



Campo di ANNAMARIA

Aggiornamento al 31/12/15

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 1).

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 a Eni 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 in 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 (Calcarei 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 2).

La fase esplorativa del campo ha visto prima 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 poi del 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, e ha previsto:

- **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 produttiva del campo, sia del previsto completamento della fase di sviluppo del giacimento con la perforazione di ulteriori due pozzi infilling 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 campo. 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.

Un ulteriore aggiornamento del modello di giacimento Eclipse è stato successivamente fatto nel dicembre 2015 (*rel. Eni-GISE 16/15 del 15/12/2015, Annamaria Field – Dynamic Model Update*) tenendo conto dei dati di produzione e di pressione acquisiti.

Con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme (Figura 3), si è stimato:



- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 3815 MSm³ di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso Do Nothing);
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 3890 MSm³ di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso Do Nothing).

La produzione totale di campo al 31/12/15 è stata di 4662 MSm³ (Figura 3) così ripartita fra le due piattaforme:

- Annamaria A: 2260 MSm³ (Figura 4);
- Annamaria B: 2402 MSm³ (Figura 5).

Per alcuni livelli rappresentativi del campo, la Figura 6 riporta un confronto fra le pressioni rilevate sul pozzo Annamaria 11B che sono registrate in continuo con “permanent pressure gauges” (PPG), e i corrispondenti valori di pressione calcolati dal modello Eclipse (dicembre 2015); tale confronto mostra, in generale, un buon accordo tra i dati misurati e quelli calcolati con modello.

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

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 2016	Page - 4 - of 62
---	-------------------------------------	------------------

essere 86 cm con la curva d'isosubsidenza di 2 cm prevista estendersi 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, 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 stata 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" hanno dato 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 risultata 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 è arrestata a 32 km dalla costa (Figura 7).

Conseguentemente all'ultimo aggiornamento del modello di giacimento del dicembre 2015 e al fine di migliorare il match tra le previsioni modellistiche e l'andamento dei CGPS in piattaforma, verrà avviata una integrazione del modello fluidodinamico con i campi croati limitrofi e successivamente si darà corso ad una revisione del modello geomeccanico.

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 8). 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 9). 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.



A seguito dei valori di subsidenza registrati in continuo dal CGPS installato in piattaforma, (Annamaria B), si è valutato necessario procedere a un nuovo rilievo batimetrico che sarà acquisito nel corso del 2016 per un controllo e/o taratura delle previsioni del modello geo-meccanico.

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

La rete di livellazione, rilevata nel 2014 (ultimo rilievo fatto), è suddivisa nelle seguenti aree di attività:

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

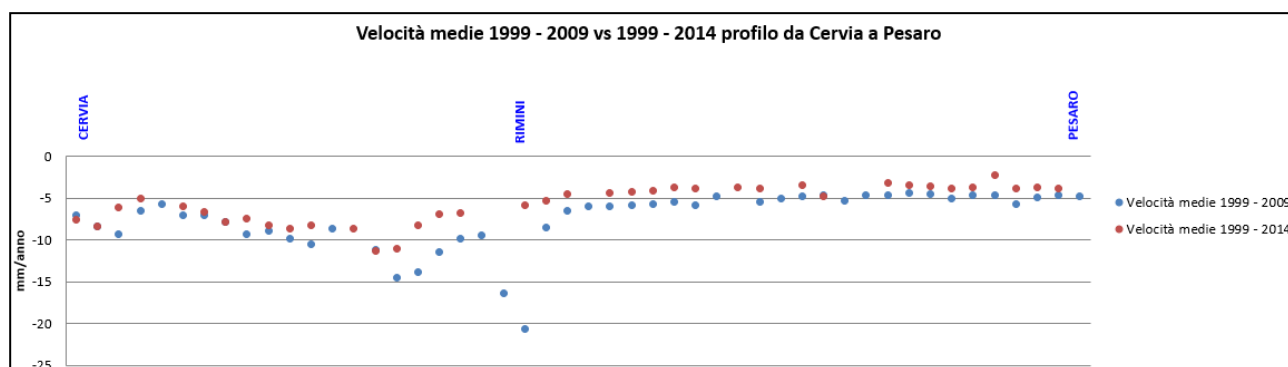
Le operazioni si sono svolte nel periodo compreso tra giugno e ottobre 2014 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell'ente certificatore.

Si ritiene opportuno sottolineare che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra Pineto e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara.

Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2014, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, successivamente a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

I valori di velocità media d'abbassamento del suolo, stimati con regressione lineare e relativi ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportati in Figura A sia per il periodo 1999-2009 sia per quello 1999-2014. Il confronto fra le misure di tali periodi mostra che negli ultimi anni la velocità di abbassamento del suolo è generalmente in diminuzione; tale diminuzione è, mediamente di circa 2 mm/a e solo per pochi capisaldi supera detto valore.

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





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

Al fine d'ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza V_a ² di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

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

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.

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 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 aggiornare la copertura SAR (settembre 2015) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 10).

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, e infine, nel 2015, è stata installata la stazione Bonaccia-NW. Le serie storiche delle stazioni installate nel 2014 e 2015, sono troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

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

Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice 2); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche 3 pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

Inoltre, come detto in precedenza, sono state monumentate altre 4 stazioni CGPS, in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, il cui completamento è avvenuto nel dicembre 2009, tutte equipaggiate con 2 bersagli radar e con un caposaldo di livellazione.

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area.



Analogamente a quanto avviene per le livellazioni, anche i dati del monitoraggio CGPS sono validati da un Ente esterno. Attualmente questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, facoltà di Fisica.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma di Annamaria B, certificati fino al 2014 e in fase di certificazione fino al 2015, sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2015, 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 1.

Tabella 1 – Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2014

	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	25,75	20,07	-81,03	28,4	20,88	-81,39	-2,65	-0,81	-0,36

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 -100,3 mm/a (Figura 11), in aumento rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-81,0 mm/a al dic. 2014).

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.

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 12):

- dall'installazione a gennaio 2013 una velocità media di circa -41,9 mm/a;
- da gennaio 2013 al 31 dicembre 2015 una velocità media di circa -146,9 mm/a.

Si segnala che 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 2013 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS (Figura13, Figura 14), senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale. L'accordo è decisamente buono per lo scenario "Medio" fino all'inizio del 2013; successivamente si nota fra le due serie di dati uno scostamento che si conferma anche nel corso del 2014 e del 2015.

Come già anticipato, al fine di migliorare il match tra le previsioni modellistiche e l'andamento dei CGPS in piattaforma, verrà avviata una integrazione del modello fluidodinamico con i campi croati limitrofi e successivamente si darà corso ad una revisione del modello geomeccanico.

Allo scopo di monitorare in situ la compattazione delle rocce serbatoio, inoltre, si è proceduto in data 31/05/2015 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, 24/07/2013 e 30/09/2014), 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 totale misurata tra marzo 2010 e settembre 2010 è stata di circa 10 mm, così ripartita:

- 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 totale misurata tra settembre 2010 e marzo 2011 è pari a circa 26 mm, così ripartita:

- 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 totale misurata tra marzo 2011 e aprile 2012 è pari a circa 13 mm, così ripartita:

- 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 totale 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 ripartita:

- 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 totale misurata tra luglio 2013 e settembre 2014 è pari a circa 176 mm, così ripartita:

- 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.

La compattazione totale misurata tra settembre 2014 e maggio 2015 è pari a circa 180 mm, così ripartita:

- da 970 a 1002 m: espansione di 6 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 168 mm;
- da 1738 a 1769,50 m: compattazione di ca. 7 mm.

In Figura 15 e Figura 16, sono riportati i risultati dei monitoraggi FSMT in termini di compattazione (mm) tra i rilievi eseguiti rispettivamente a: settembre 2010 – marzo 2011, marzo 2011 – aprile 2012, aprile 2012 – luglio 2013, luglio 2013 – settembre 2014 e settembre 2014 – 31 maggio 2015.

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 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.

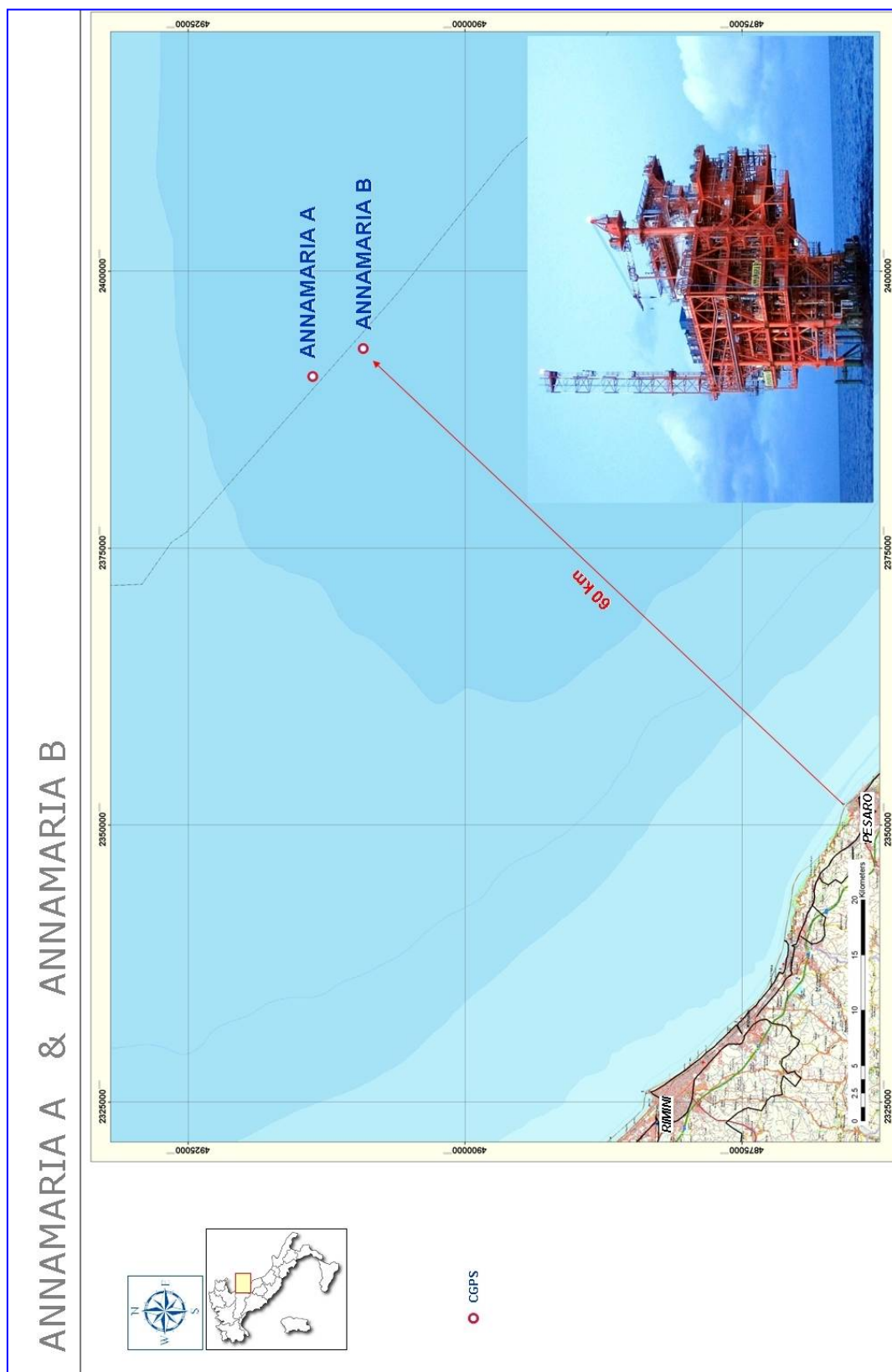
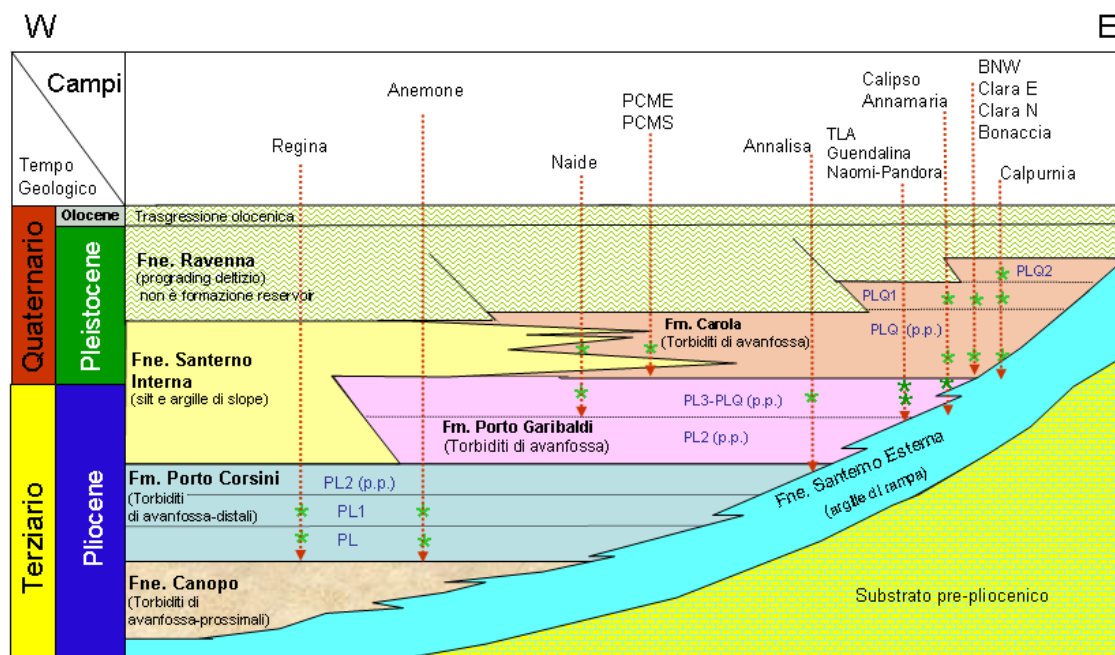


Figura 1 - Posizione del Campo di Annamaria



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

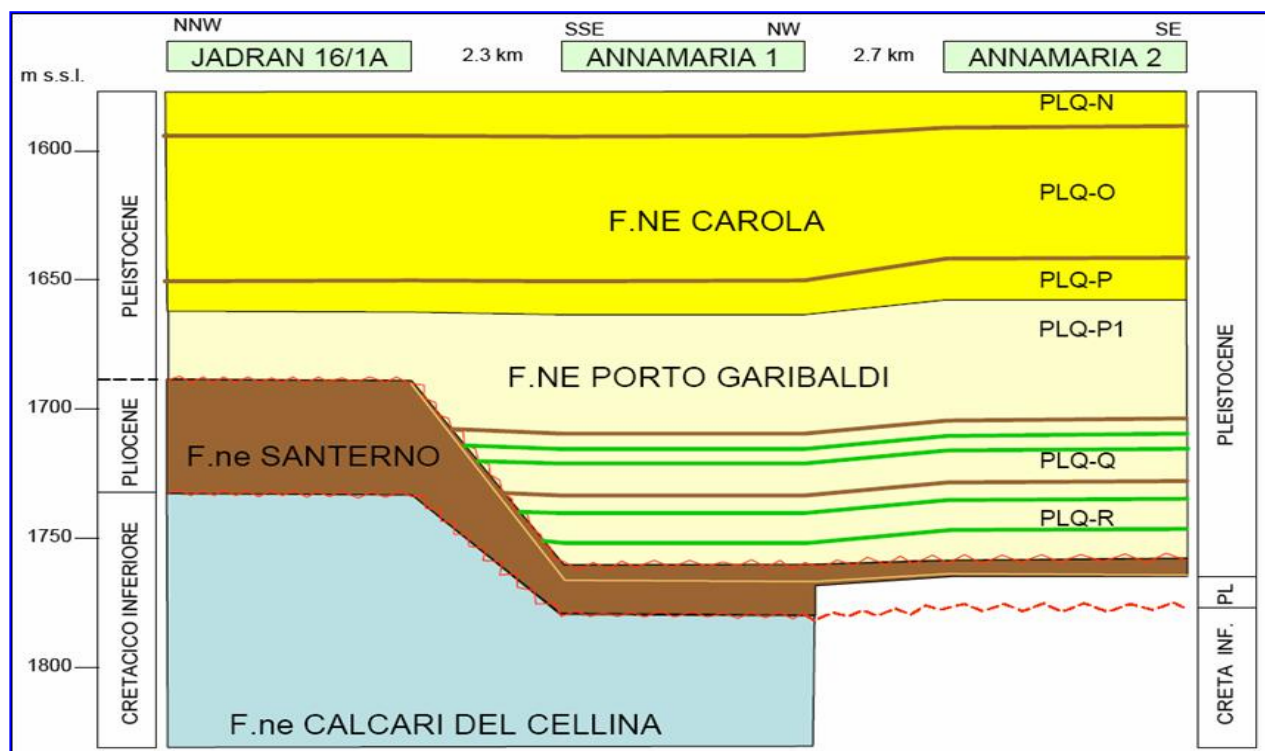


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI ANNAMARIA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE 2015
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2009	46	46	46	46	1%
2010	626	626	671	671	9%
2011	811	811	1482	1482	19%
2012	808	808	2290	2290	30%
2013	951	951	3241	3241	42%
2014	808	808	4049	4049	53%
2015	613	611	4662	4660	61%
2016		453		5113	
2017		320		5434	
2018		281		5715	
2019		256		5971	
2020		229		6200	
2021		205		6404	
2022		166		6570	
2023		152		6722	
2024		135		6857	
2025		105		6962	
2026		88		7050	
2027		69		7119	
2028		61		7179	
2029		58		7238	
2030		56		7294	
2031		54		7348	
2032		52		7401	
2033		50		7451	
2034		45		7495	
2035		44		7539	
2036		43		7582	
2037		42		7624	
2038		41		7665	
2039		40		7705	
2040					

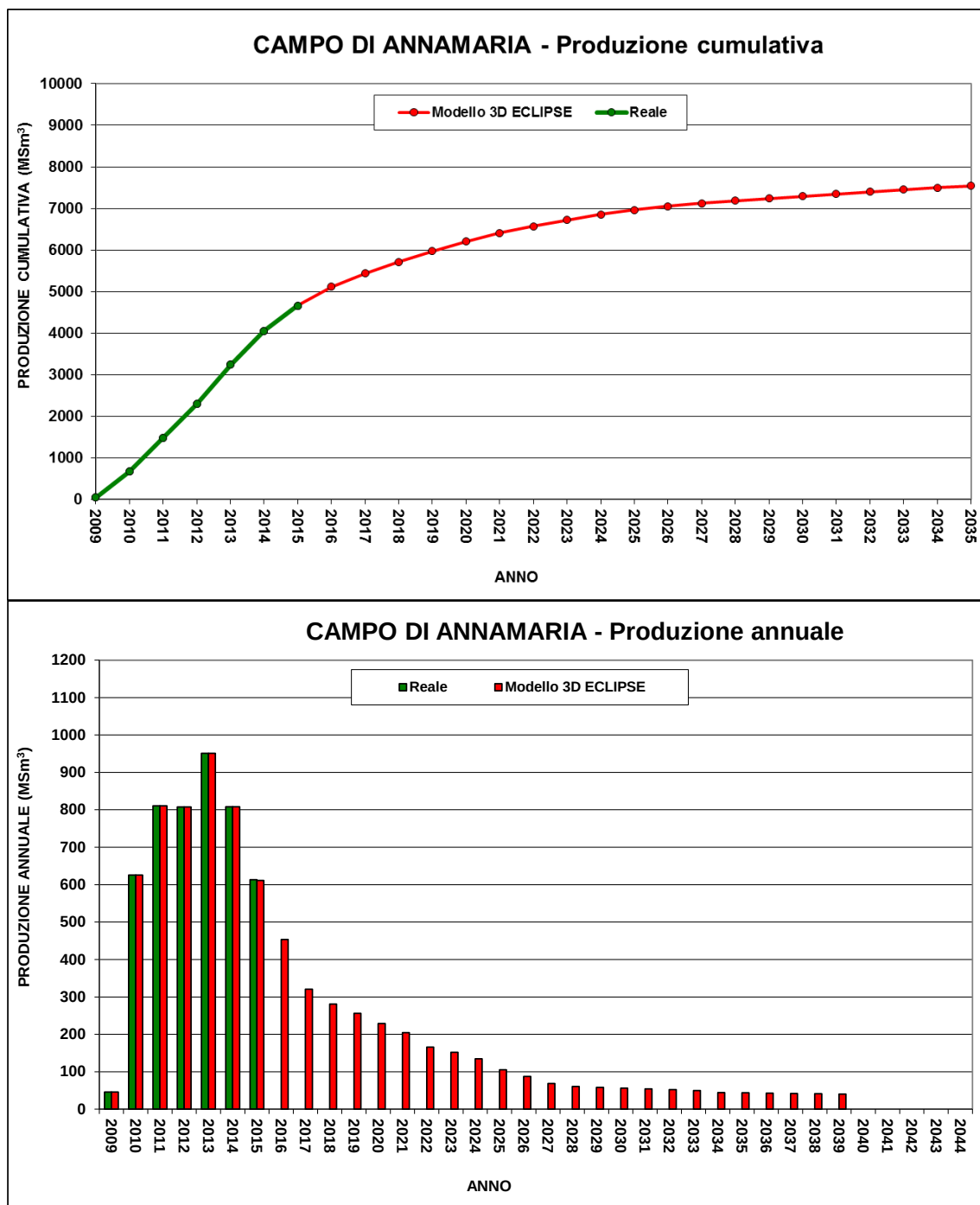


Figura 3 – Campo di Annamaria: tabella e grafico di produzione vs. modello Eclipse 2015

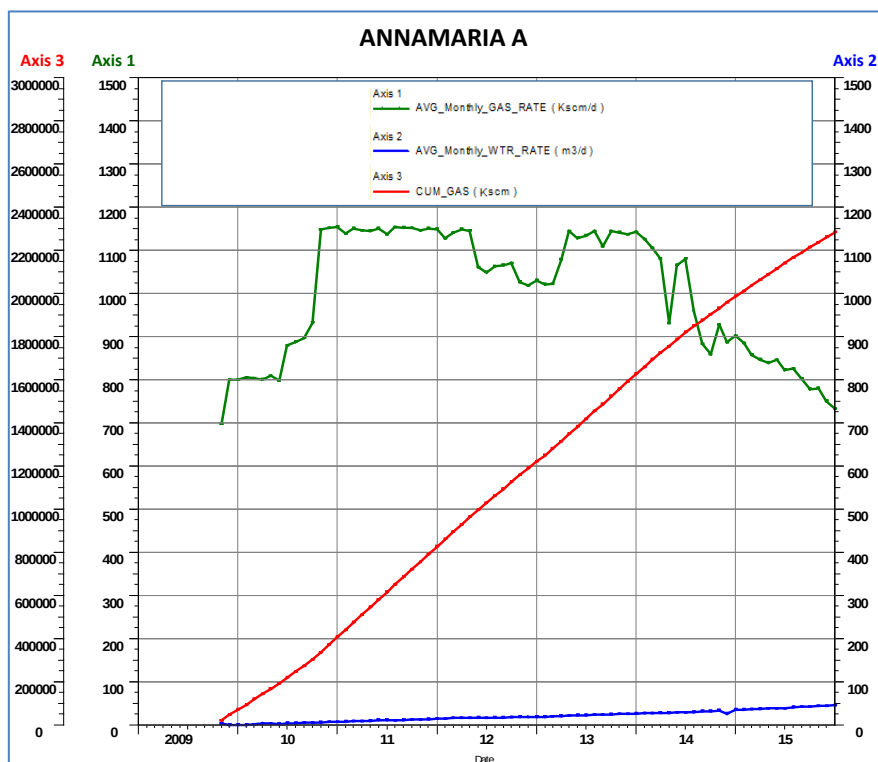


Figura 4 – Campo di Annamaria – Piattaforma A: di produzione storica

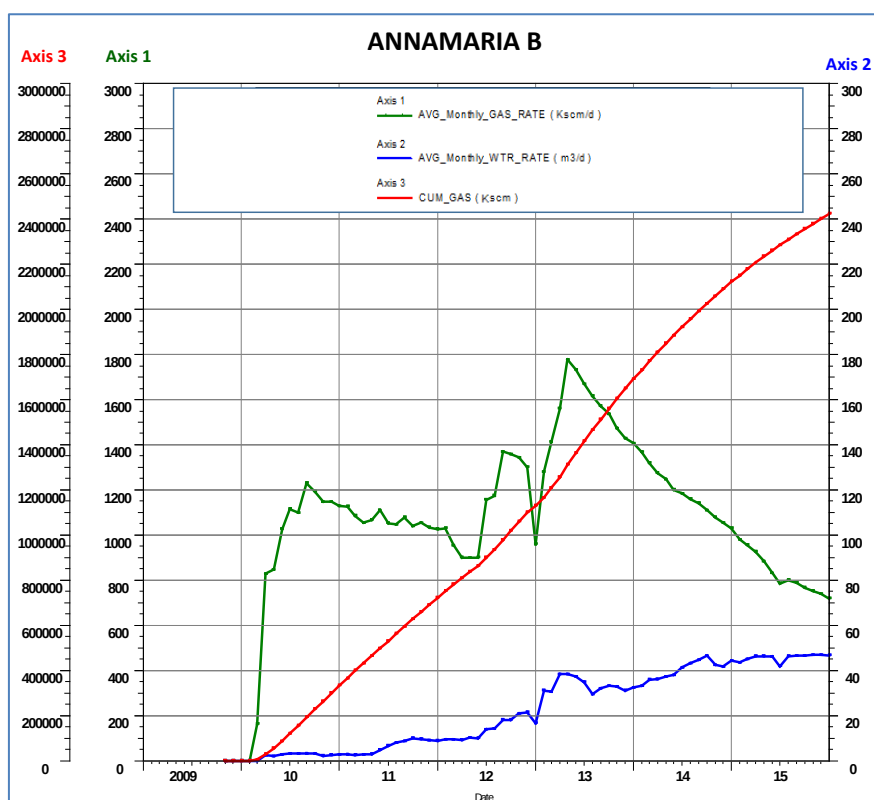


Figura 5 - Campo di Annamaria – Piattaforma B: produzione storica

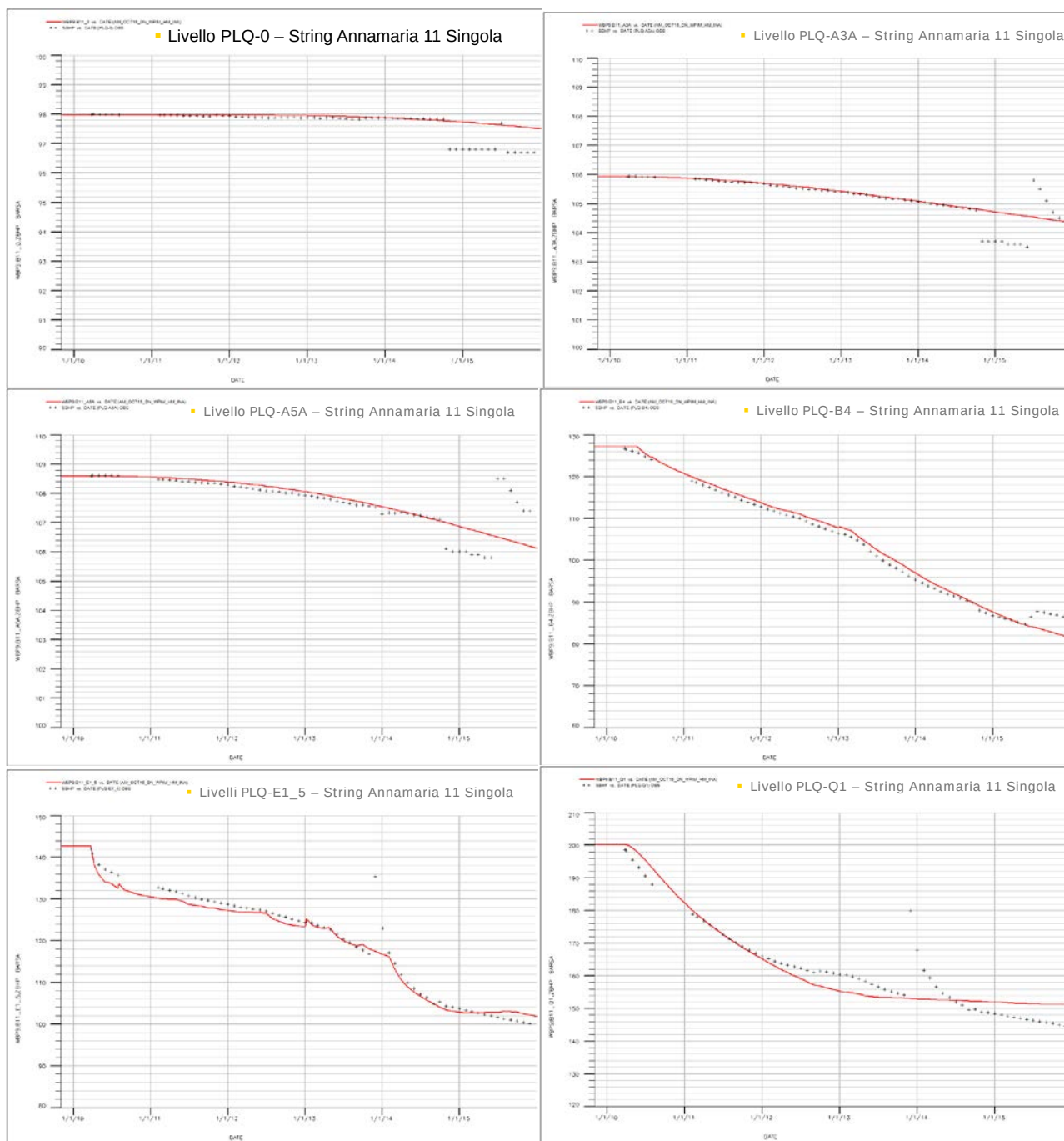


Figura 6 – Misure di pressione (Annamaria 11B PPG) e modello Eclipse 2015

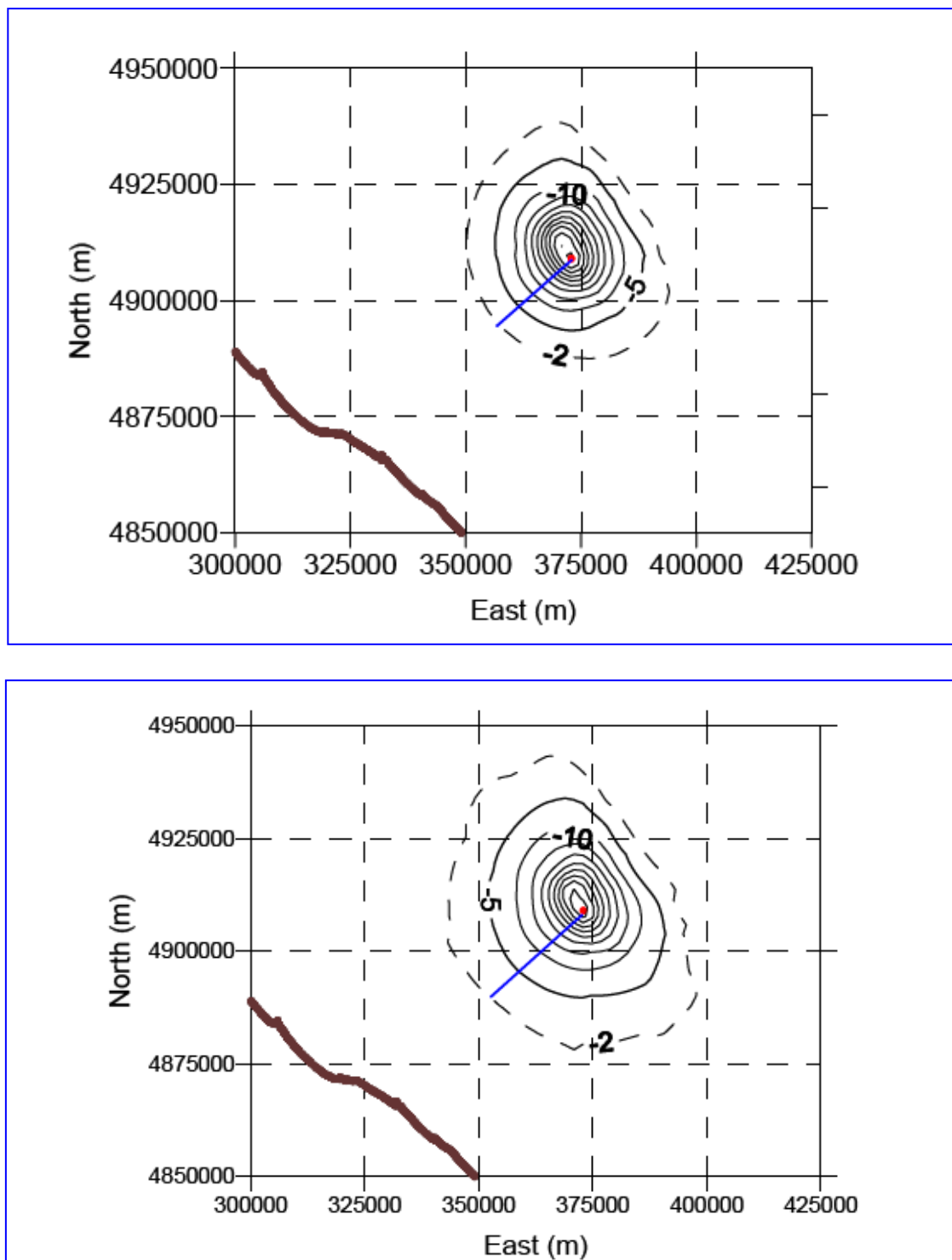


Figura 7– Campo di Annamaria: curve d'isosubsidenza a fine produzione (01/01/2040) e a fine simulazione (01/01/2070) per lo scenario Medio. I valori di subsidenza sono in cm. In rosso è riportata la posizione del punto di massima subsidenza (modello geomeccanico dell'aprile 2013)

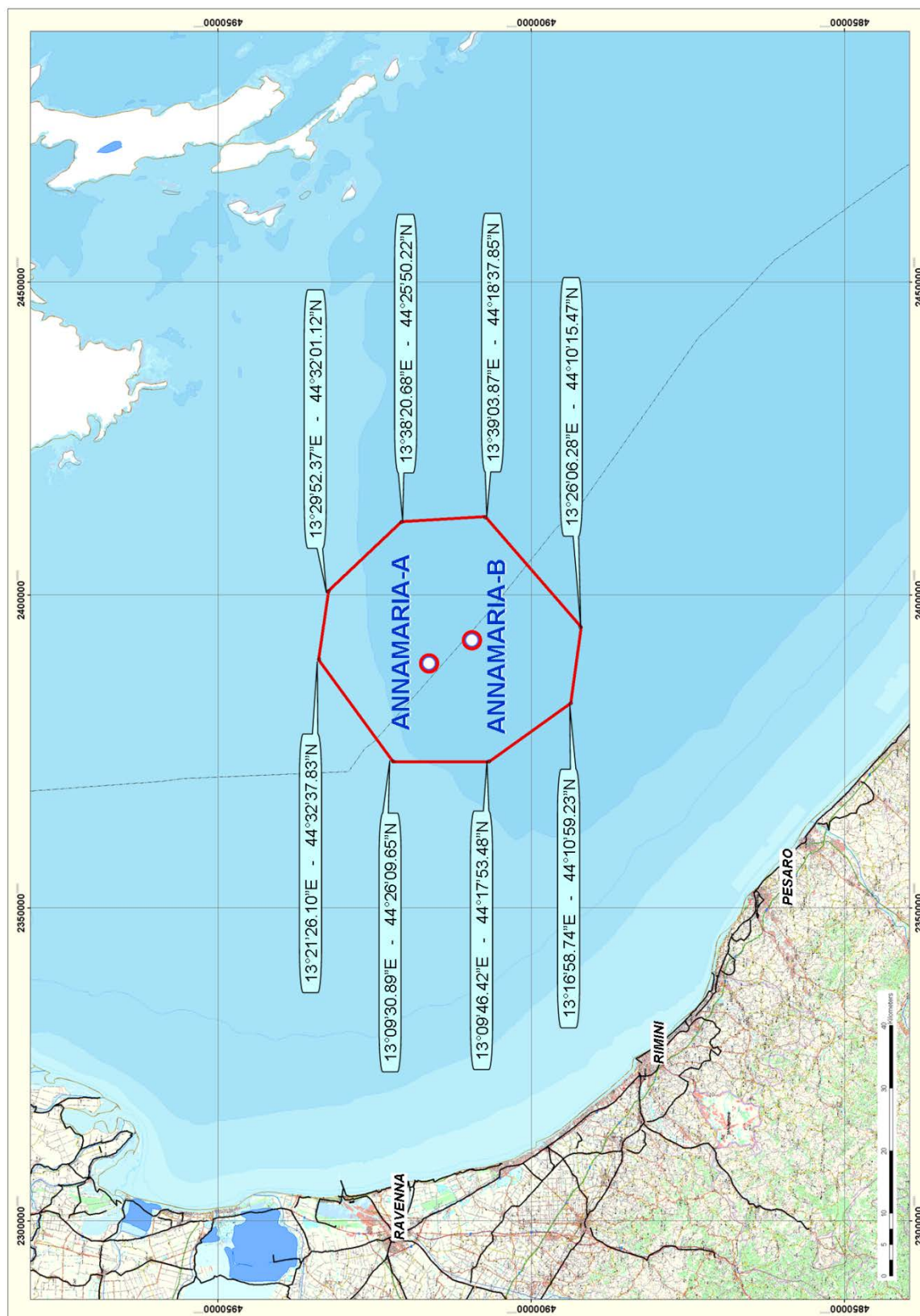


Figura 8 – Campo di Annamaria: estensione del rilievo batimetrico

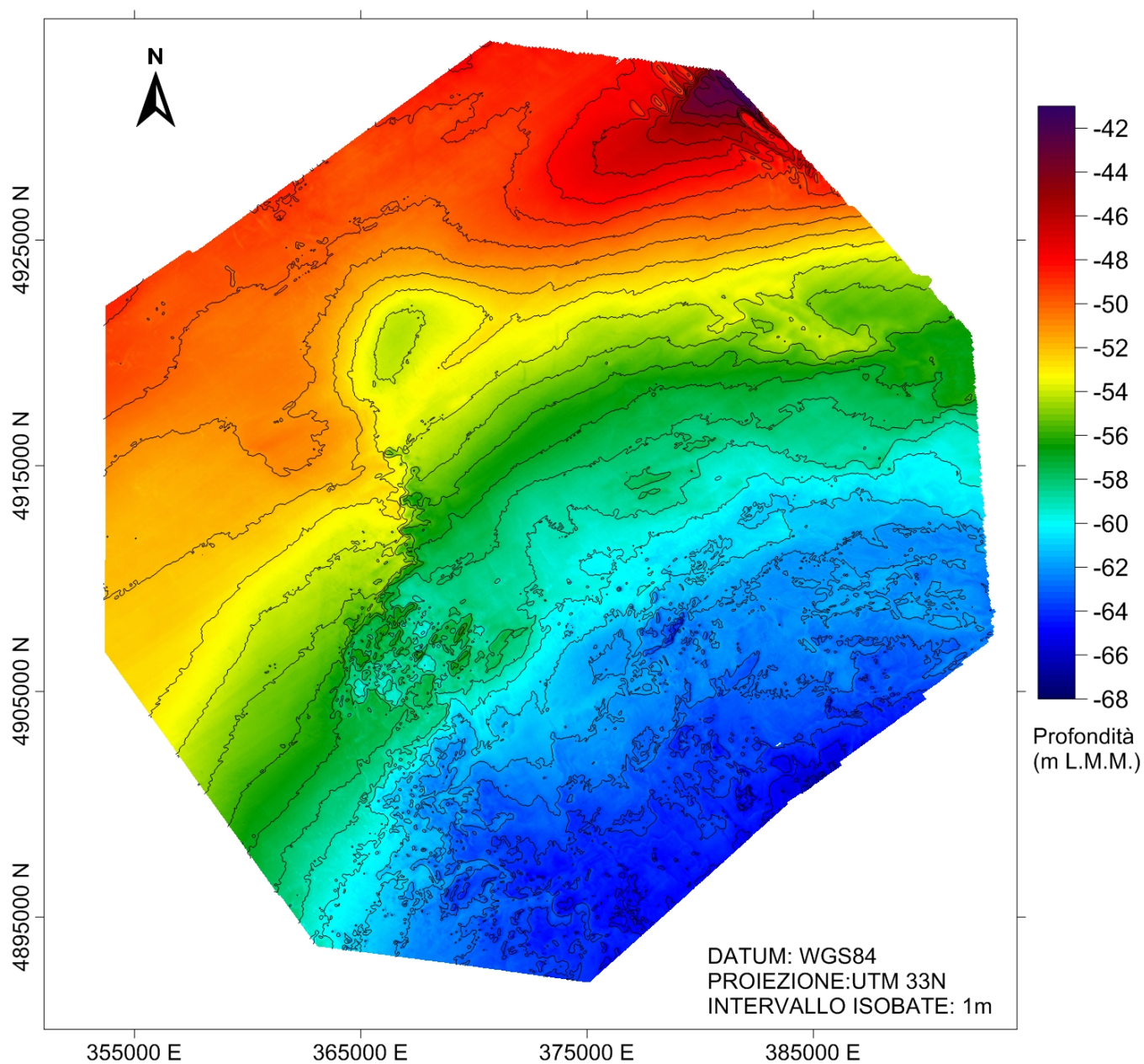


Figura 9 – Campo di Annamaria: modello digitale del fondale da rilievo batimetrico "multi-beam"

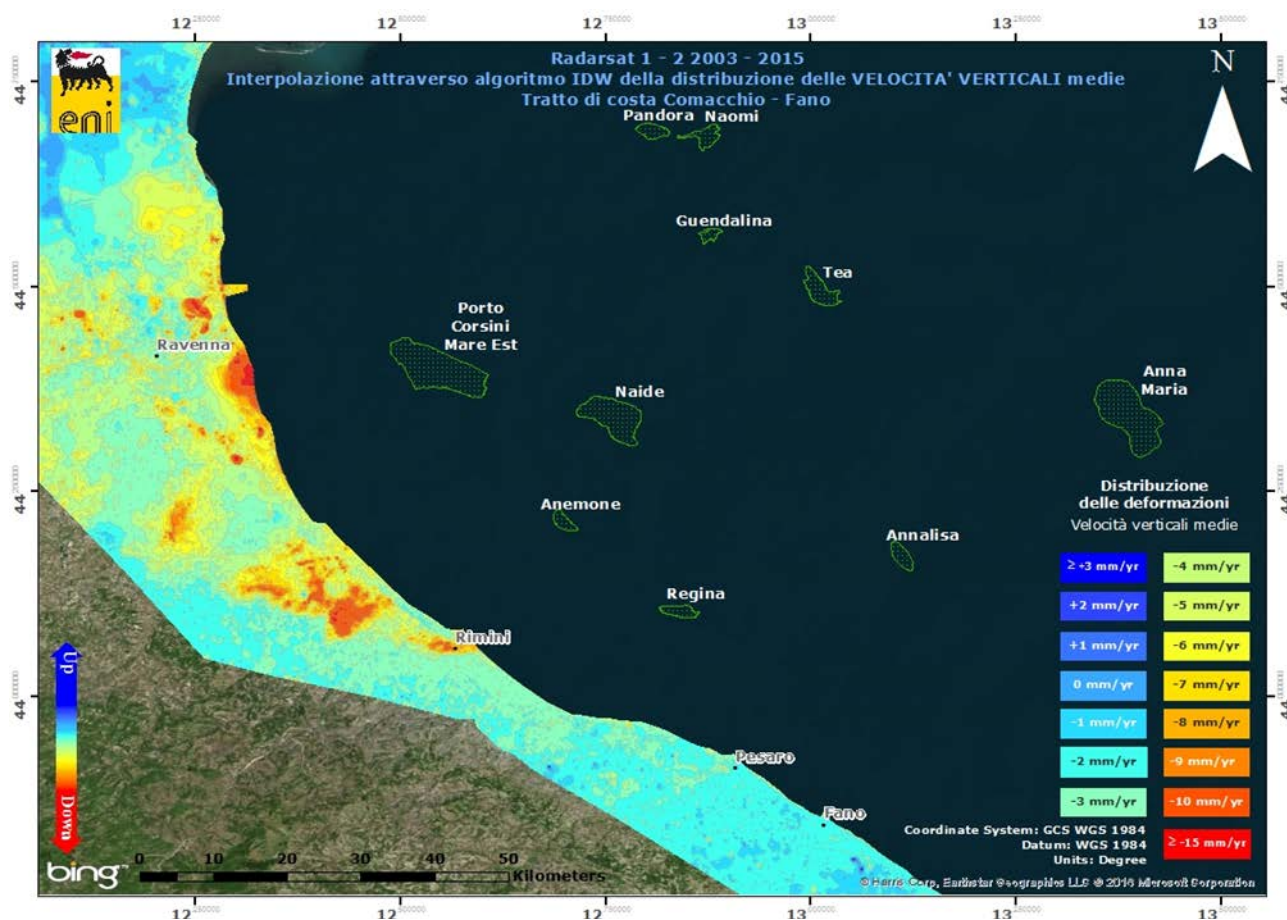


Figura 10 – Analisi dati SAR dal 2003 al 2015



Serie storica spostamenti IGB08 RETE AnnamariaB

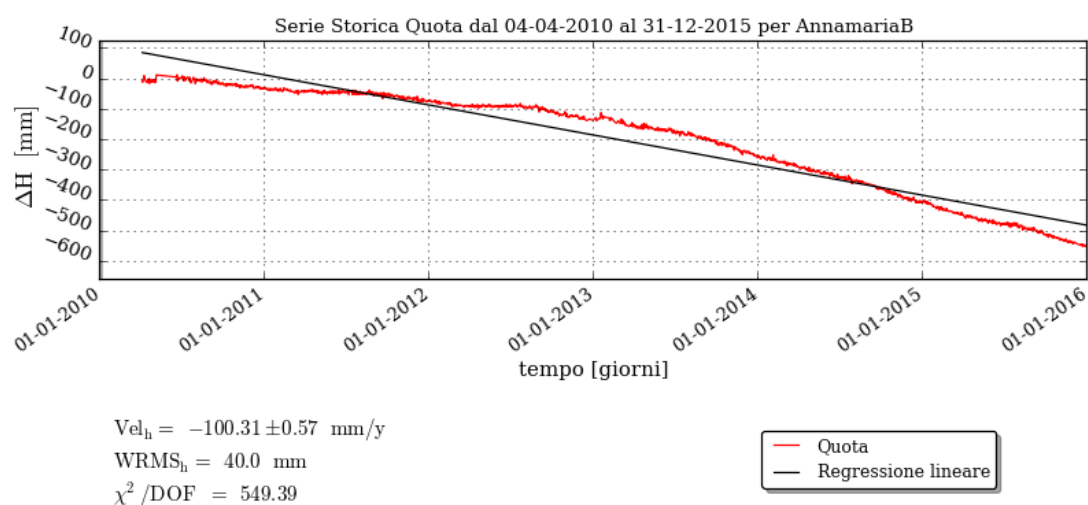
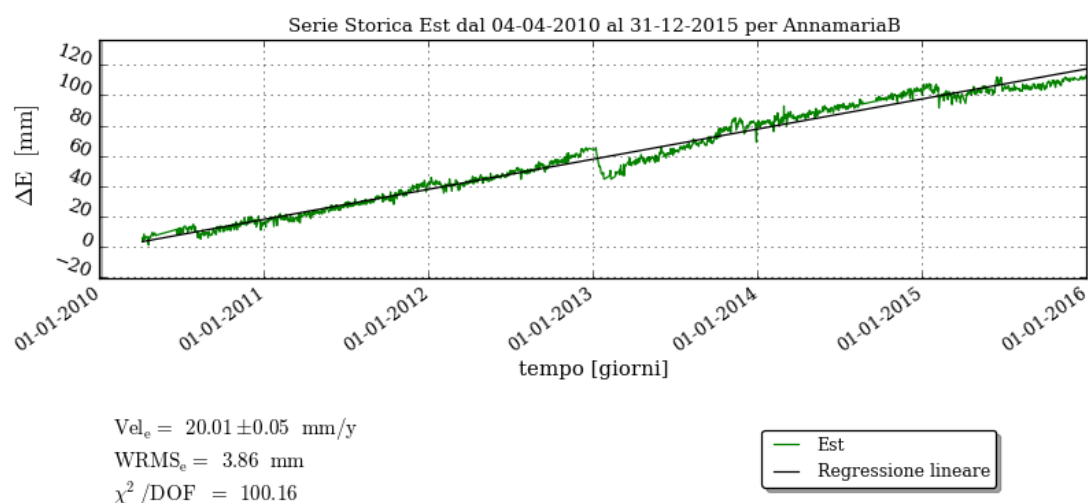
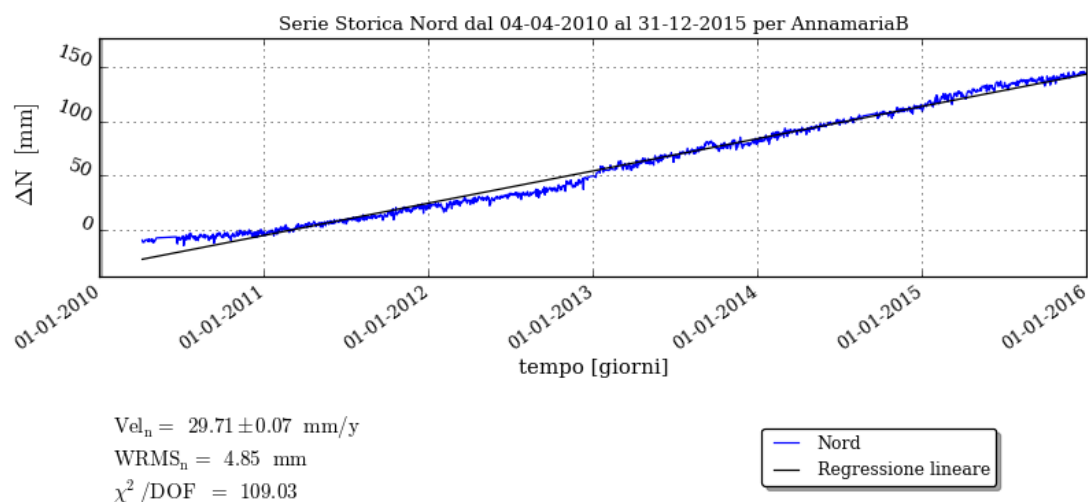


Figura 11 - Serie storiche plano-altimetriche CGPS Annamaria B

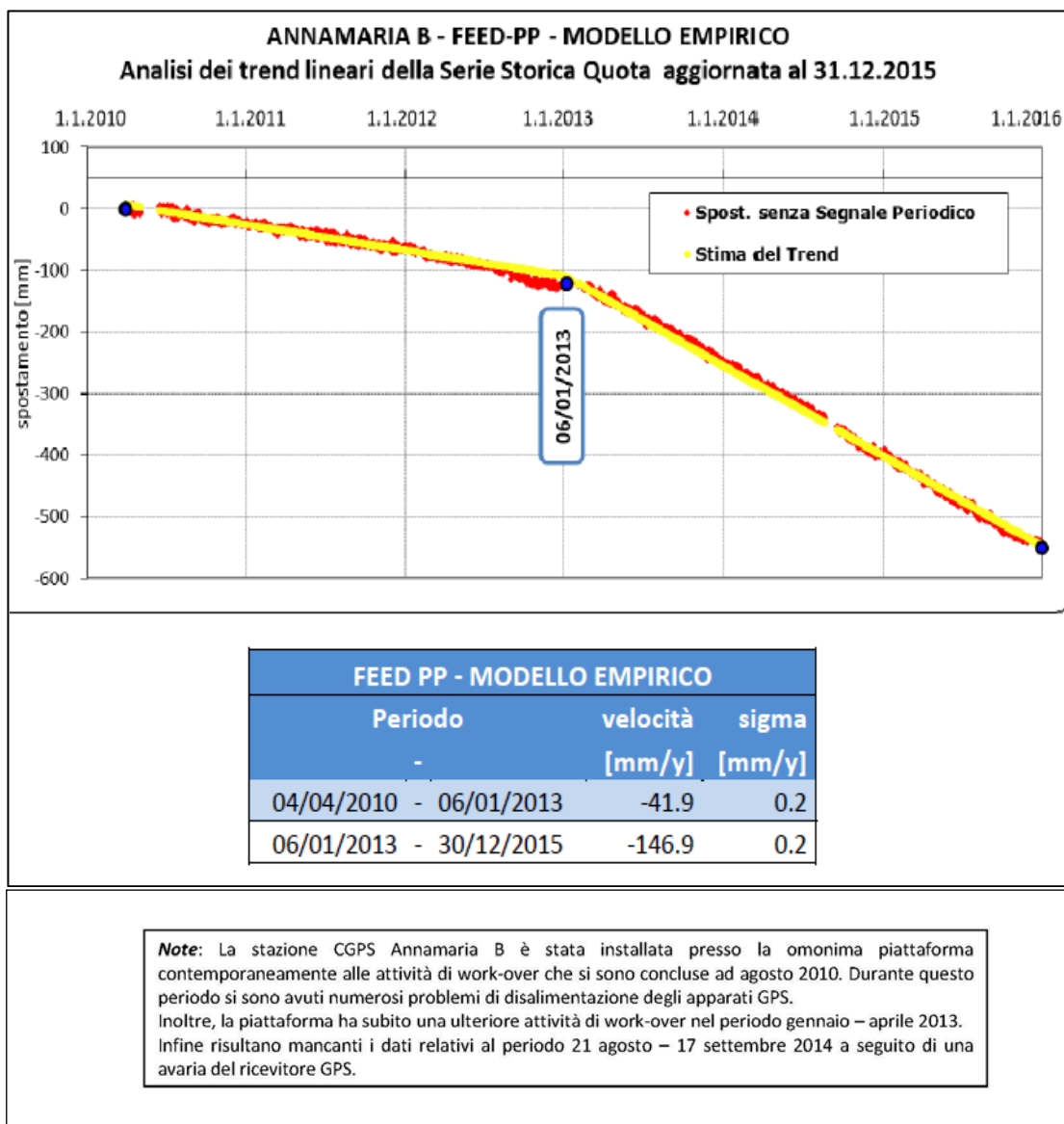


Figura 12 - analisi della serie storica plano-altimetrica CGPS Annamaria B



CAMPO	Inizio produzione	Fine Produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2015	Max Subsidenza prevista - scenario di riferimento	Ultimo aggiornamento studio	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2015	TREND rispetto a dic. 2014	mesi di registrazione
ANEMONE	1978	2018	99%	-39cm al 2048	2015	giu-07	-4,9	invariato	102
ANNALISA	2000	2023	89%	-10cm al 2027	2014	ott-07	-4,7	invariato	99
ANNAMARIA B	2009	2039	61%	-51cm al 2040	2013	gen-10	-100,3	aumento	72
BARBARA-NW	1999	2029	73%	-76cm al 2024	2013	gen-08	-29,8	aumento	96
BONACCIA	1999	2036	61%	-423cm al 2033	2014	dic-07	-79,3	diminuzione	97
BONACCIA NW	2015	2036	n.d.	-423cm al 2033	2014	set-15	n.d.	n.d.	3
CALIPSO	2002	2020	97%	-33cm al 2021	2013	nov-07	-16,2	diminuzione	98
CALPURNIA	2000	2017	100%	-54cm al 2021	2013	giu-07	-3,1	diminuzione	102
CLARA EST	2000	2030	42%	-56cm al 2026	2013	nov-07	-13,5	invariato	98
CLARA NORD	2000	2020	82%	-68cm al 2021	2013	nov-07	-24	aumento	98
ELETTRA	2014	2026	37%	-18cm al 2065	2013	lug-14	-23,25	n.d.	17
FAUZIA	2014	2024	37%	-11cm al 2060	2013	set-14	-9	n.d.	15
GUENDALINA	2011	2023	69%	-3cm al 2023	2014	ago-11	-6,4	invariato	52
NAIDE	2005	2022	84%	-8cm al 2023	2013	giu-05	-3,6	diminuzione	126
NAOMI-PANDORA	2001	2037	37%	-3cm al 2068	2013	giu-02	-1,5	invariato	162
PCME (PMS)	2001	2016	94%	-6,8cm al 2017	2012	lug-05	-3,9	invariato	125
REGINA	1997	2023	91%	-139cm al 2044	2013	giu-07	-26,9	invariato	102
TEA-LAVANDA-ARNICA	2007	2018	98%	-5cm al 2018	2015	nov-07	-4,7	diminuzione	98

Figura 13 - Velocità di “subsidenza totale CGPS” vs modelli

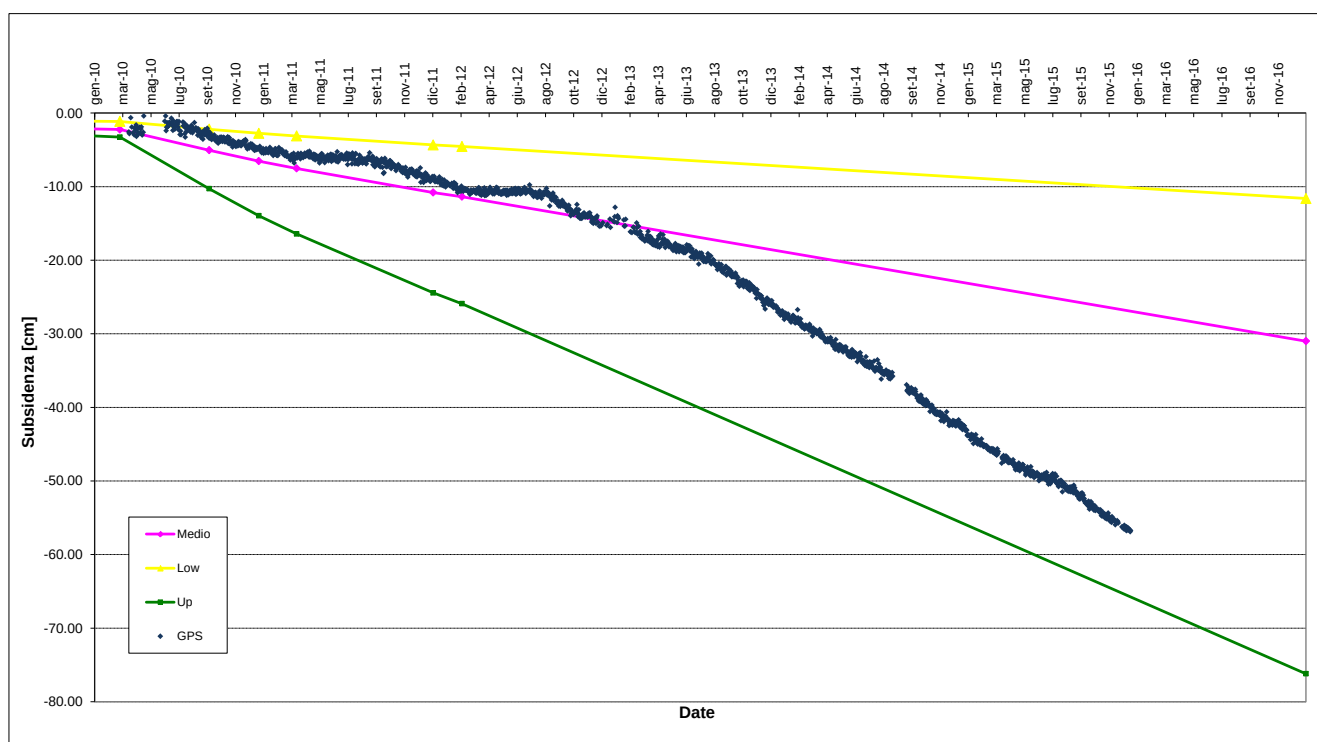


Figura 14 – Confronto fra “subsidenza totale misurata dalla stazione CGPS” installata sulla piattaforma Annamaria B e i valori previsti dal modello geomeccanico di aprile 2013



Compattazione ANNAMARIA								
Spacing	Top ref depth	Bottom ref depth	Sep 2010	Mar 2011	Apr 2012	Jul 2013	Sep 2014	Sep 2014
	MD	MD	Mar 2010	Sep 2010	Mar 2011	Apr 2012	Jul 2013	May 2015
#	(m)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
99	970	980,5	2	1	2	1	2	-3
98	975,25	985,75	-1	0	0	1	0	-3
97	980,5	991	-5	3	-3	-2	4	-4
96	985,75	996,25	0	-1	0	0	0	0
95	991	1001,5	2	2	-3	0	1	-1
92	1057,55	1068,05	1	3	-2	2	0	-6
91	1062,8	1073,3	3	-4	2	-2	-1	0
90	1068,05	1078,05	1	0	0	-4	4	-2
89	1073,3	1083,8	-3	4	4	-11	5	0
88	1078,05	1089,05	2	4	-6	-1	2	-3
87	1083,8	1094,3	1	-1	-5	7	0	-4
86	1089,05	1099,55	2	-1	1	-2	-4	0
85	1094,3	1104,8	2	0	2	-4	3	-4
84	1099,55	1110,05	2	1	1	0	1	-4
83	1104,8	1115,3	-3	-1	1	-1	2	1
82	1110,05	1120,55	-1	1	4	1	-4	0
81	1115,3	1125,8	4	-4	3	-3	1	-3
80	1120,55	1131,05	-1	-6	6	-2	5	-1
79	1125,8	1136,3	-2	-2	3	-3	-4	1
78	1131,05	1141,55	2	1	1	-2	-4	0
77	1136,3	1146,8	4	1	-4	-2	12	0
76	1141,55	1152,05	-4	2	-2	2	1	-1
75	1146,8	1157,3	-1	-3	3	-3	-4	1
74	1152,05	1162,55	1	1	-3	-4	6	-5
73	1157,3	1167,8	1	-1	1	-2	-3	-6
72	1162,55	1173,05	2	-5	5	-4	-4	-2
71	1167,8	1178,3	0	2	-3	-6	-3	-8
70	1173,05	1183,55	-6	3	-2	-10	-18	-19
69	1178,3	1188,8	-2	0	0	-9	-46	-26
68	1183,55	1194,05	2	-2	0	-14	-46	-18
67	1188,8	1199,3	-4	1	-2	-14	-18	-13
66	1194,05	1204,55	2	-1	-2	-1	-15	-13
65	1199,3	1209,8	-1	0	-3	-1	-4	-4
64	1204,55	1215,05	3	0	-2	-3	4	-2
63	1209,8	1220,3	-3	2	1	1	-5	-3
62	1215,05	1225,55	1	-3	1	3	0	-3
61	1220,3	1230,8	0	-2	2	-2	2	1
60	1225,55	1236,05	-1	0	-2	7	-8	-2
59	1230,8	1241,3	2	-3	2	-1	0	-5
58	1236,05	1246,55	1	0	-2	-6	-4	2
57	1241,3	1251,8	-3	2	-1	1	-3	-3
56	1246,55	1257,05	1	3	0	-16	1	-3
55	1251,8	1262,3	-2	2	3	-9	-12	-2
54	1257,05	1267,55	-4	4	0	-7	-13	-13
53	1262,3	1272,8	-2	-1	-5	-4	-12	-8
52	1267,55	1278,05	1	-1	-4	-9	-16	-12
51	1272,8	1283,3	-4	-2	2	-12	-22	-15
50	1278,05	1288,55	-4	-2	-4	-5	-19	-9

Figura 15 - Misure di compattazione *in-situ* (da FSMT) da spacing #50 a spacing #99



Compattazione ANNAMARIA								
49	1283,3	1293,8	-1	-2	-3	-3	-10	-10
48	1288,55	1299,05	2	-1	0	-1	-1	-3
47	1293,8	1304,3	2	1	0	-4	0	0
46	1299,05	1309,55	0	-1	0	-3	4	-1
45	1304,3	1314,8	2	0	1	0	-4	-1
44	1309,55	1320,05	-1	-2	2	-10	-4	-6
43	1314,8	1325,3	-3	-2	-6	-6	-3	-4
42	1320,05	1330,55	0	-1	-5	-5	-2	-1
41	1325,3	1335,8	-1	-2	-3	-7	-6	-3
40	1330,55	1341,05	-1	-2	-3	-9	-4	-7
39	1335,8	1346,3	2	-1	-2	-1	1	-4
38	1341,05	1351,55	-1	0	1	-4	-2	-1
37	1346,3	1356,8	0	-2	-1	-2	-5	-2
36	1351,55	1362,05	-1	-1	-1	-9	-3	-2
35	1356,8	1367,3	-3	1	0	-10	-2	-4
34	1362,05	1372,55	0	-2	1	-4	-4	-5
33	1367,3	1377,8	-1	0	0	-3	-3	-4
32	1372,55	1383,05	-4	1	-1	0	-9	-2
31	1377,8	1388,3	-4	-2	2	-9	-5	-5
30	1383,05	1393,55	-3	-2	-3	-2	-7	-4
29	1388,3	1398,8	0	-2	-1	-6	-5	-5
28	1393,55	1404,05	0	-3	1	-3	-9	-5
27	1398,8	1409,3	0	0	0	-4	-3	-4
26	1404,05	1414,55	1	1	0	-3	0	-3
25	1409,3	1419,8	2	-1	1	-5	-5	-2
24	1414,55	1425,05	0	0	0	-11	-7	-3
23	1419,8	1430,3	1	-2	-1	-11	0	0
22	1425,05	1435,55	0	-1	2	-6	-3	-1
21	1430,3	1440,8	0	-2	4	-5	-3	-4
20	1435,55	1446,05	2	-2	1	-1	-2	-2
19	1440,8	1451,3	1	-2	3	-3	-1	-3
18	1446,05	1456,55	1	0	-1	2	2	-4
17	1451,3	1461,8	1	1	2	-4	2	-1
16	1456,55	1467,05	0	1	-2	2	-3	-2
15	1461,8	1472,3	-1	1	2	-3	0	0
14	1467,05	1477,55	-1	2	1	-2	1	-6
13	1472,3	1482,8	-1	0	0	1	-1	-3
12	1477,55	1488,05	1	1	1	-2	4	0
11	1482,8	1493,3	2	-4	2	1	0	-1
10	1488,05	1498,55	2	-1	3	-5	1	-1
7	1738	1748,5	-2	-2	2	-3	-3	-5
6	1743,25	1753,75	-4	-1	-5	-11	5	-1
5	1748,5	1759	-2	-2	-4	-4	-6	-2
4	1753,75	1764,25	-3	-1	-8	-7	-5	-3
3	1759	1769,5	5	-1	-3	-9	-6	-3
2	1764,25	1774,75	4	-4	0	-	-	-

Figura 16 - Misure di compattazione in-situ (da FSMT) da spacing # 2 a spacing # 49

Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2015

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

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

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

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



Fig. 1A - Mappa calibrazione dati SAR



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

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

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

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

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

In una prima fase si sono confrontate le velocità dei punti in comune tra l'area di Ravenna (calibrata con il CGPS di Smarlacca) e quella di Rimini (non calibrata – Fig. 2A-a) .

Successivamente si sono calibrate le misure dell'area di Ancona (non calibrata) sulla base dei dati disponibili per le aree di Ravenna e Rimini (calibrate al passo precedente – Fig. 2A-b e 2A-c).

In entrambi i casi le velocità medie verticali sono state corrette per un valore pari a circa -3 mm/a. Per verificare la correttezza di tutto il processo, sono state poi confrontate le velocità medie calibrate dei punti SAR ricadenti in un raggio di 200 metri dalle postazioni CGPS di

Fano e di Falconara (area di Ancona) con le velocità misurate dagli stessi CGPS, anche se queste ultime misure sono relative a periodi di tempo inferiori ai dati della serie storica SAR. Poichè i valori medi di velocità misurati dai CGPS di Fano e Falconara sono entrambi inferiori al millimetro, la differenza riscontrata con le velocità calibrate dei punti SAR è stata inferiore a -2,5 mm/a, valore che, considerata anche la diversa scala temporale, ricade nel campo d'errore strumentale di entrambi i sistemi di misura.

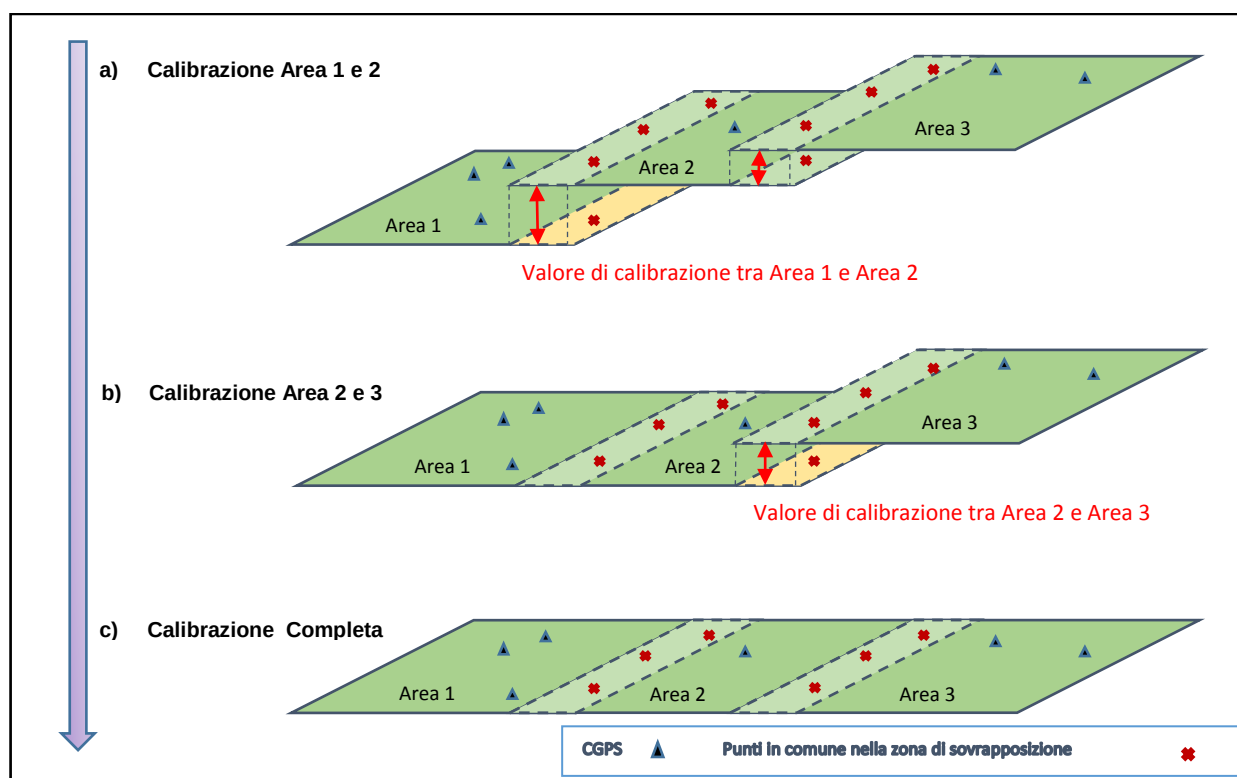


Fig. 2A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

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

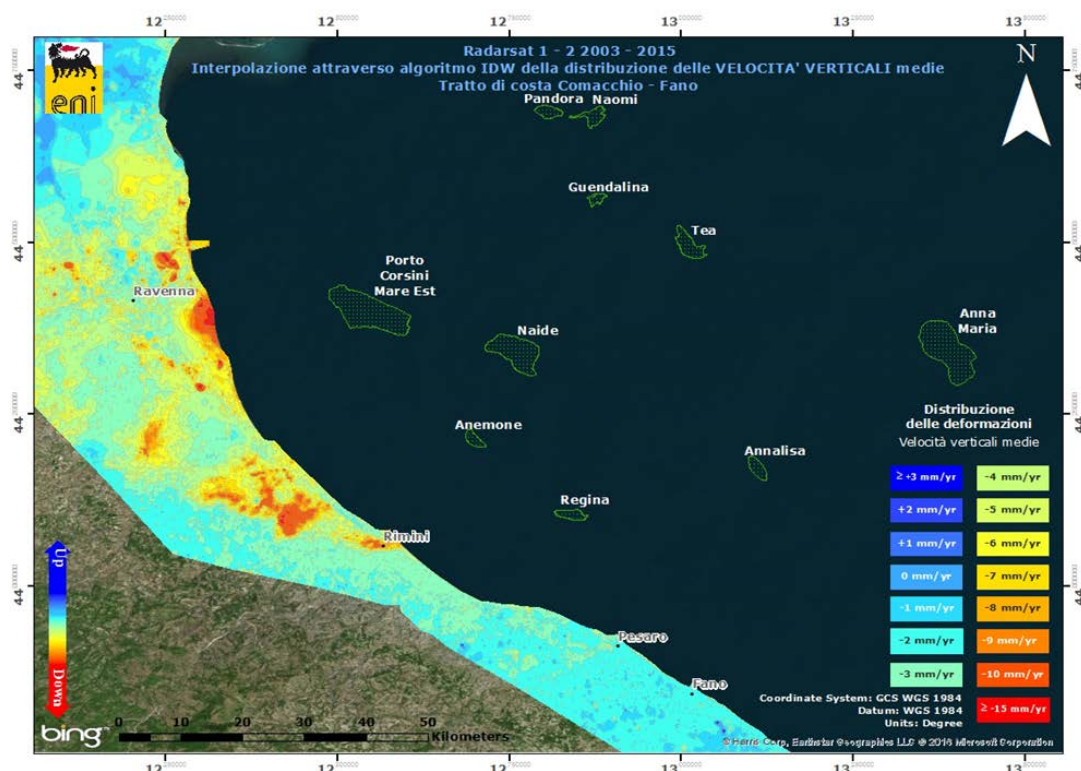


Fig. 3A –Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Comacchio a Fano: serie storica: 2003 – 2015

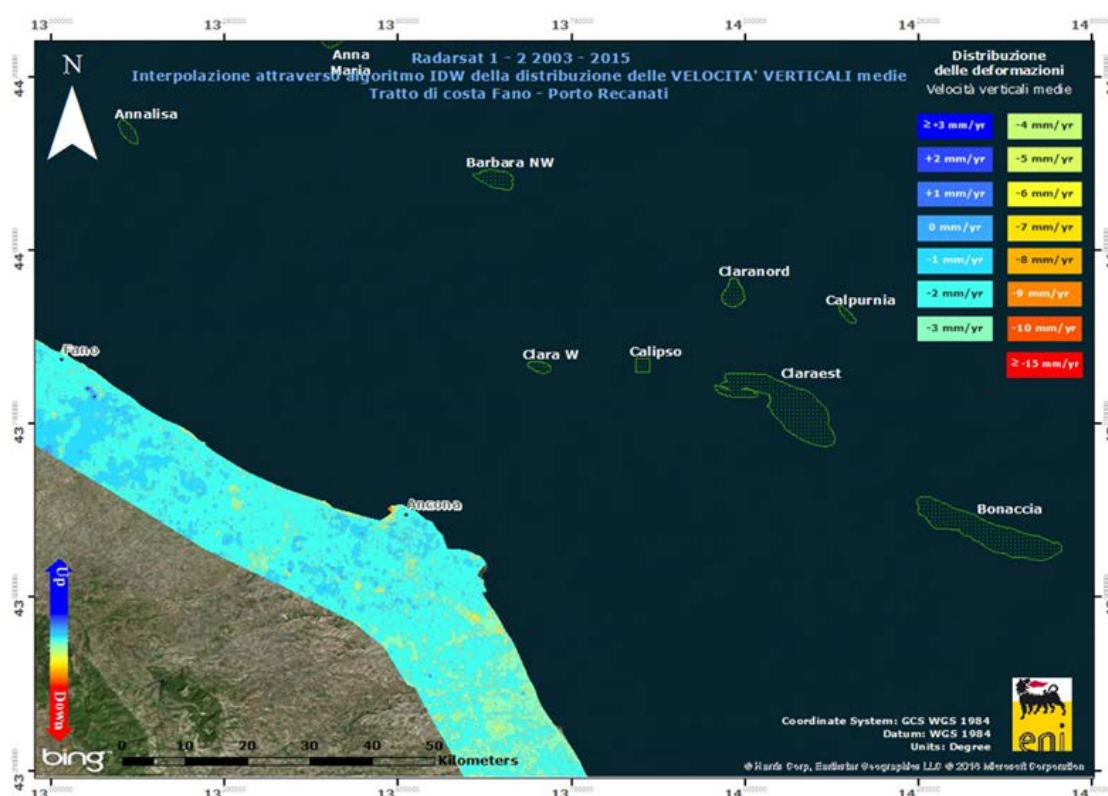


Fig. 4A –Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

Analisi del tratto di costa da Fano a Porto Recanati

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

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

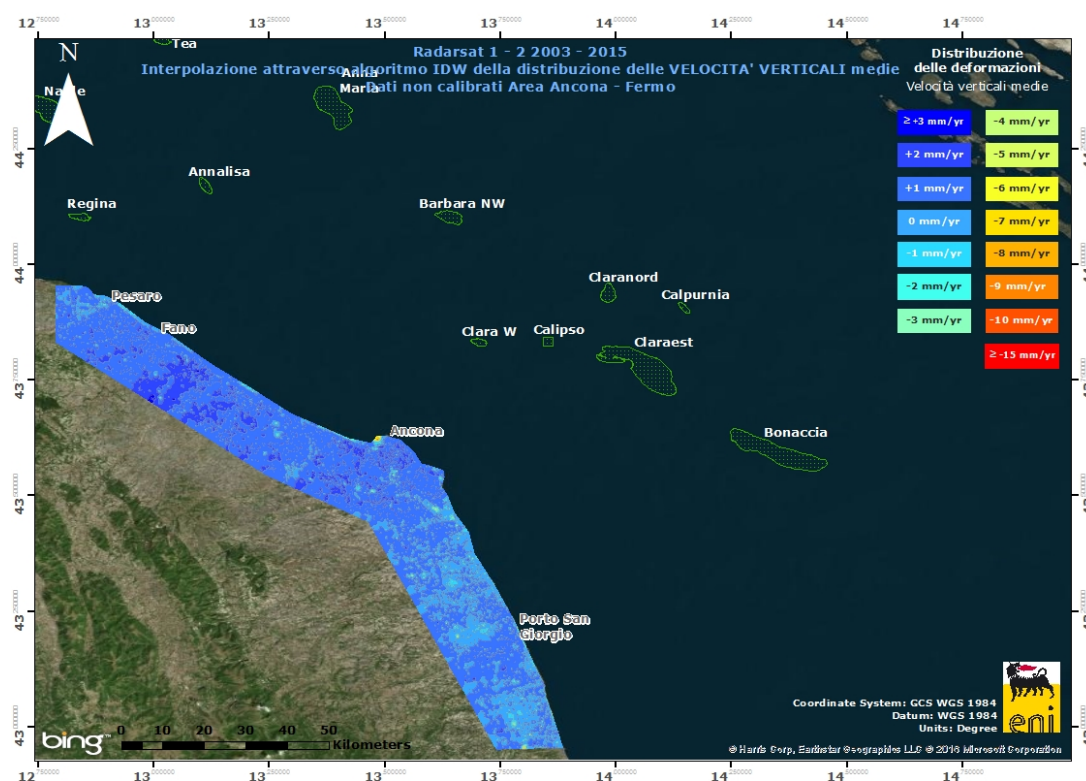


Fig. 5A- Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 non calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

Confronto dati SAR 2003 – 2014 vs 2003 – 2015

Per controllare il trend regionale delle aree in esame, si sono esaminate le differenze tra la mappa d'interpolazione dati derivati dal data-base 2003-2014 e quella d'interpolazione dati derivati dal data-base 2003-2015 (l'interpolazione dati è stata fatta con l'algoritmo IDW – Inverse Distance Weighted, in ambiente GIS).

Come mostrano le immagini di Fig. 6A e Fig. 7A non si notano sostanziali differenze fra i valori di velocità dei due data-set: gli scostamenti sono mediamente dell'ordine di circa -2 mm. L'unica zona per la quale si riscontrano valori anomali, dell'ordine di -10 mm, cade a nord della città di Ravenna nella zona adiacente al porto. Da un'attenta analisi si è, però, riscontrata una mancanza di dati in tale area per la scarsa coerenza del segnale SAR. Ciò ha prodotto un artefatto numerico, privo di significato fisico, nelle relative mappe d'interpolazione.

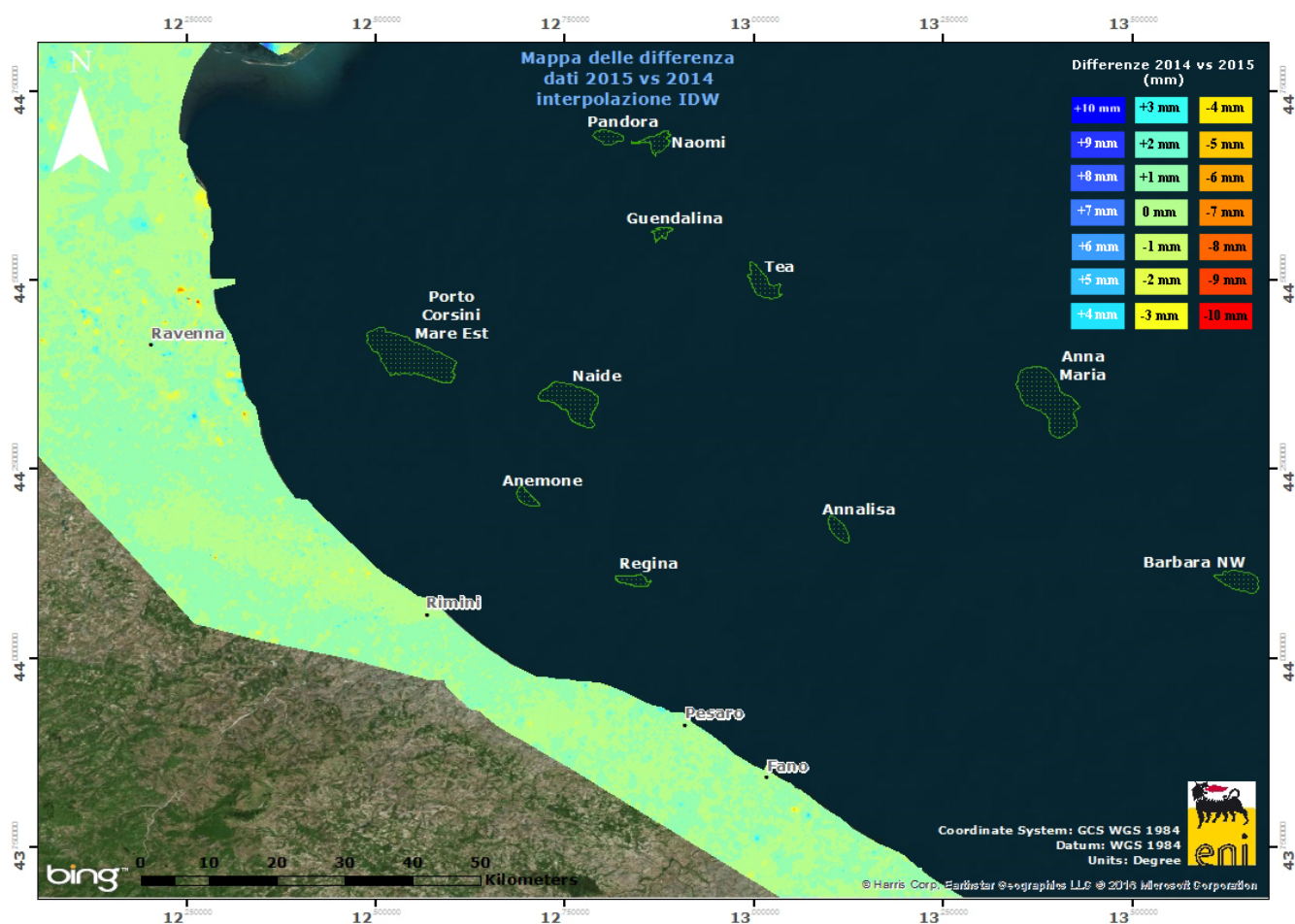


Fig. 6A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.
Tratto di costa da Comacchio a Fano

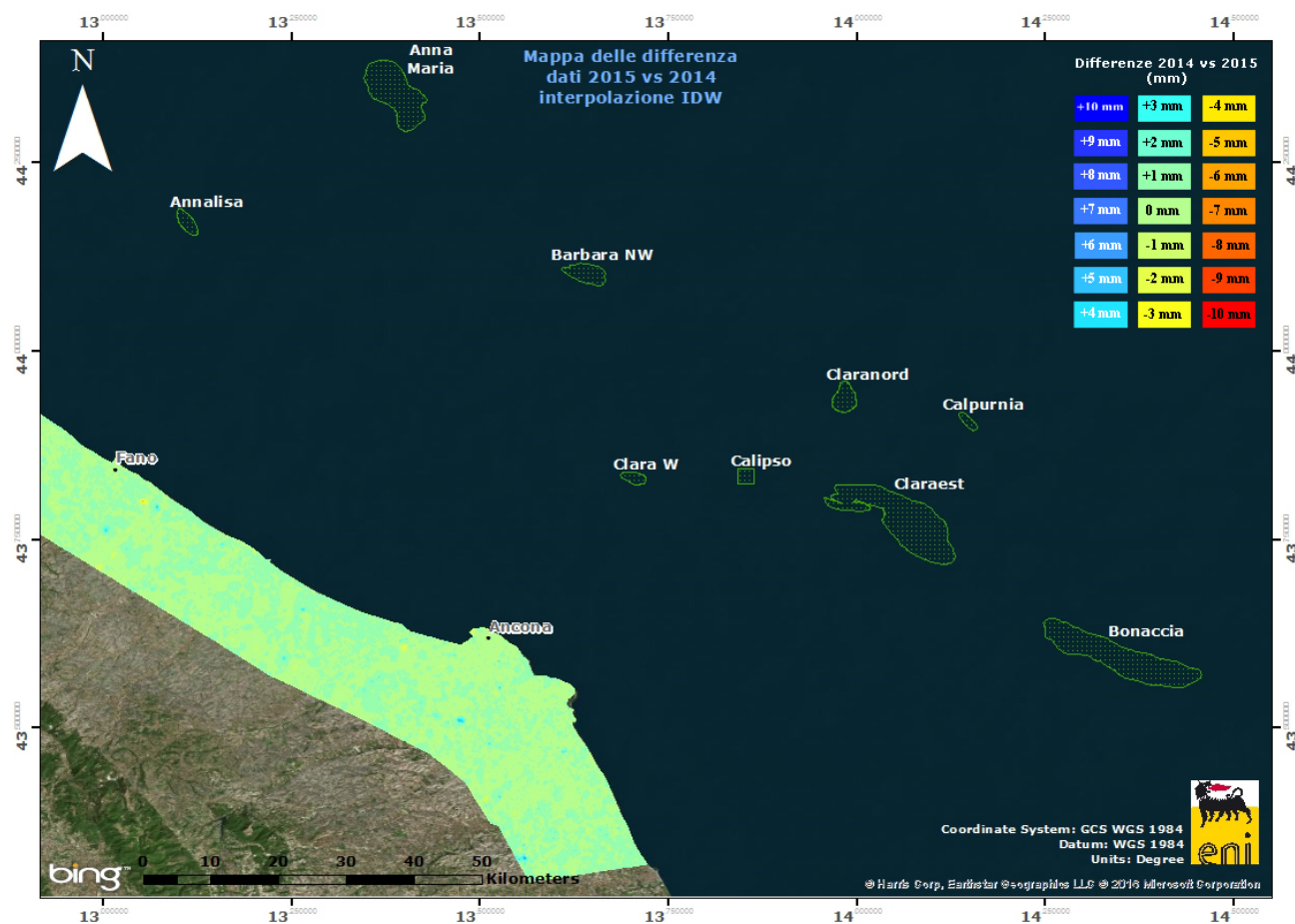


Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.
Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

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

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

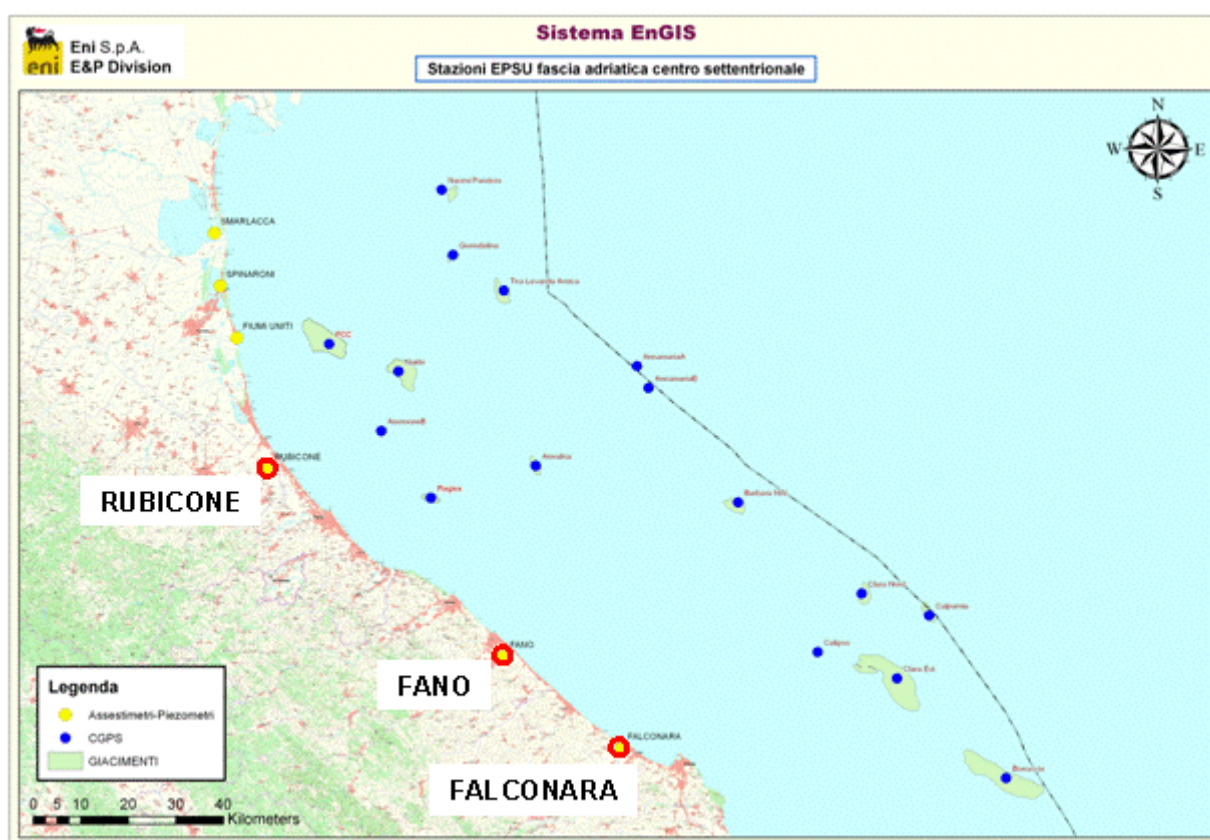


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU

In generale una stazione EPSU è costituita da un 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 pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

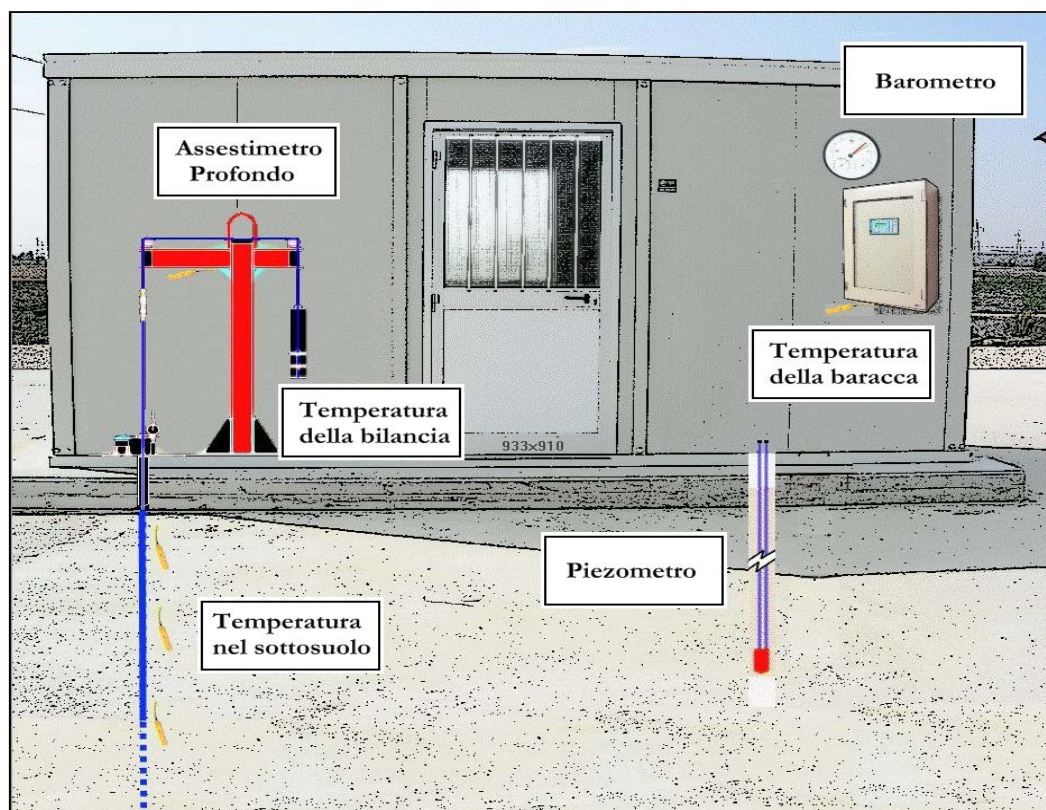


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



Più in dettaglio, in ciascuna delle 3 stazioni EPSU sono state installati i seguenti dispositivi di misura:

Località	Pozzo	Strumentazione	Profondità (da p.c.)	Data d'installazione
Rubicone	CGRA-1	Assestometro profondo	320 m	Gen. 2009
	CGRP-1	Piezometro cella singola	178 m	Gen. 2009
	CGRP-2	Piezometro cella doppia	146 m e 70 m	Gen. 2009
Fano	CGFNA-1	Assestometro superficiale	40,8 m	Lug. 2008
	CGFNP-1	Piezometro superficiale	6,1 m	Lug. 2008
Falconara	CGFLA-1	Assestometro superficiale	40,3 m	Lug. 2008
	CGFLP-1	Piezometro cella singola	22 m	Lug. 2008

Per ciascuna stazione EPSU vengono allegati:

1. scheda che evidenzia sinteticamente le principali caratteristiche;
2. grafico con tutti i dati registrati;
3. file in formato excel con tutte le misure.

N.B.: Nella lettura dei dati riportati sui grafici relativi agli assestimetri, i valori positivi costituiscono la componente della compattazione (riduzione dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestometro); al contrario i valori negativi costituiscono la componente dell'espansione (aumento dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestometro).



Stazione EPSU di RUBICONE (installata dicembre 2009)

Strumentazione:

- assestometro - 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 2011 una misura ogni 6 ore.

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

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

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

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestometro 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'assestometro 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'assestometro indicano, quindi, una compattazione, valori negativi, viceversa, un incre-



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

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

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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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

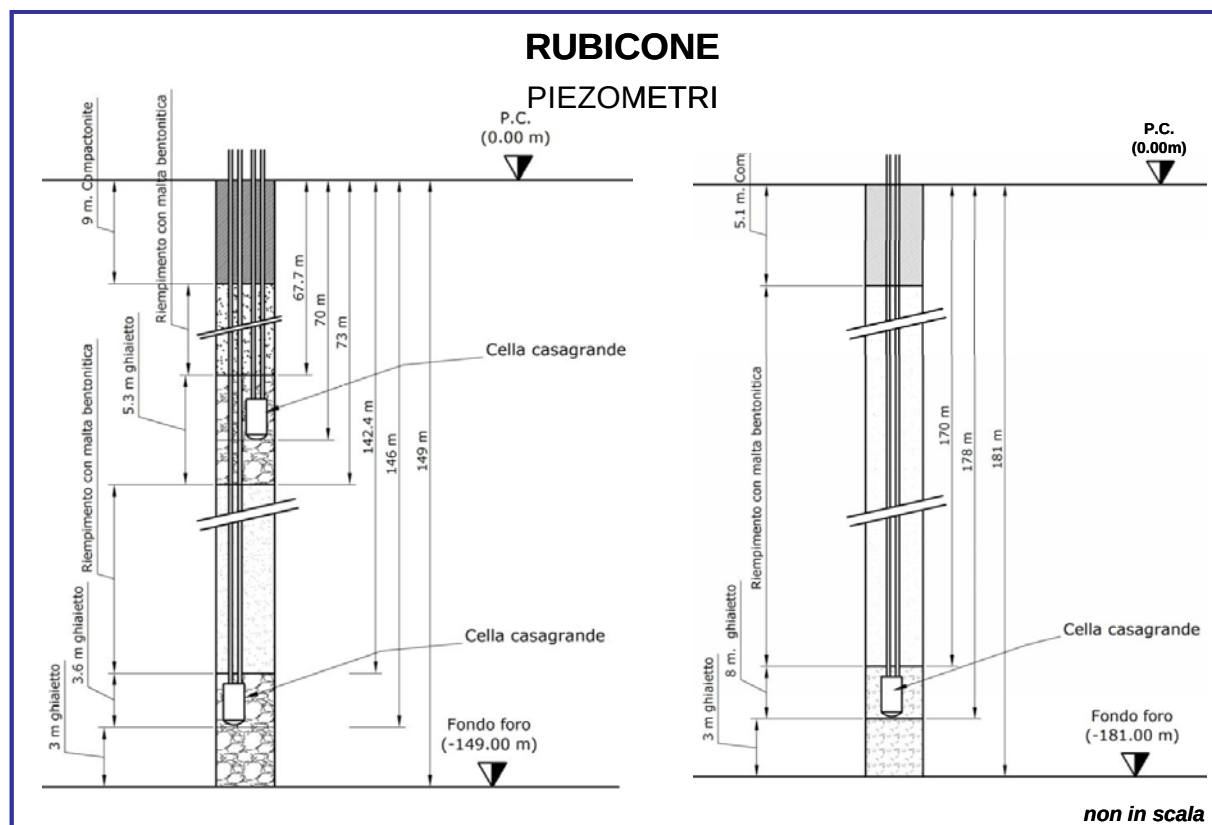


CGRP-1).

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

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

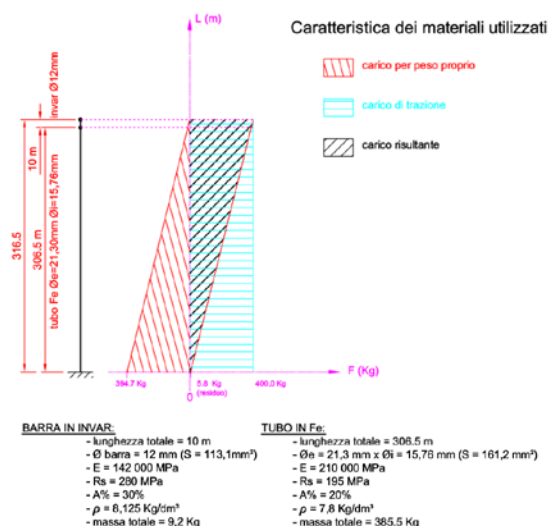
A dicembre 2015 si sono effettuati nuovi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.

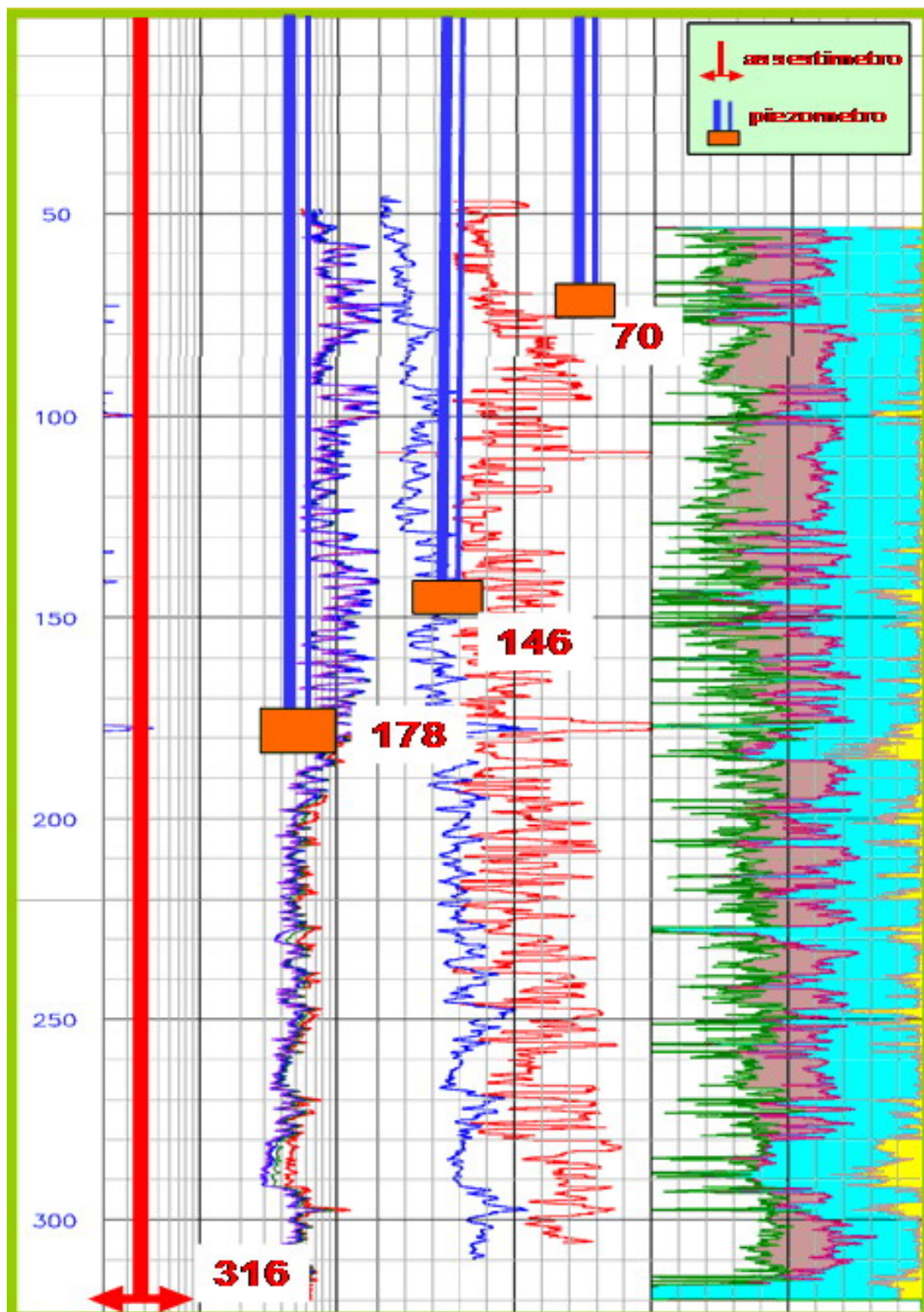




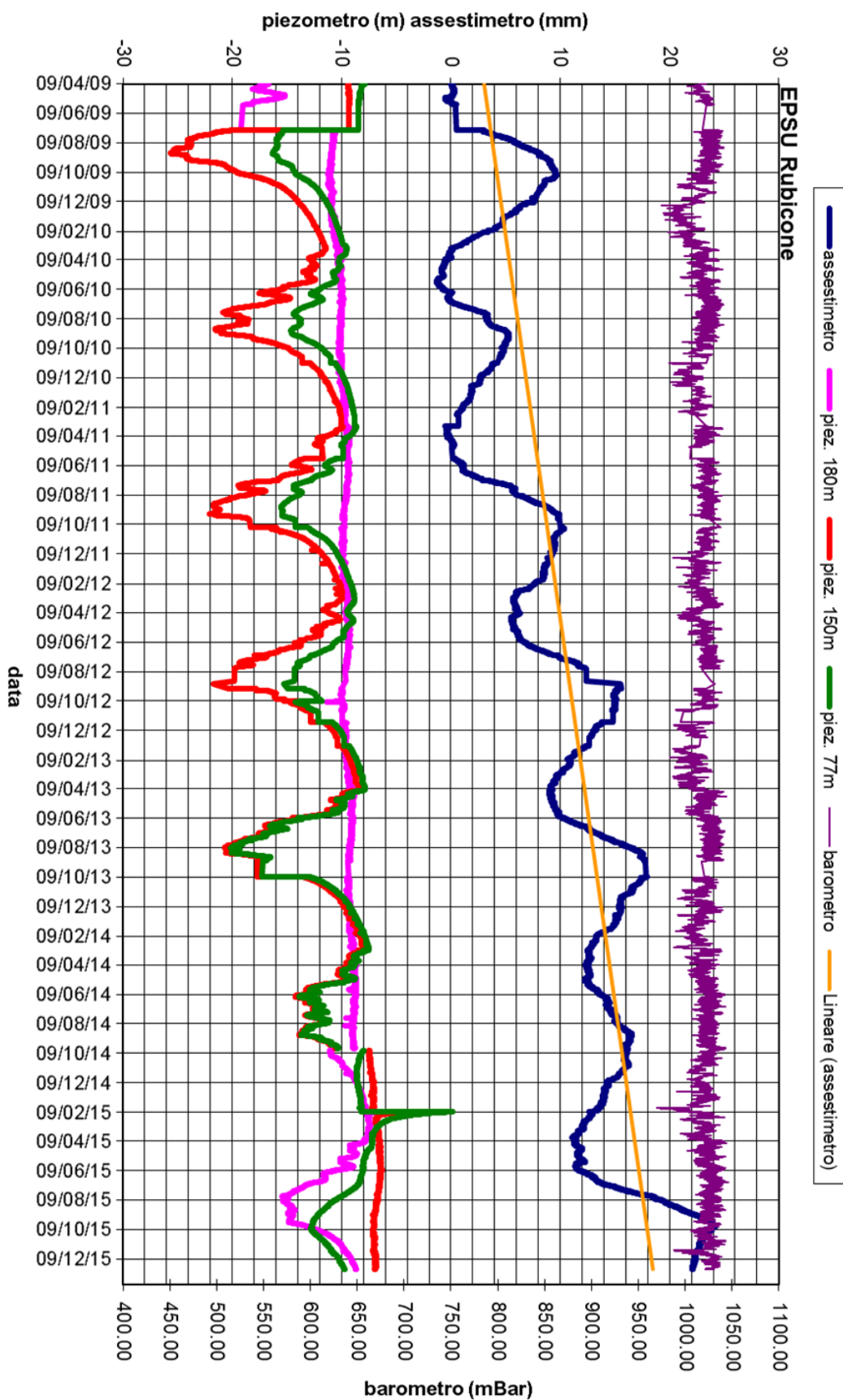
RUBICONE ASSESTIMETRO

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





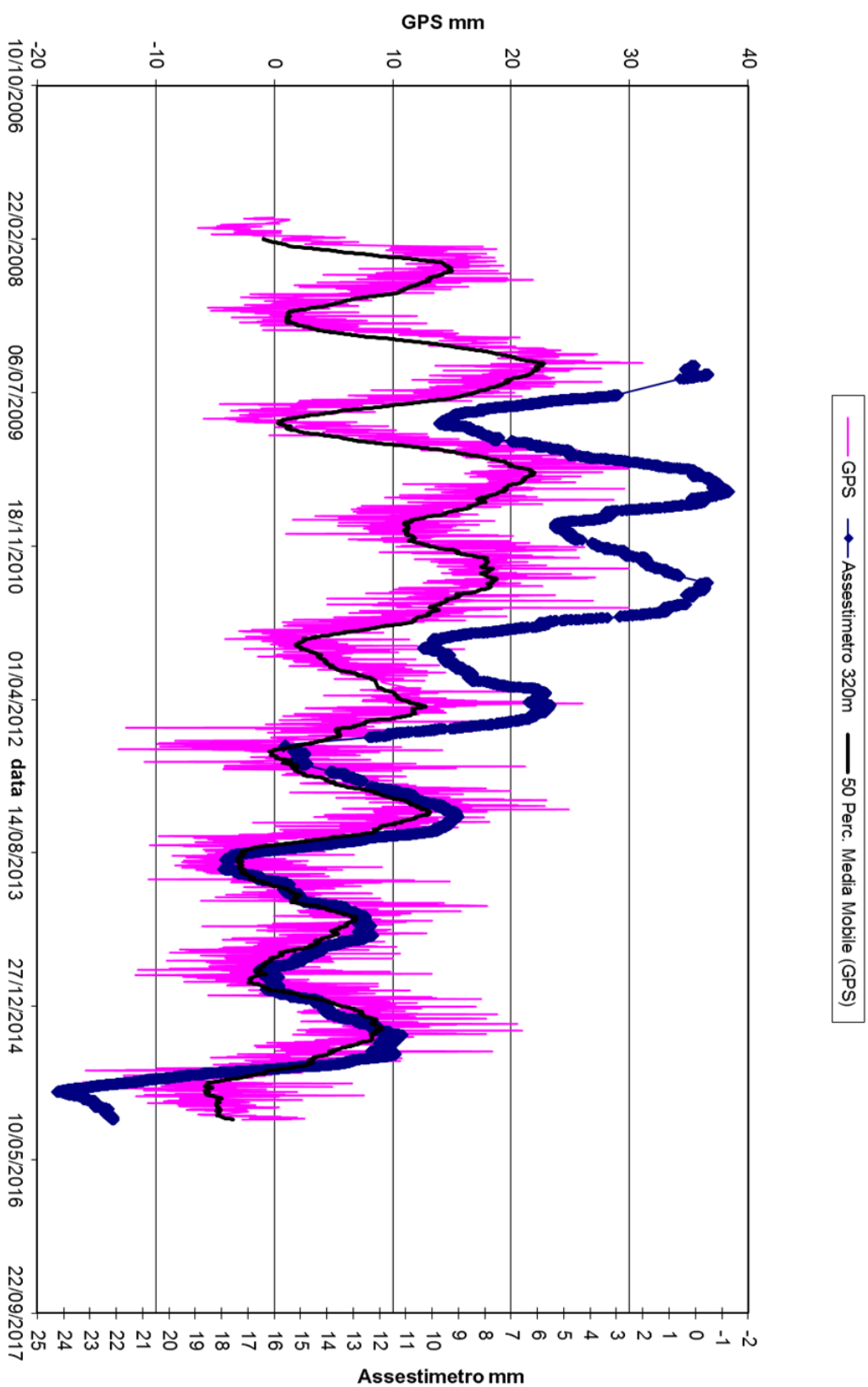
Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.



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



RUBICONE - Confronto GPS ed assestimetro profondo



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



Stazione EPSU di FALCONARA (installata ottobre 2008)

Strumentazione:

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

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

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

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

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

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

Analisi dei dati assestimetrici

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

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

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

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

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

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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

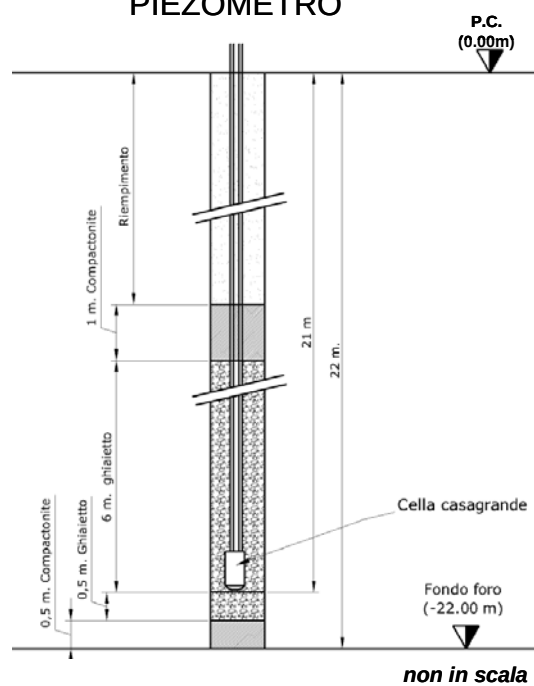
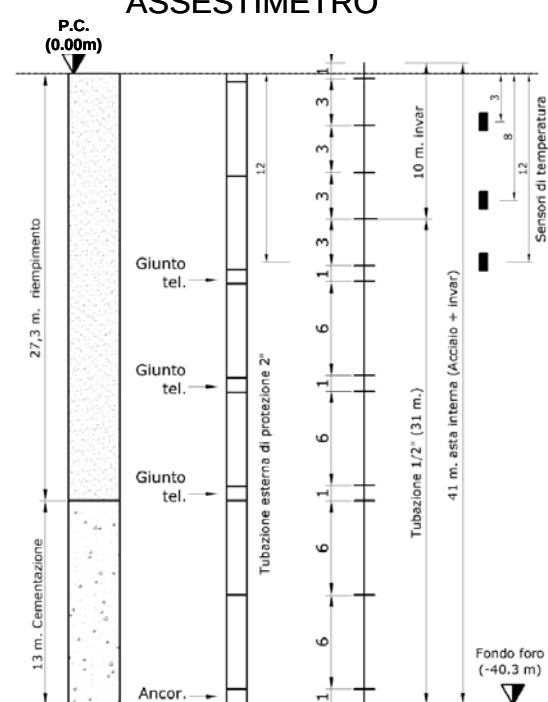
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici, si è riportata la piezometria.

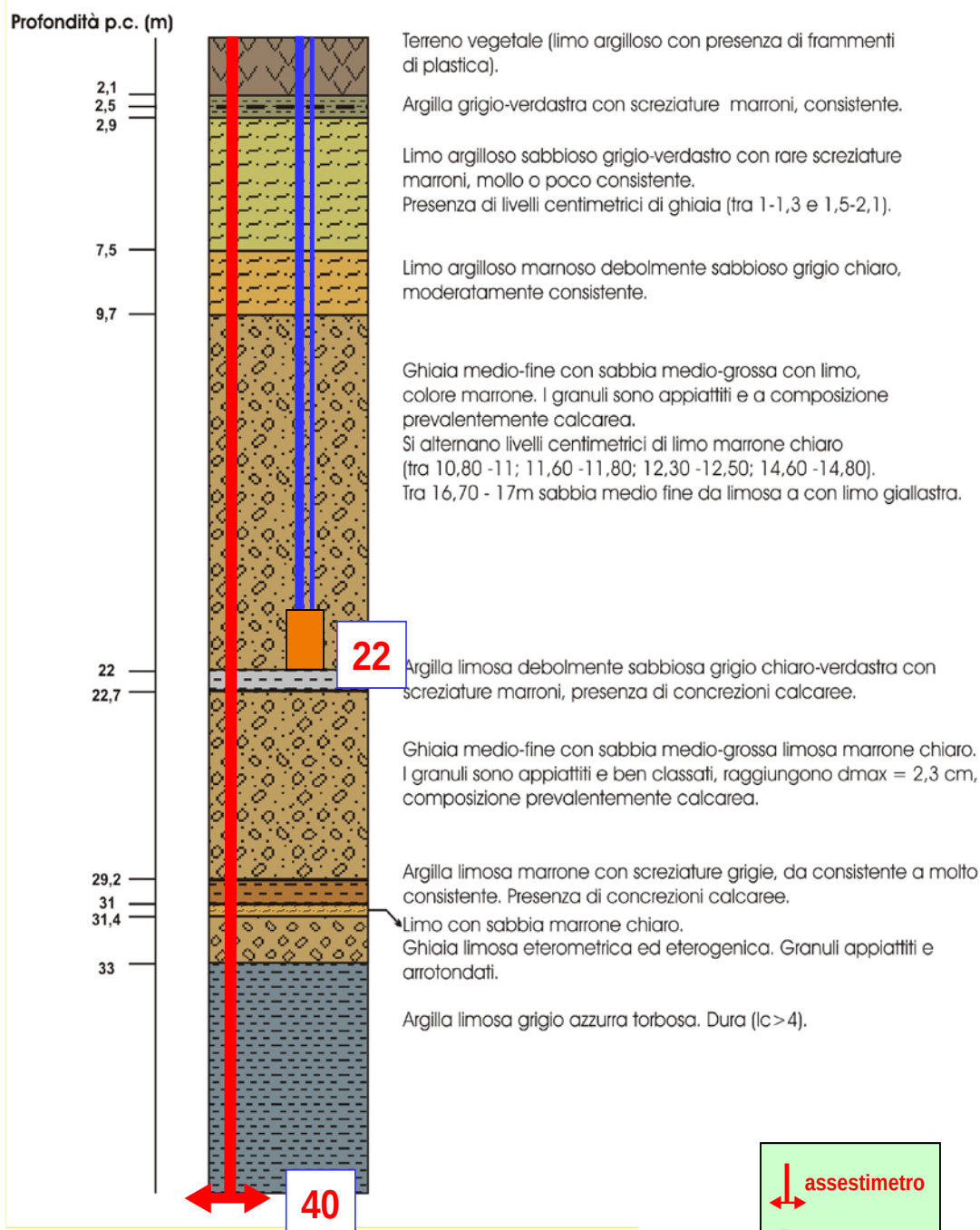
Nel grafico del piezometro l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

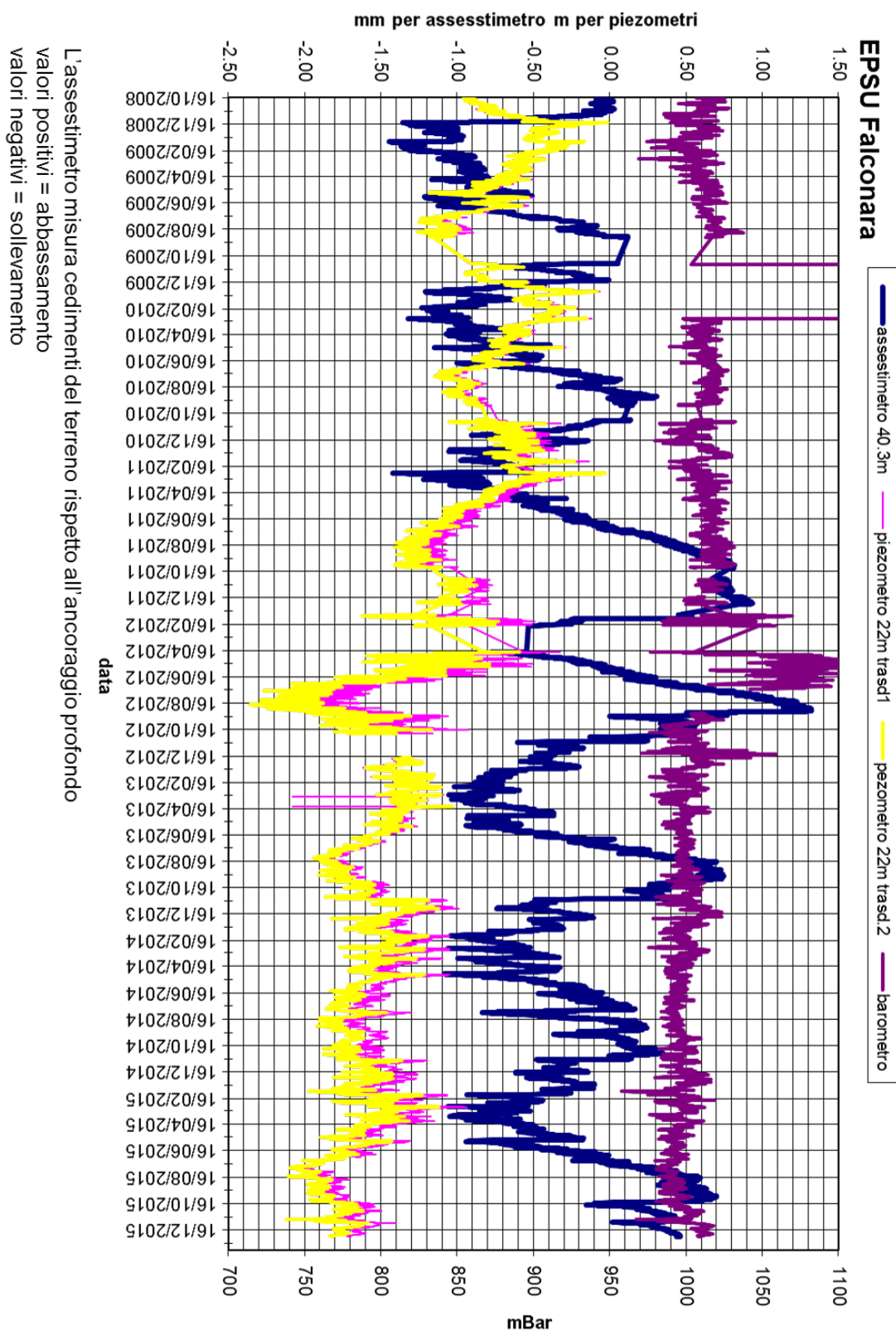
Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

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

PIEZOMETRO

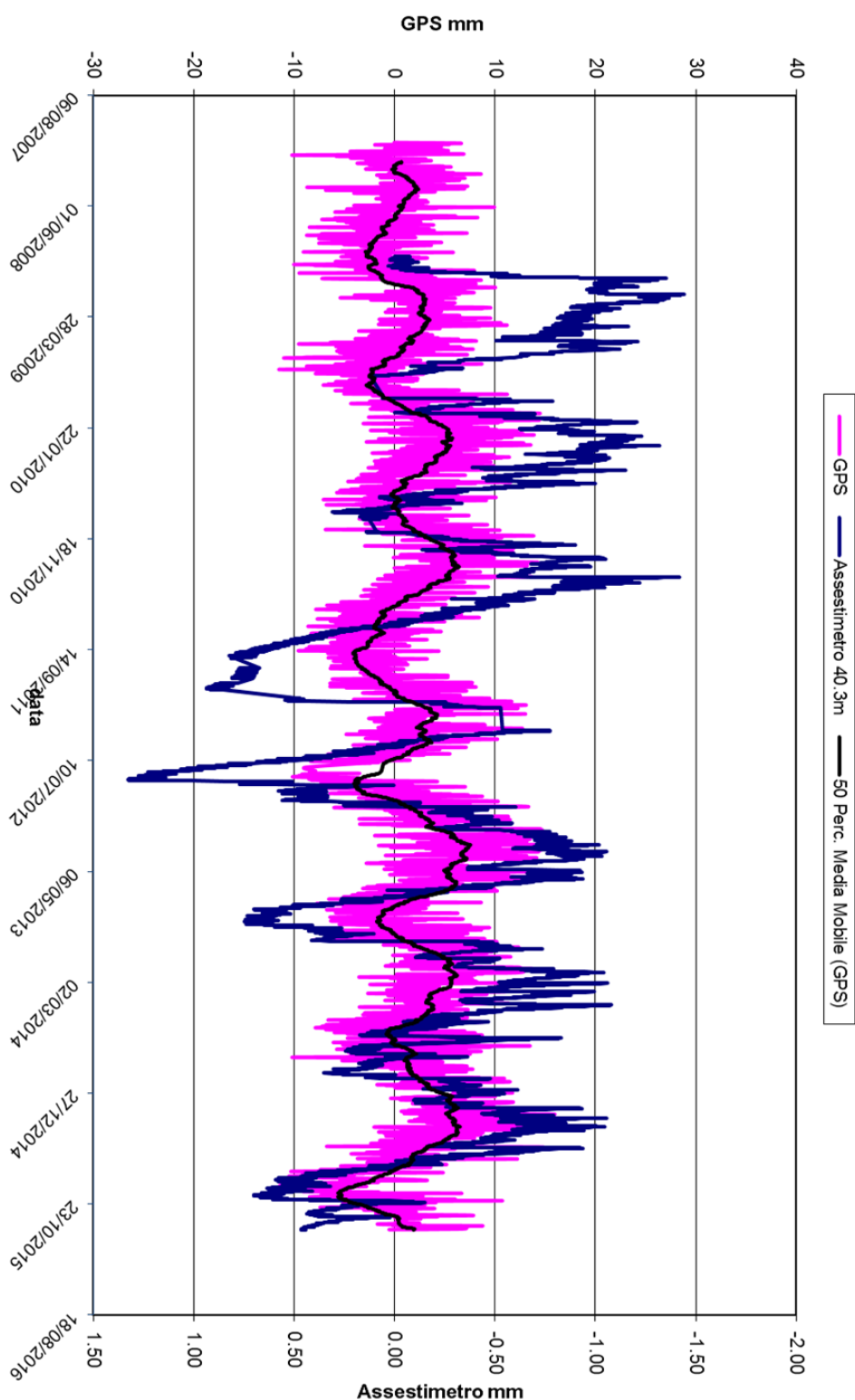








FALCONARA - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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 2015.

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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



stratigrafia caratterizzata da una minore presenza di livelli argillosi.

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

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

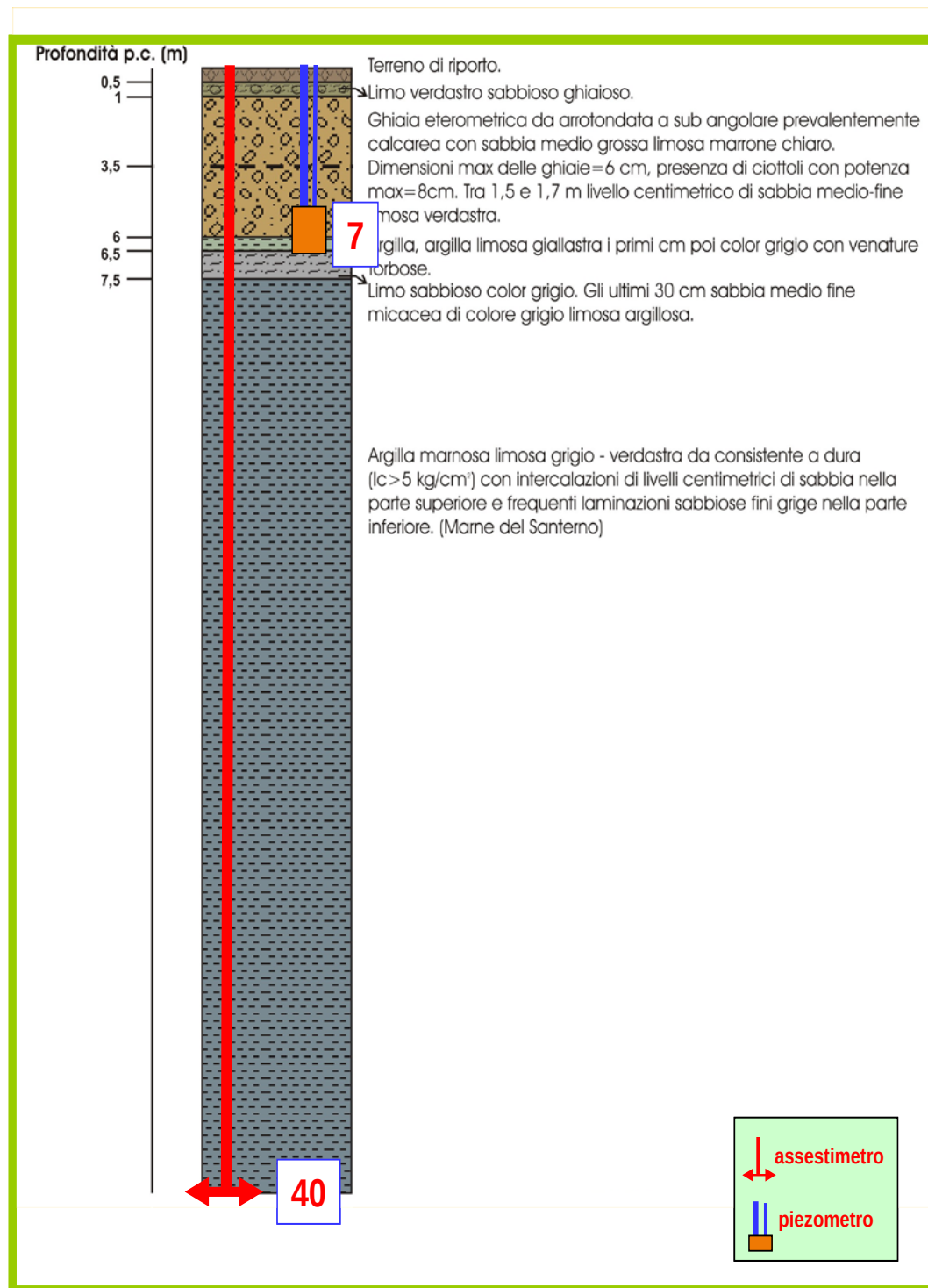
Analisi dei dati piezometrici

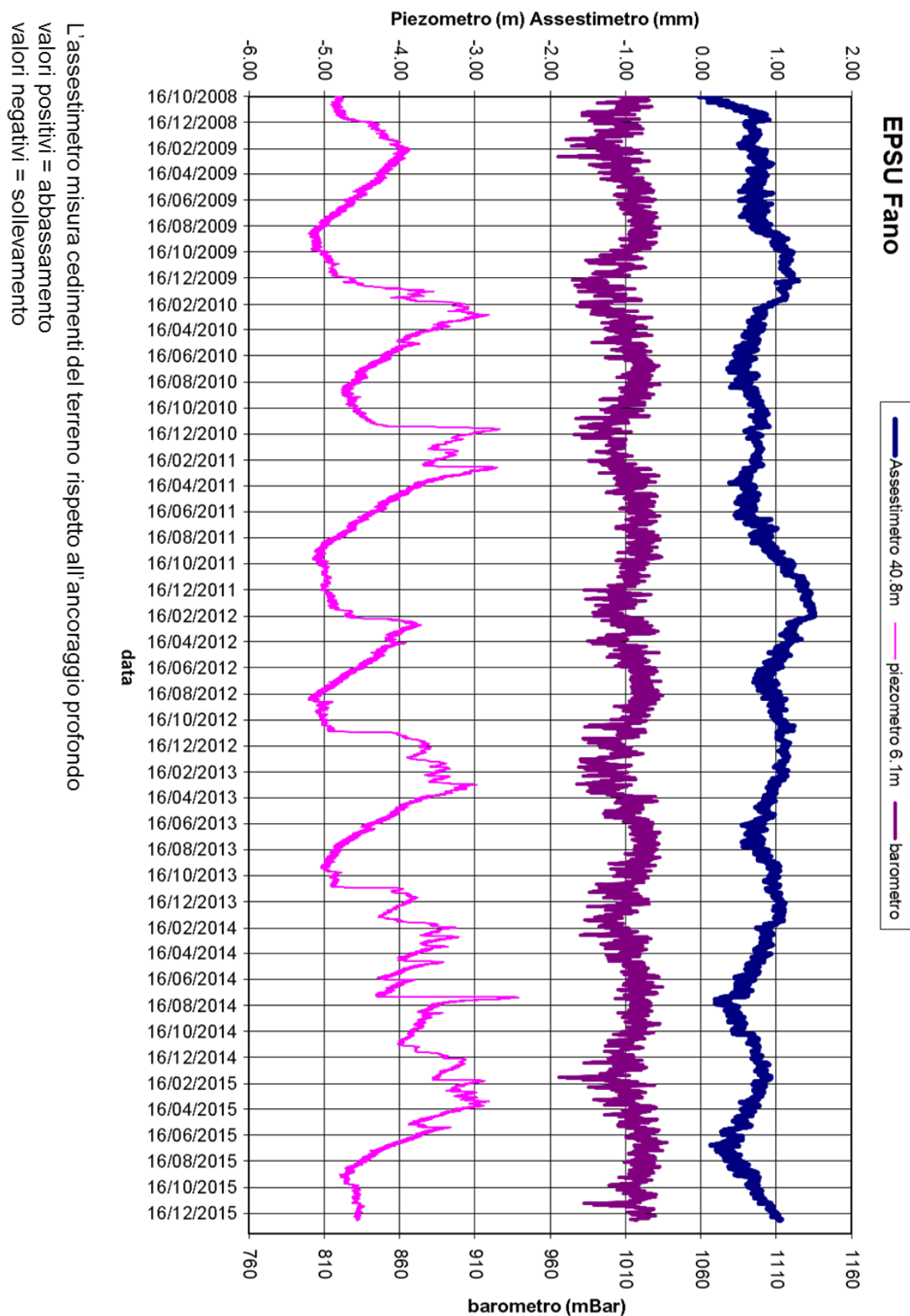
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria.

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

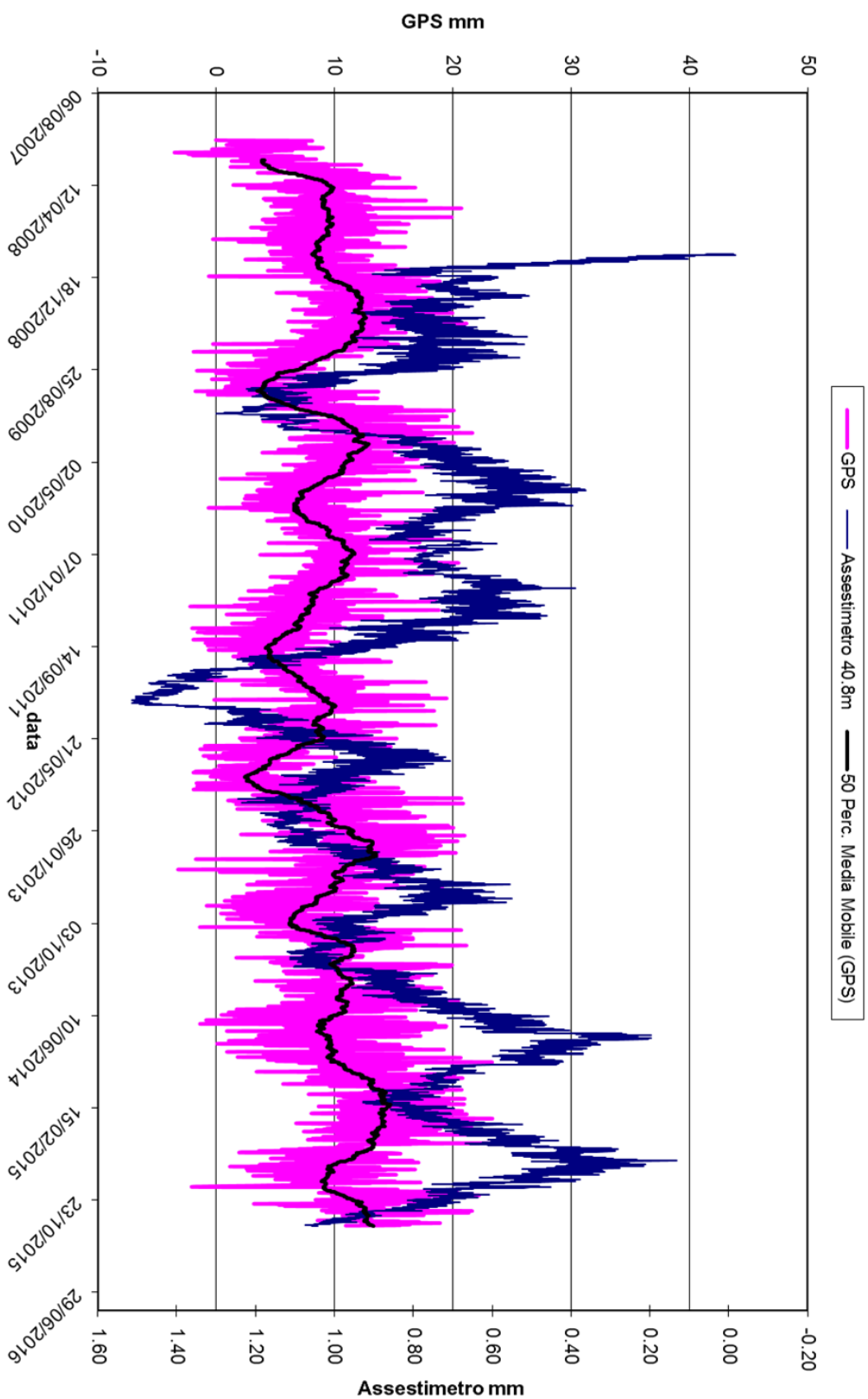
L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casa-grande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 8 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento.

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





FANO - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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



Conclusioni

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

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

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

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

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

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



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