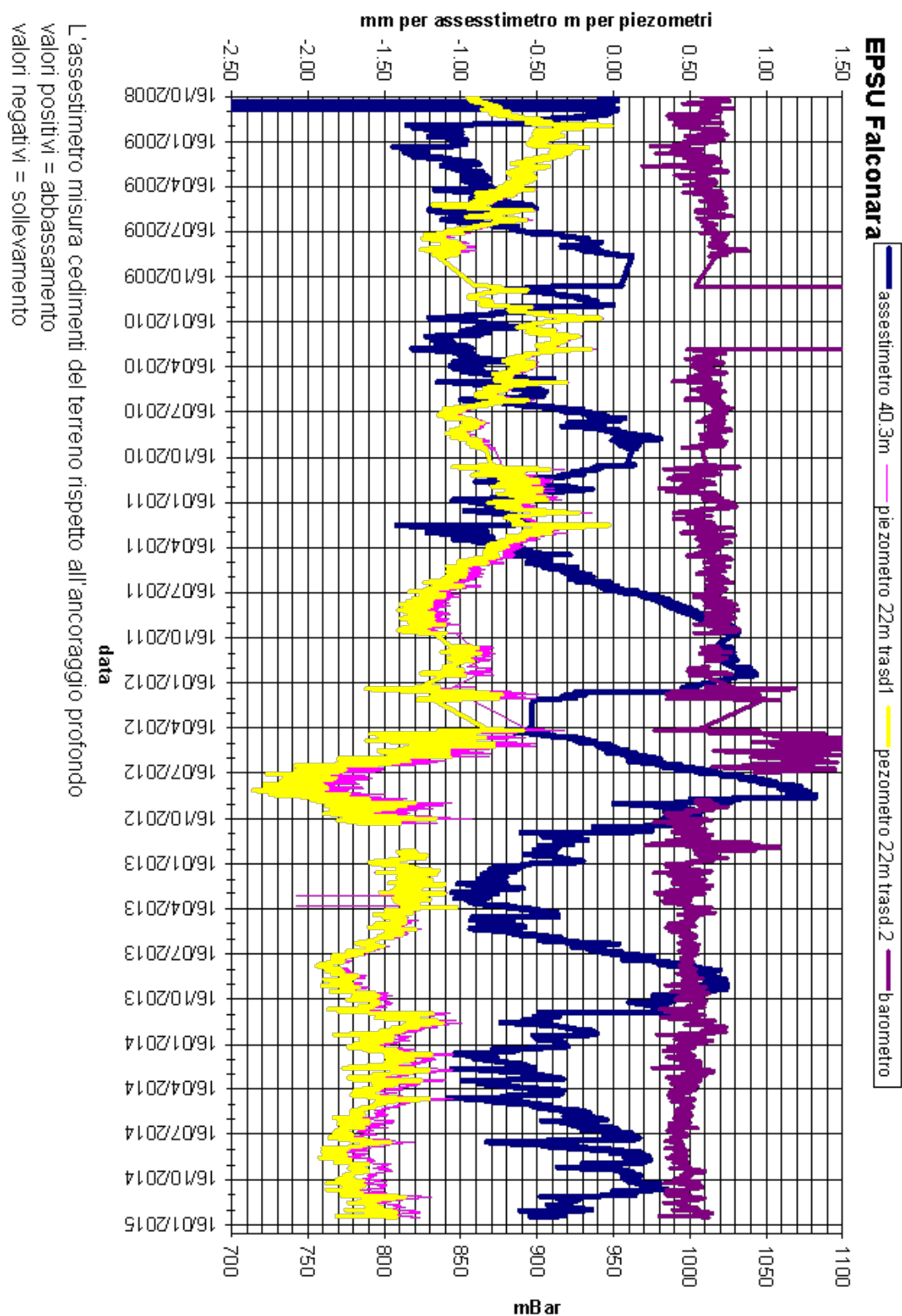
ASSESTIMETRO



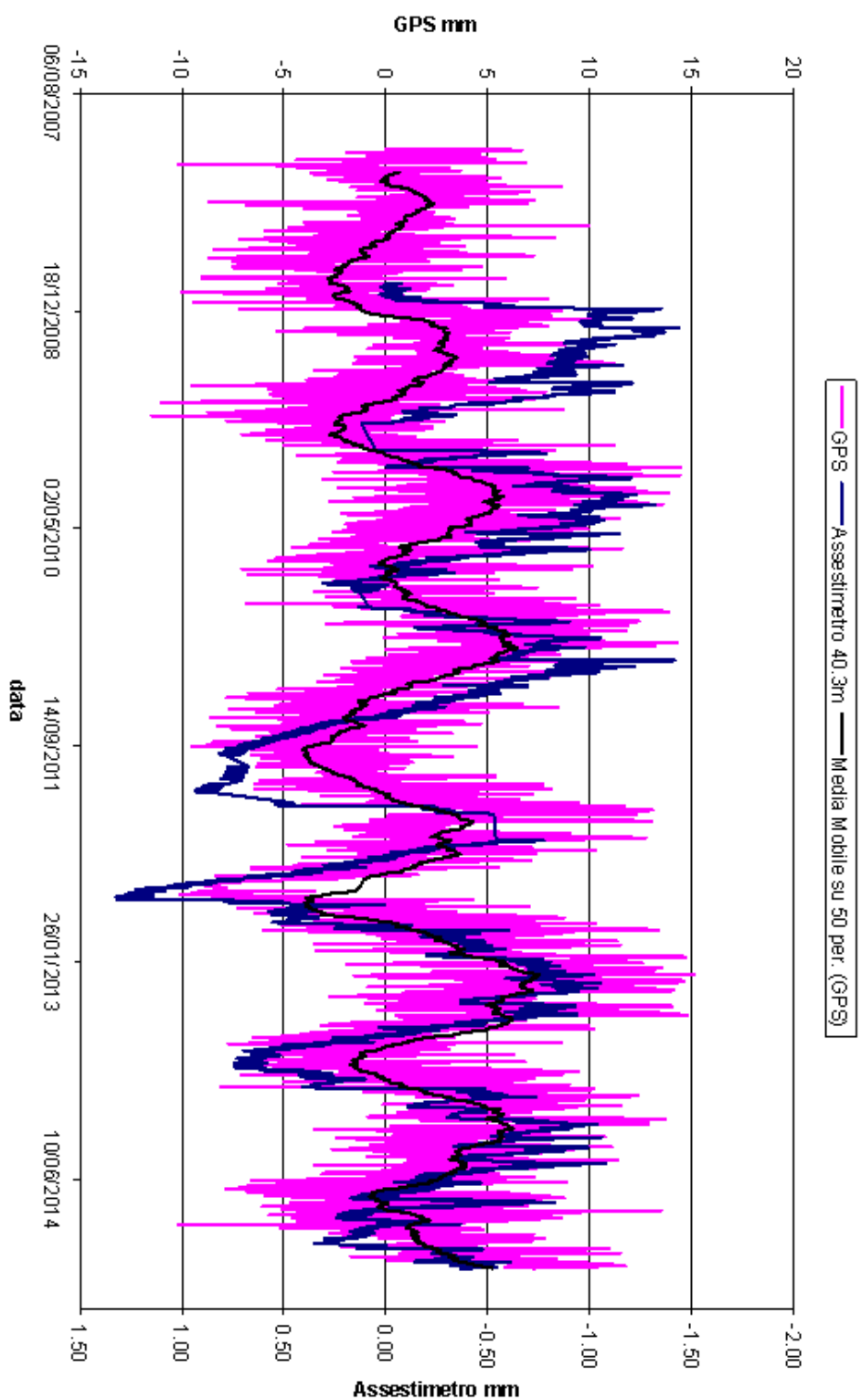
PIEZOMETRO







FALCONARA - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



Nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva GPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assestimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa)



Stazione EPSU di FANO (installata ottobre 2008)

Strumentazione:

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

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

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

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

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

L’ultimo controllo generale della strumentazione, con misure manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato fatto nel dicembre 2014.

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. I dati relativi all’assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale (“misura di zero”). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

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



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

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

Le misure assestimentriche 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'assestimento mostra, quindi, una situazione sostanzialmente stabile, con assenza di un'apprezzabile compattazione del terreno.

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

L'esame comparato delle due serie di misure (assestimentriche e geodetiche GPS – vedere grafico all.) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare la serie assestimentrica 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 - assestimentrica e geodetica GPS - mostrano una certa correlazione con gli andamenti stagionali della falda.

La curva assestimentrica 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 assestimentrico.

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

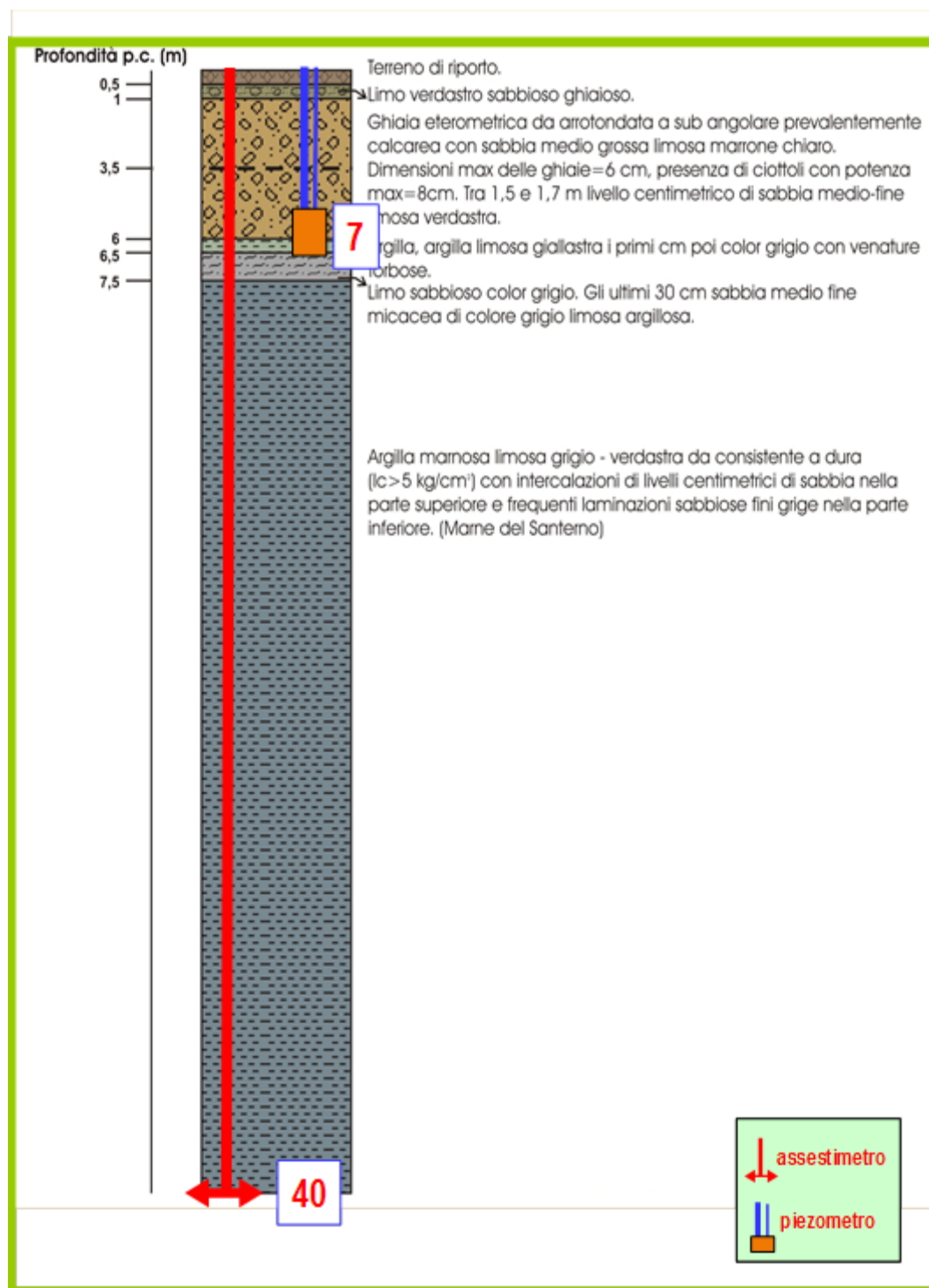
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria.

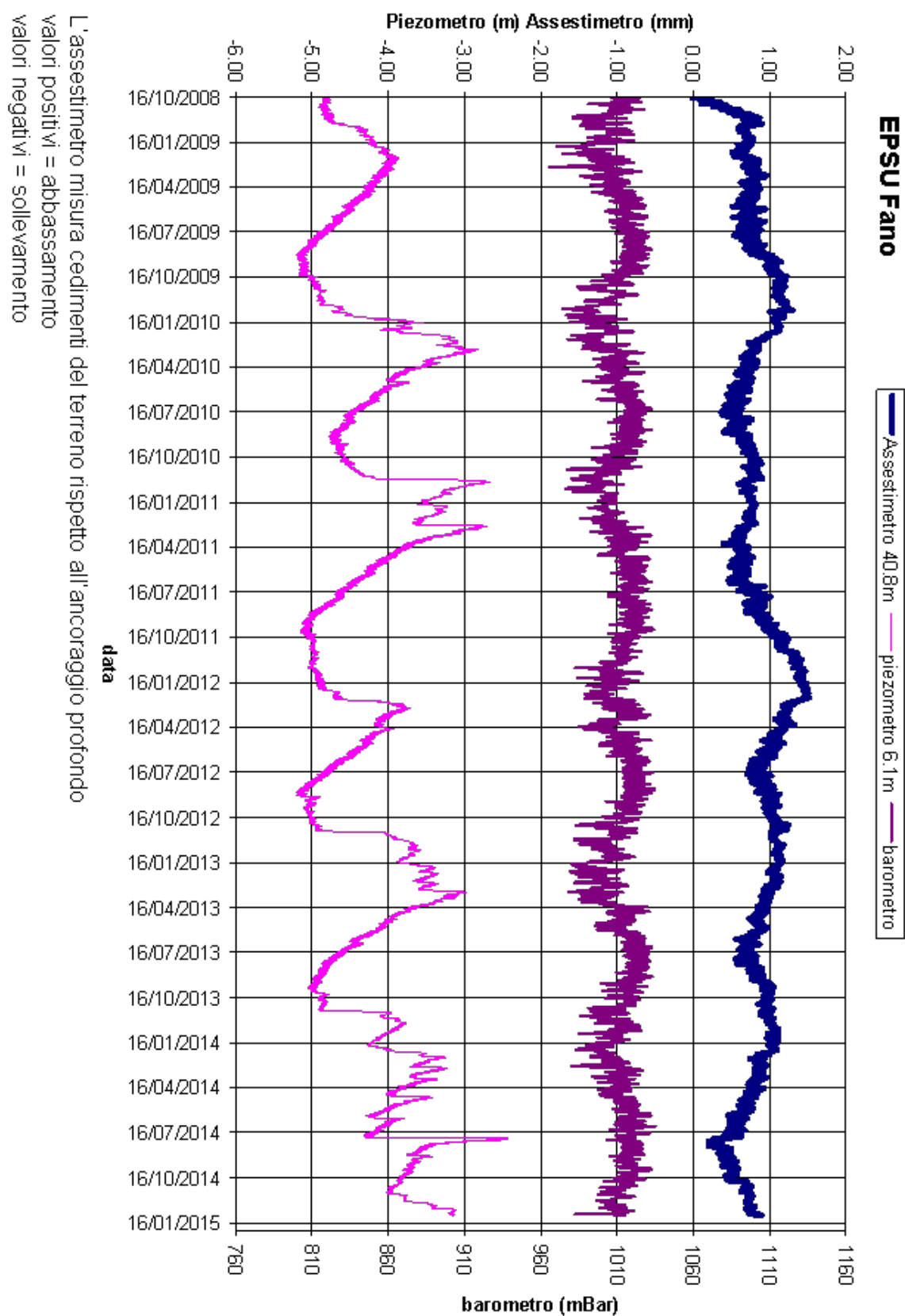
Nel grafico del piezometro l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casa-grande, 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.

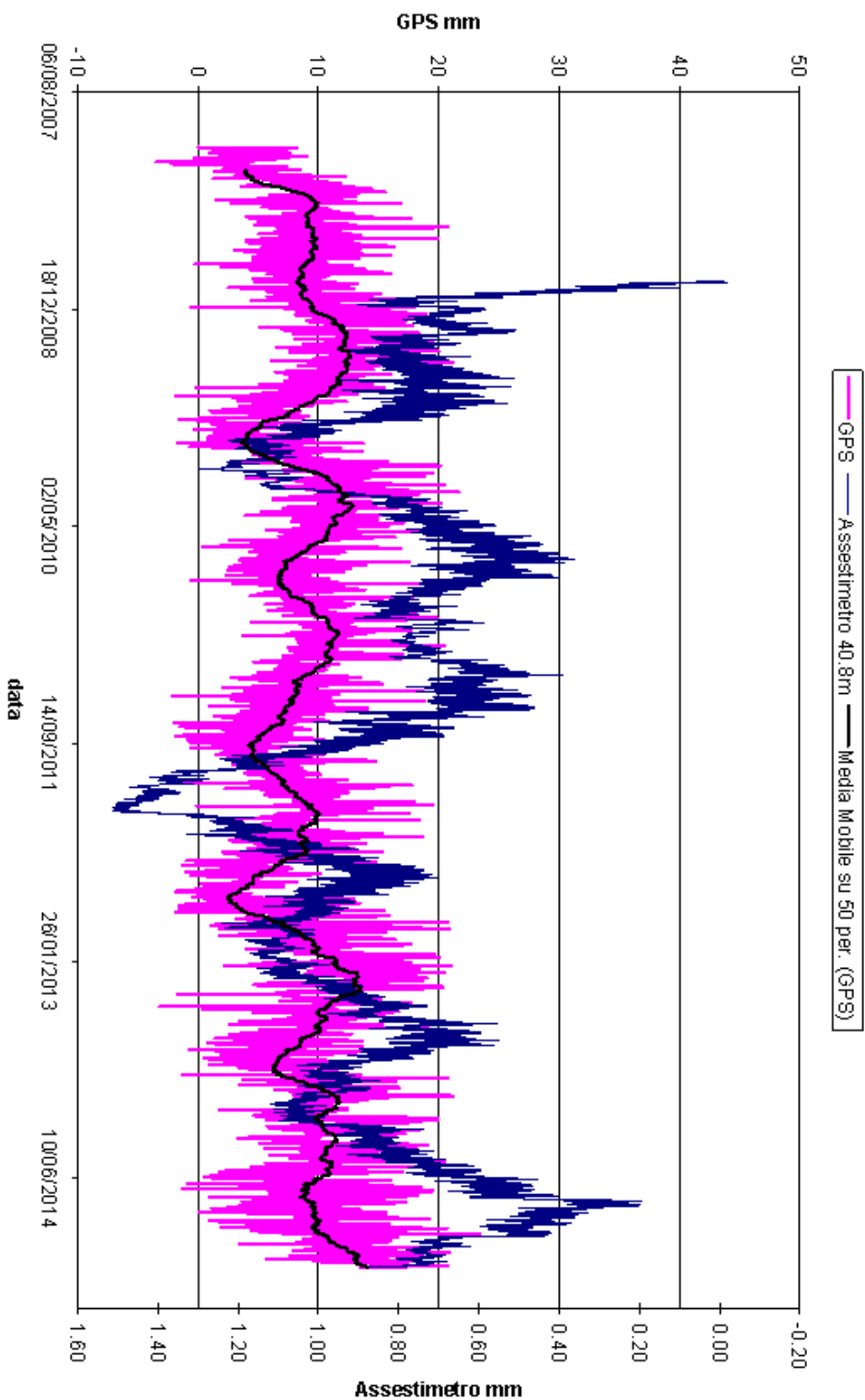
Negli ultimi 6 mesi di misure si deve segnalare un incremento di 1,8 m del livello dell'acqua in pochi giorni (25-26 luglio), fenomeno registrato su entrambi i tubi. Le ultime misure indicano una quota falda di circa -3 m da p.c.







FANO - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



Nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva GPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assestimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa)



Conclusioni

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

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

Nel caso di Rubicone le variazioni stagionali sembrano essere monitorate solo dai 2 piezometri più superficiali, mentre quello più profondo registra solo deboli variazioni di livello della falda, temporalmente sfasate rispetto all'andamento stagionale delle falde superiori. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo delle 3 EPSU, è anche quello che mostra una tendenza crescente nell'insieme delle misure di compattazione, registrando complessivamente circa 14 mm di abbassamento totale del terreno in circa 6 anni scarsi di funzionamento.

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

Nella tabella seguente sono riportati i valori medi della compattazione (positiva) o espansione (negativa) del terreno e delle relative velocità ottenute dalle misure assestimetriche disponibili dall'inizio del funzionamento della strumentazione sino alla data del 31 dicembre 2014.

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



Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)
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)