



## Campo di ANNAMARIA

Aggiornamento al 31/12/16

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 (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 torbido della F.ne Porto Garibaldi e in seguito dalle torbidi distali della F.ne Carola, che hanno progressivamente colmato il bacino torbido 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 MSm<sup>3</sup> di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,0 MSm<sup>3</sup>/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 9337 MSm<sup>3</sup> di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,1 MSm<sup>3</sup>/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 MSm<sup>3</sup> di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,0 MSm<sup>3</sup>/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 4415 MSm<sup>3</sup> di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,1 MSm<sup>3</sup>/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 MSm<sup>3</sup> di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso Do Nothing);
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 3890 MSm<sup>3</sup> di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso Do Nothing).

- 

La produzione totale di campo al 31/12/16 è stata di 5119 MSm<sup>3</sup> (Figura 3) così ripartita fra le due piattaforme:

- Annamaria A: 2506 MSm<sup>3</sup> (Figura 4);
- Annamaria B: 2613 MSm<sup>3</sup> (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 campo<sup>1</sup>. Al 2060 il valore massimo di subsidenza è stato previsto

---

<sup>1</sup> 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) – 23-30 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.



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 raggiunge 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).

Per migliorare ulteriormente il match tra i CGPS in piattaforma e le previsioni modellistiche si è deciso di aggiornare il modello statico (terminato nel 2016) e dinamico di giacimento (ancora in corso) cui successivamente seguirà la 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 km<sup>2</sup>. Il risultato di questo primo rilievo ha permesso una caratterizzazione geomorfologica del fondale caratterizzato da una profondità minima di -41 m nella parte NE che declina fino a -68 m di profondità nella parte meridionale. 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'acquisizione del rilievo batimetrico *multibeam* del 2009 è stata fatta non solo per una caratterizzazione geomorfologica del fondale, ma anche per ottenere un "termine di confronto" prima dell'avvio della produzione del campo, abbracciando un'area d'estensione tale da in-

cludere tutta la possibile superficie di disturbo indotta dalla subsidenza così come prevista in fase di modellazione.

Nel corso del 2016 si è proceduto all'acquisizione di un nuovo rilievo batimetrico (Figura 8) e (Figura 9) per il controllo e taratura delle previsioni del modello geomeccanico che sarà disponibile al termine dell'aggiornamento del modello di giacimento (attività ancora in corso). Si segnala che nel 2009 il rilievo era stato suddiviso in due zone: zona italiana (rilevata dalla Società G.A.S) e zona croata (rilevata dall'Istituto Idrografico Croato); nel 2016, però, il rilievo è stato eseguito solo per la sola zona italiana.

Un primo confronto tra le quote rilevate nel 2009 e nel 2016 per tale zona mostra che il fondale marino è soggetto a un abbassamento ben definito nell'intorno della piattaforma Annamaria B (vedi rapporto finale "AM711" del survey batimetrico 2016 di Lighthouse, allegato).

I valori di massima subsidenza ricavati dai rilievi batimetrici sono in linea sia con quelli previsti dal modello geomeccanico nello scenario più pessimistico ("upper"), sia con l'abbassamento della piattaforma Annamaria B registrato dalla stazione CGPS (pari a circa 65 cm)<sup>2</sup>. L'estensione areale del cono di subsidenza, ricavata dalle misure batimetriche, è più contenuta rispetto a quella prevista dal modello geomeccanico per i tre scenari di simulazione considerati (Figura 10).

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

---

<sup>2</sup> L'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma, e che viene rilevato sia con la batimetria che con il CGPS, rappresenta la "subsidenza totale" di tale zona. Quest'ultima è causata dal concorso di diversi fenomeni, quali: 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 (evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa). I modelli geomeccanici, invece, valutano la sola "subsidenza antropica" per effetto dell'estrazione del gas e non tengono conto degli altri fenomeni di cui si è detto.



*lo Studio del 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.

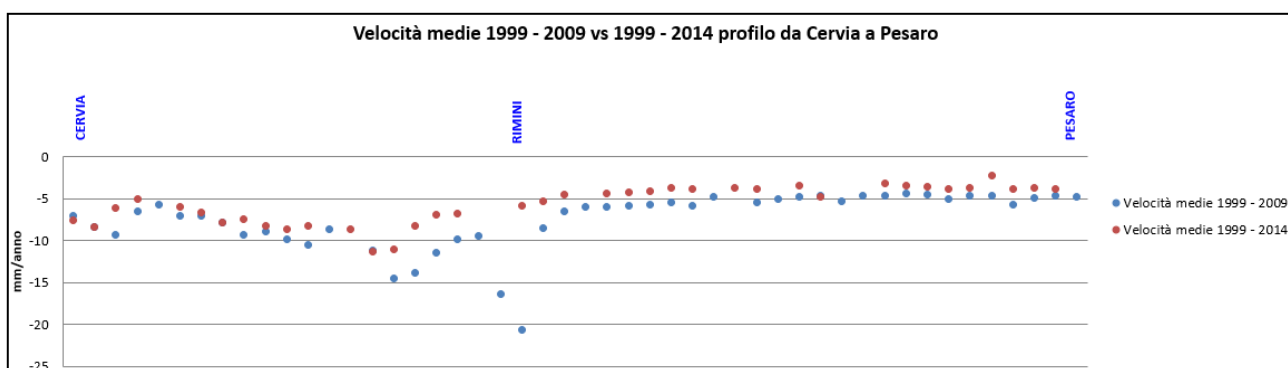
Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2014, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in



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.

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;

<sup>2</sup> Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie) sono riportate con valori negativi. Per comodità d'interpretazione, però, nell'elenco che segue le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.





- 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 (il prossimo rilievo è previsto nel 2017) 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 GPS della stazione che insiste sull'area in esame (Rubicone, la cui velocità media di subsidenza, stimata con regressione lineare e relativa allo stesso periodo delle campagne di livellazione, è pari a 1,5 mm/a) mostra valori che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità e trattandosi di misurazioni spazialmente non coincidenti, sono assolutamente compatibili. Infatti, i valori di velocità media, valutati mediante regressione lineare, sui due capisaldi (02602504 e 02603300) più prossimi alla stazione CGPS sono rispettivamente pari a 0,7 mm/a e 3,1 mm/a.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2016) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 11).

Le attività di monitoraggio sono state potenziate negli ultimi anni mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore. Dal 2007, infatti, ne sono state installate sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008) e di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto



2011). Le stazioni CGPS di Naide e PCC sono, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. In tempi più recenti, sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Bonaccia-NW (settembre 2015) e, infine, di Clara NW (marzo 2016).

Le serie storiche delle misure GPS acquisite nelle stazioni messe in opera nel periodo 2014 - 2016, sono però ancora troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

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

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

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

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, infine, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico (completata con i corner reflector nel mese di maggio 2017), che, una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, entrerà a fare parte delle stazioni utilizzate per il monitoraggio della stabilità della costa.

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.– Dipartimento di Fisica e Astronomia DIFAS.

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 31/12/2016 (Figura 12a), 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**

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/a	D-H mm/a
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 possono essere considerate sufficientemente attendibili 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



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

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese 5.0, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). Nel corso del 2013, a seguito del rilascio del nuovo sistema di riferimento, sono stati rielaborati tutti i dati secondo il sistema ITRF2008-IGB08, al quale fanno riferimento i grafici della presente relazione.

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

Nel caso di Annamaria B (p.ma in acque italiane), sulla base di una serie storica di misure GPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>3</sup> pari a -108,6 mm/a (Figure 12a e Figura 14), in aumento rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-100,3 mm/a al 2015).

Nell'andamento temporale di tale dataset di misure GPS, inoltre, si può osservare una variazione di velocità, che può essere correlata con una variazione della storia produttiva del campo (Figura 13).

In particolare:

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -45,3 mm/a nel periodo aprile 2010 - gennaio 2013;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -139,8 mm/a nel periodo gennaio 2013 - dicembre 2016.

---

<sup>3</sup> Si veda in proposito quanto riportato nella nota a piè pagina n. 2



Si segnala che eventuali discordanze nei valori di velocità, che si possono verificare 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.

Si riporta in Figura 12b anche la serie storica di misure CGPS rilevate sulla piattaforma Annamaria A (acque croate). L'elaborazione di tali misure, che sono relative a un intervallo temporale superiore ai 36 mesi, consente di stimare una velocità media di subsidenza totale pari a -68,0 mm/a.

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del 2013 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" 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, è in corso una revisione del modello statico e dinamico di giacimento cui seguirà la revisione del modello geomeccanico.

Allo scopo di monitorare in situ la compattazione delle rocce serbatoio, inoltre, si è proceduto in data 24/07/2016 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, 30/09/2014 e 31/05/2015), 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 stata 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 stata 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 stata 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 stata 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 stata pari a circa 180 mm, così ripartita:

- da 970 a 1002 m: compattazione 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.



La compattazione misurata tra maggio 2015 e luglio 2016 è stata pari a circa 200 mm, così ripartita:

- da 970 a 1002 m: compattazione di 10 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 182 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, marzo 2011-aprile 2012, aprile 2012-luglio 2013, luglio 2013-settembre 2014, settembre 2014-maggio 2015 e maggio 2015-luglio 2016.

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



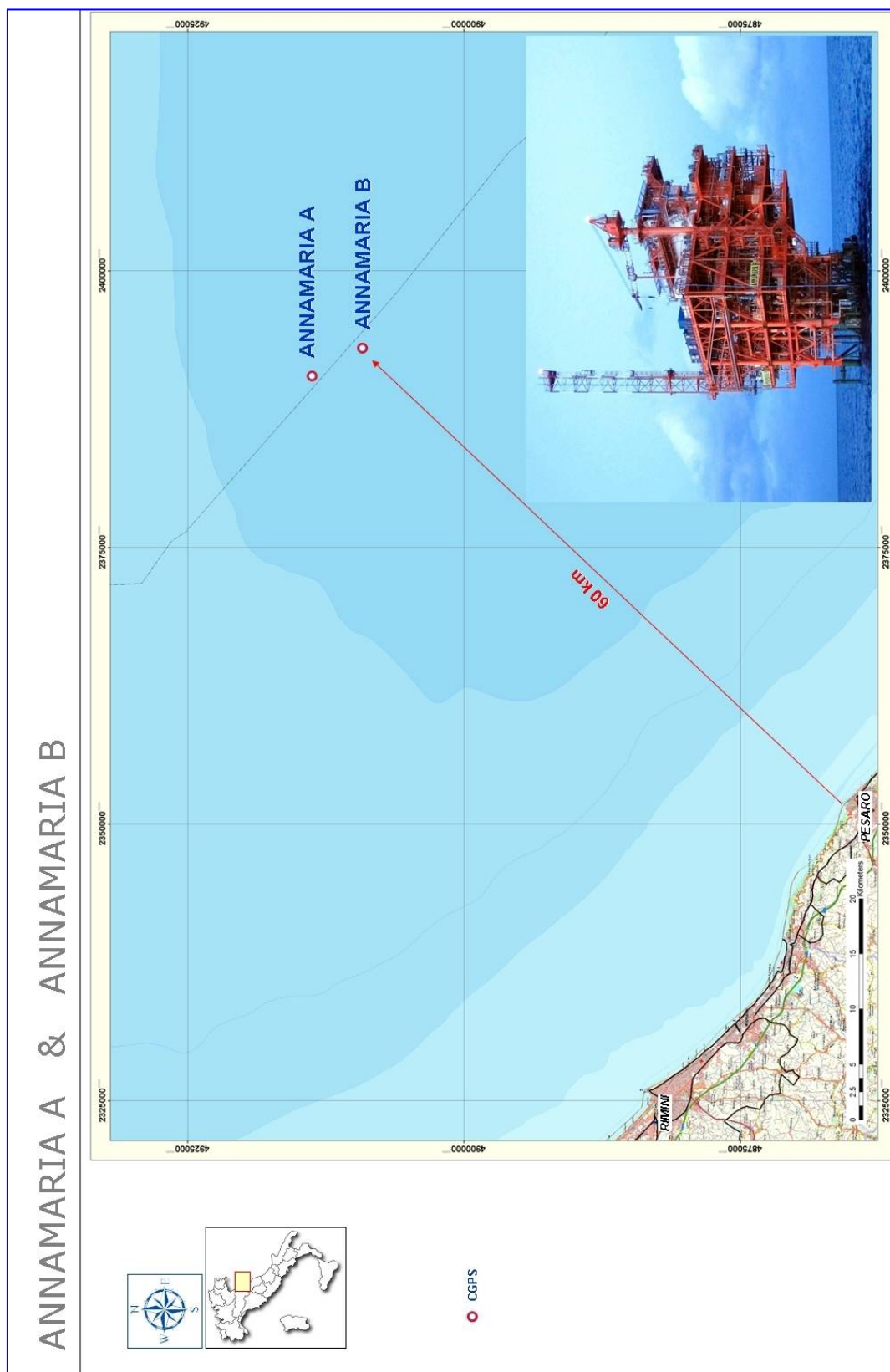
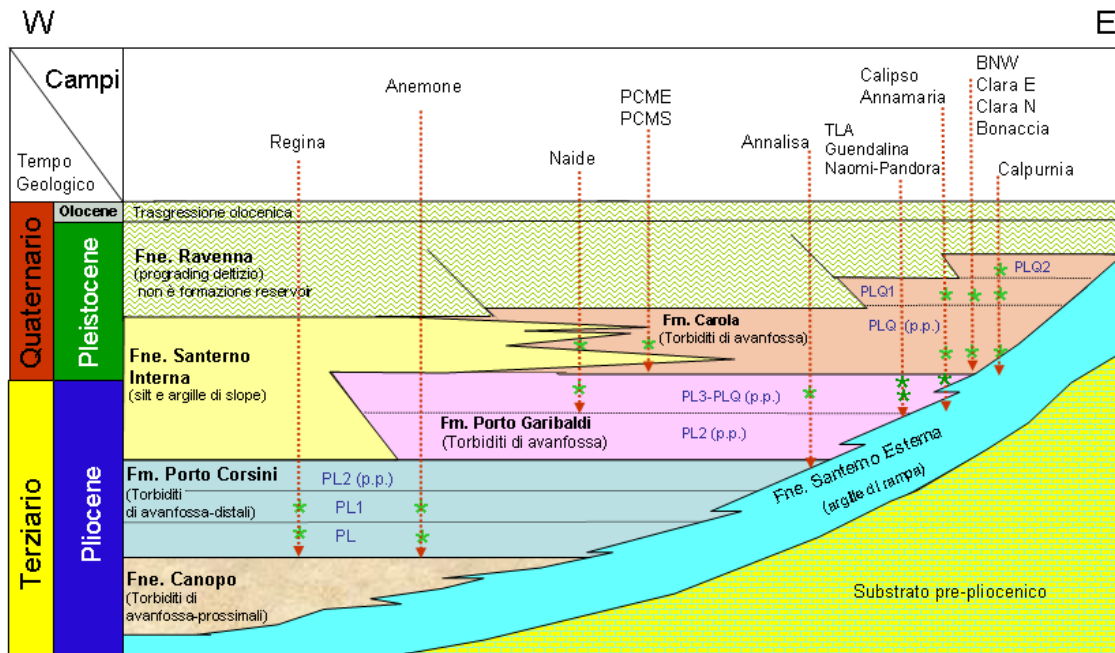
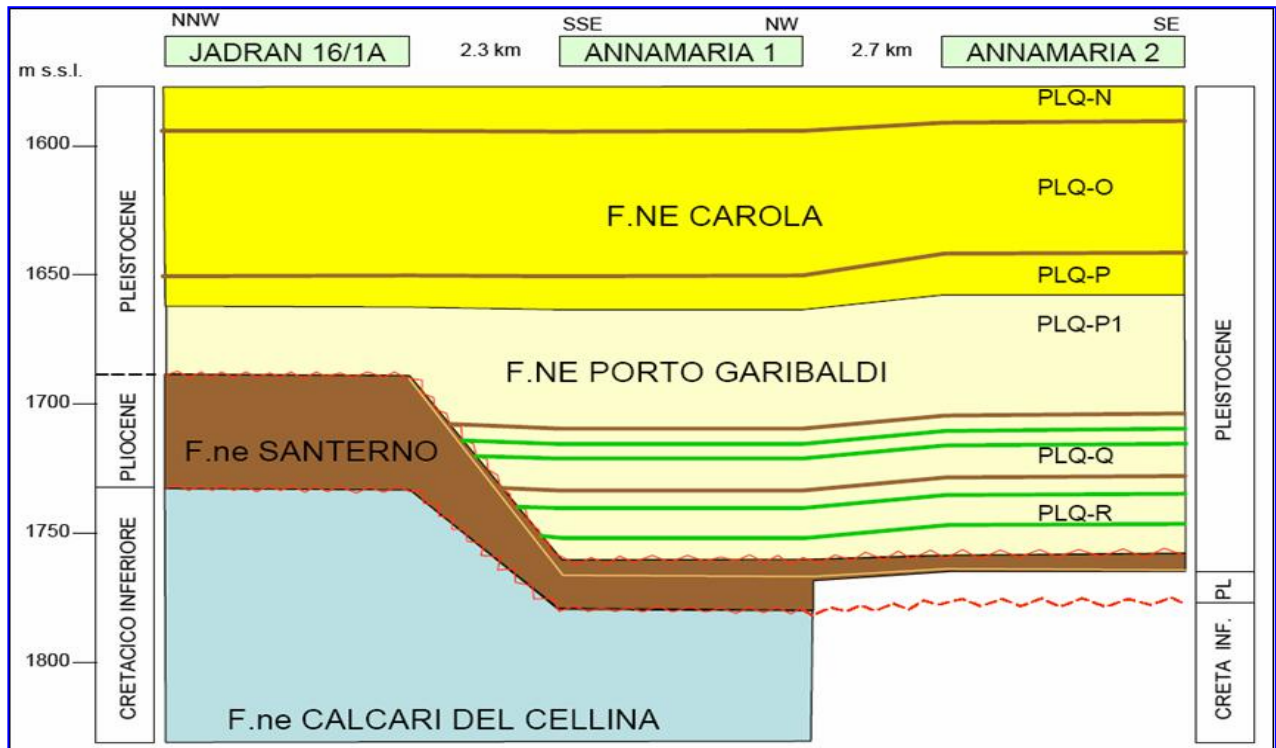


Figura 1 - Posizione del Campo di Annamaria



**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 <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
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	457	453	5119	5113	66%
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					
2041					
2042					
2043					
2044					

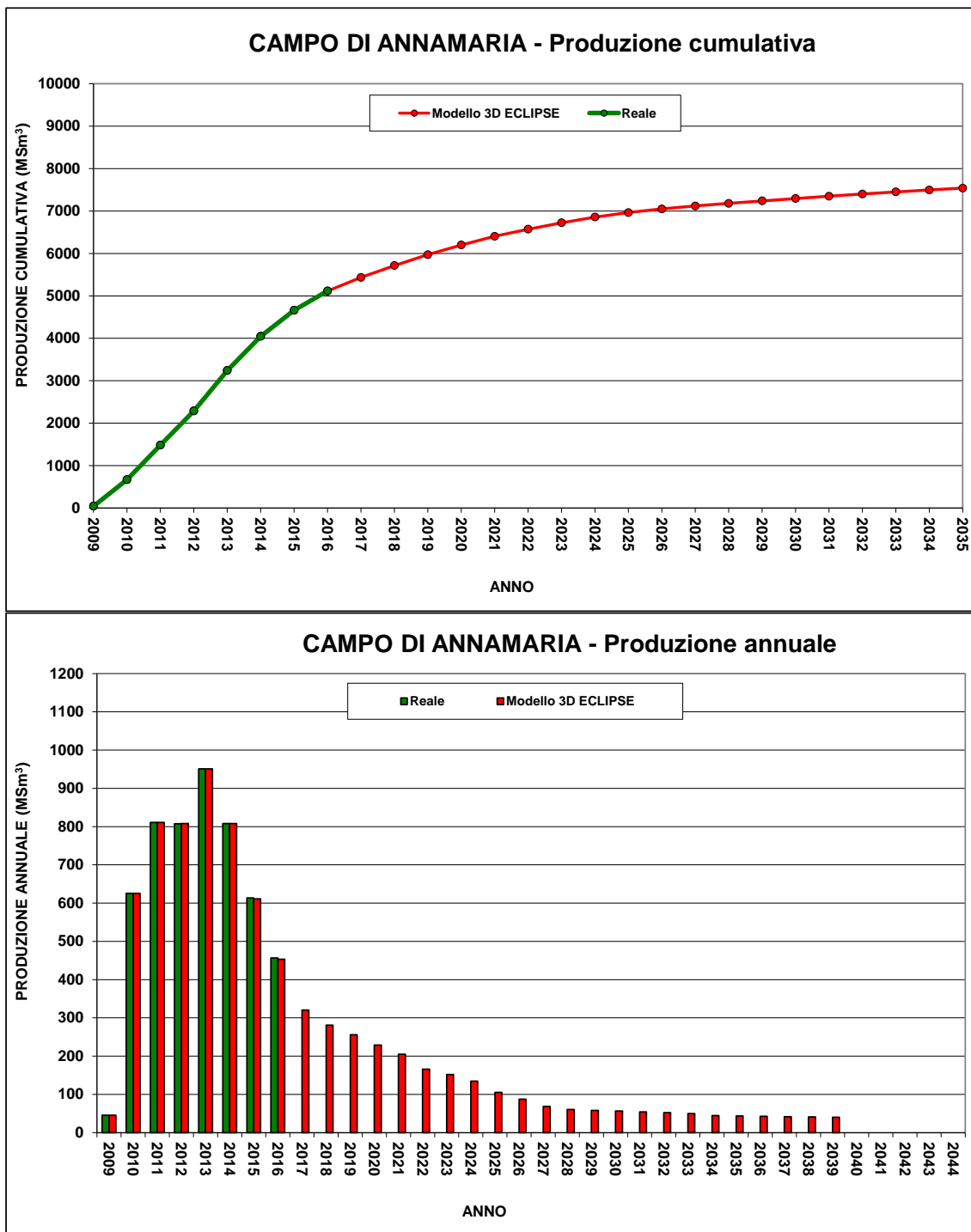


Figura 3 – Campo di Annamaria: tabella e grafico di produzione vs. modello Eclipse 2015

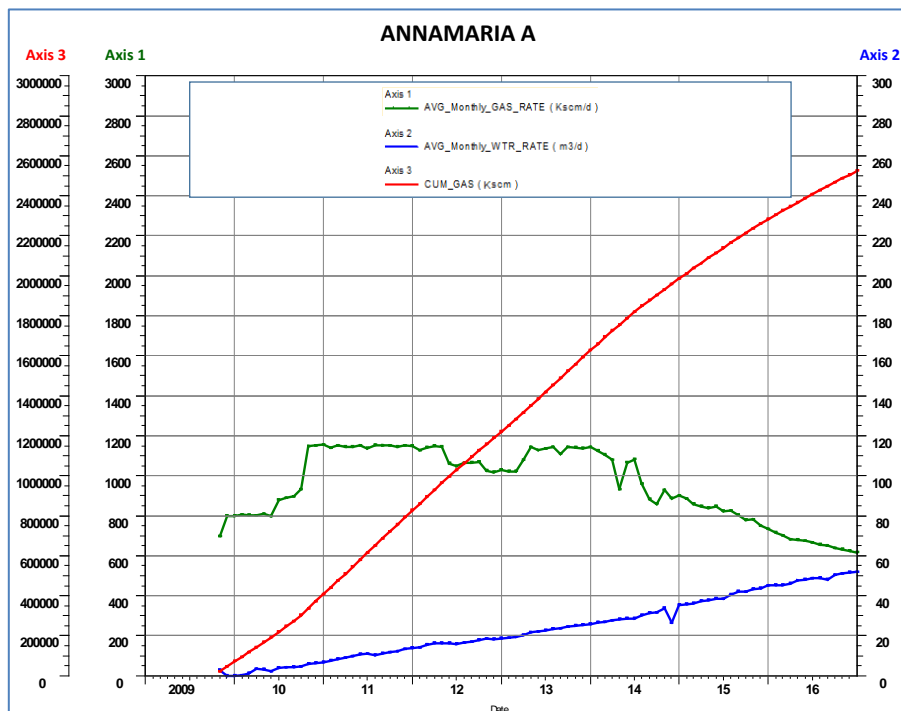


Figura 4 – Campo di Annamaria – Piattaforma A: di produzione storica

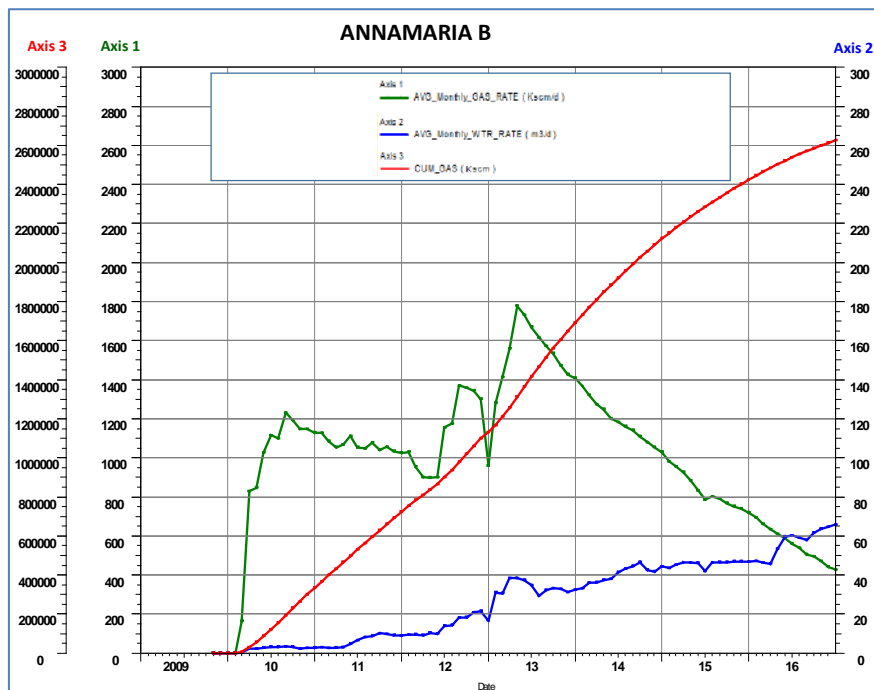


Figura 5 - Campo di Annamaria – Piattaforma B: produzione storica

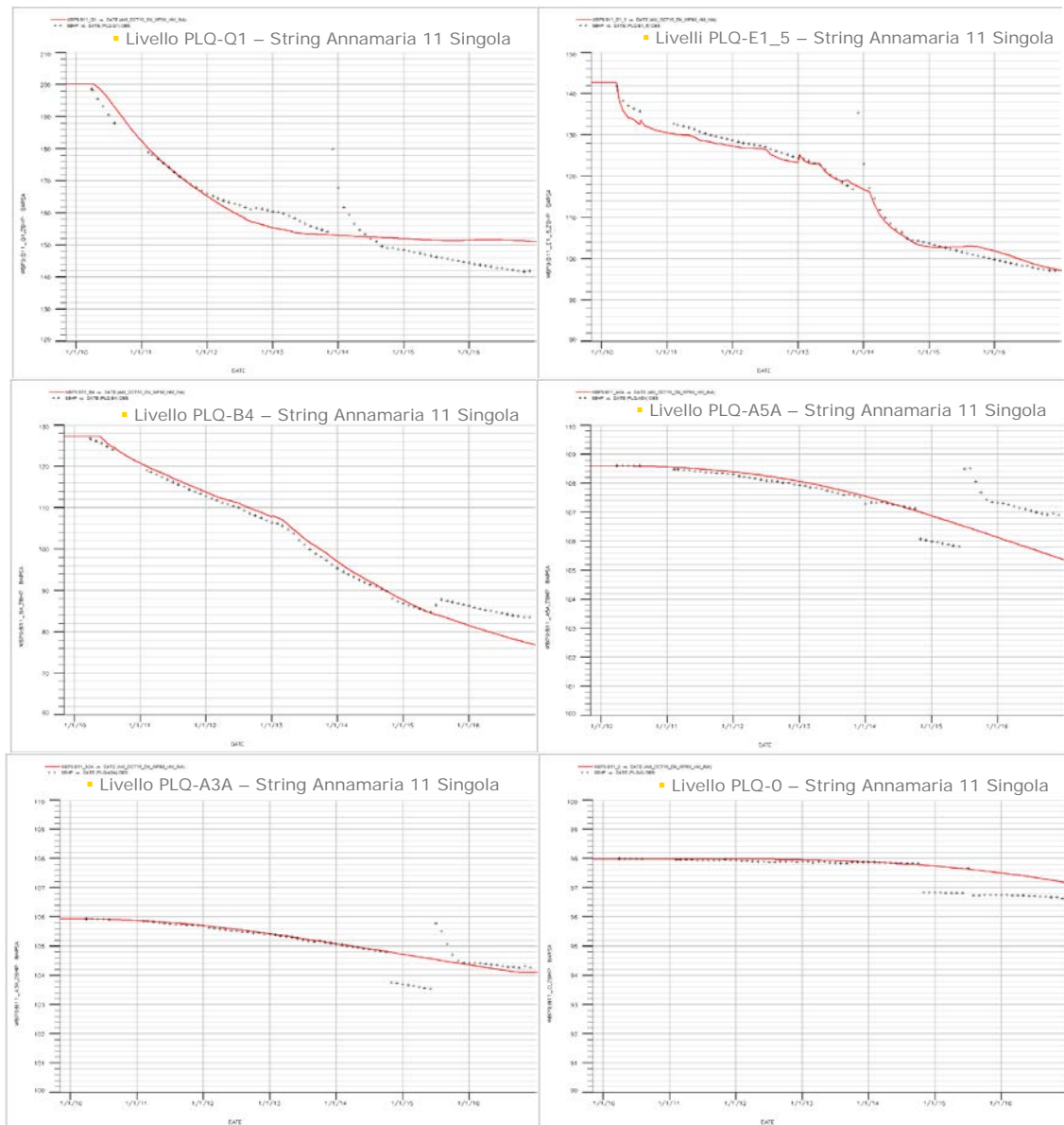


Figura 6 – Misure di pressione (Annamaria 11B PPG) e modello Eclipse 2015

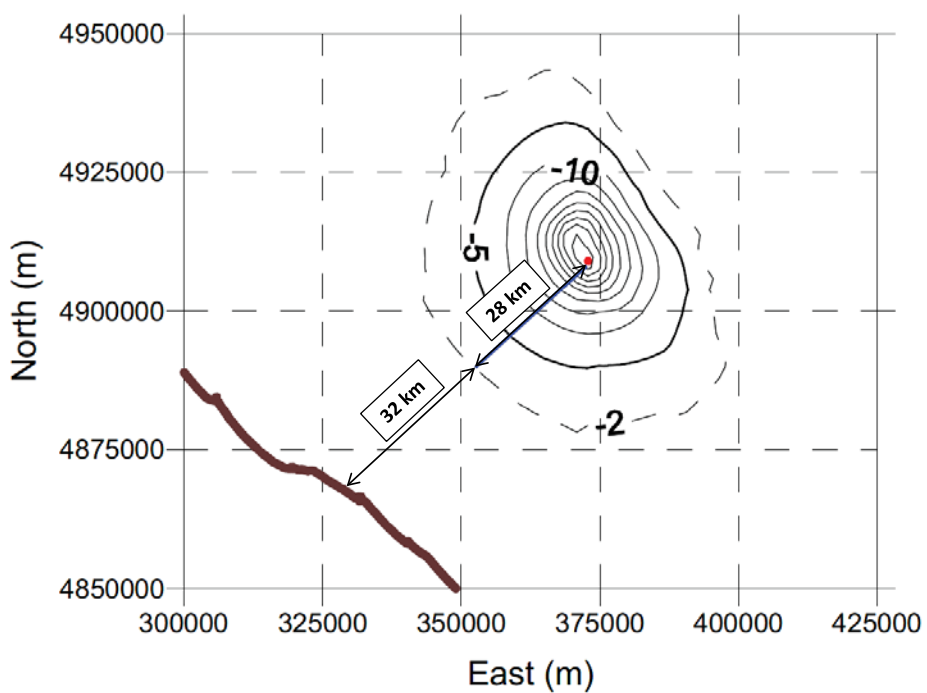
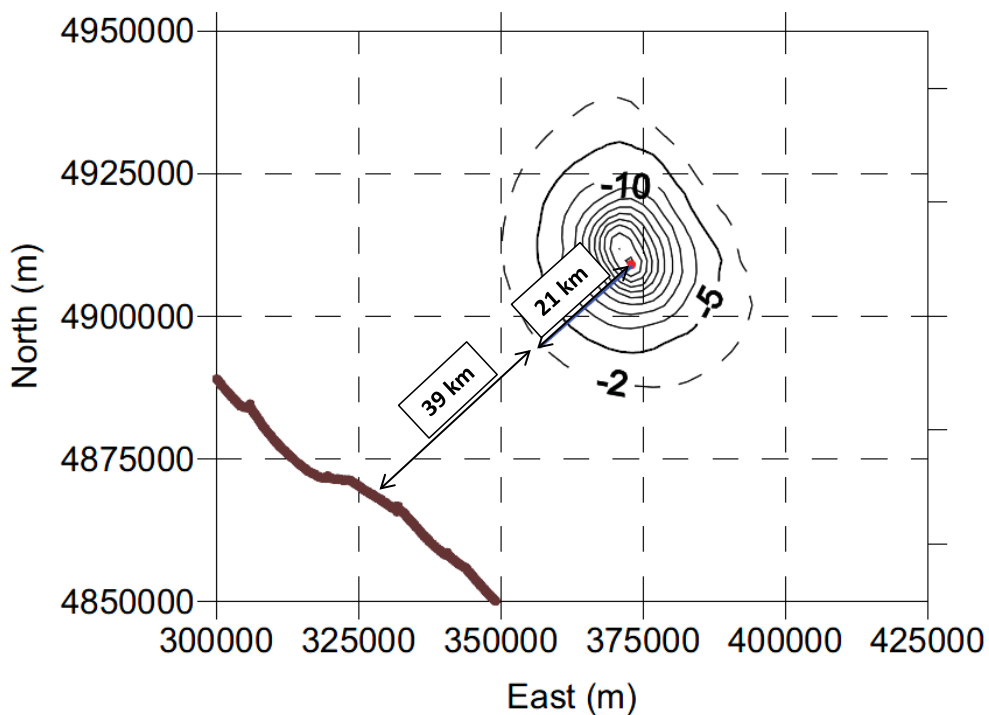
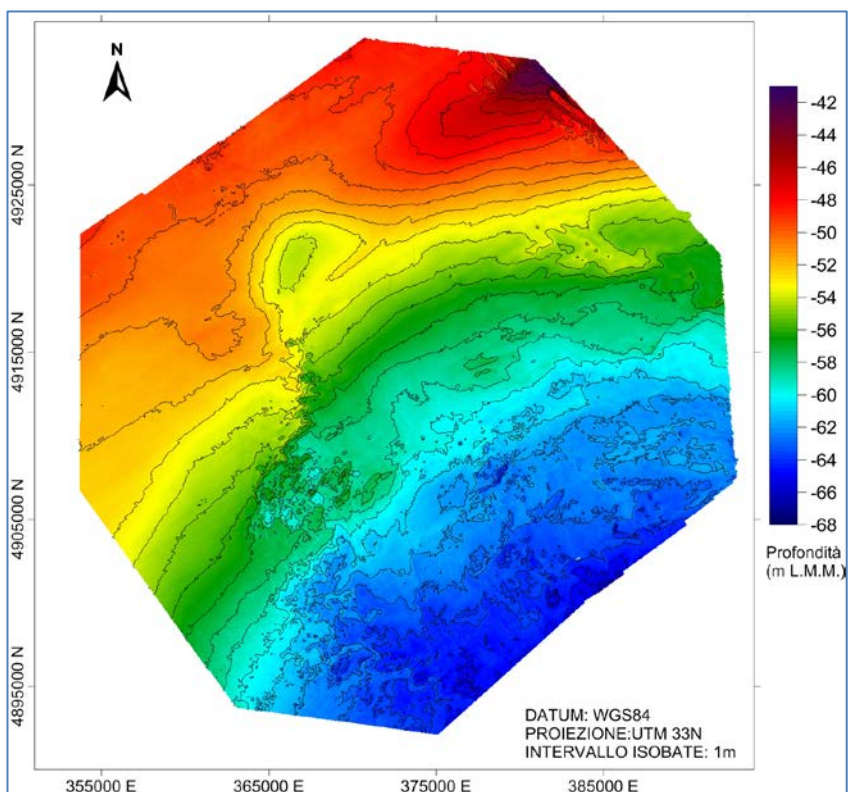


Figura 7– Campo di Annamaria: curve d'isosubsidenza a fine produzione (01/01/2040) e a fine simulazione (01/01/2070) per lo scenario Medio. I valori di subsidenza sono in cm. In rosso è riportata la posizione del punto di massima subsidenza (modello geomeccanico dell'aprile 2013)

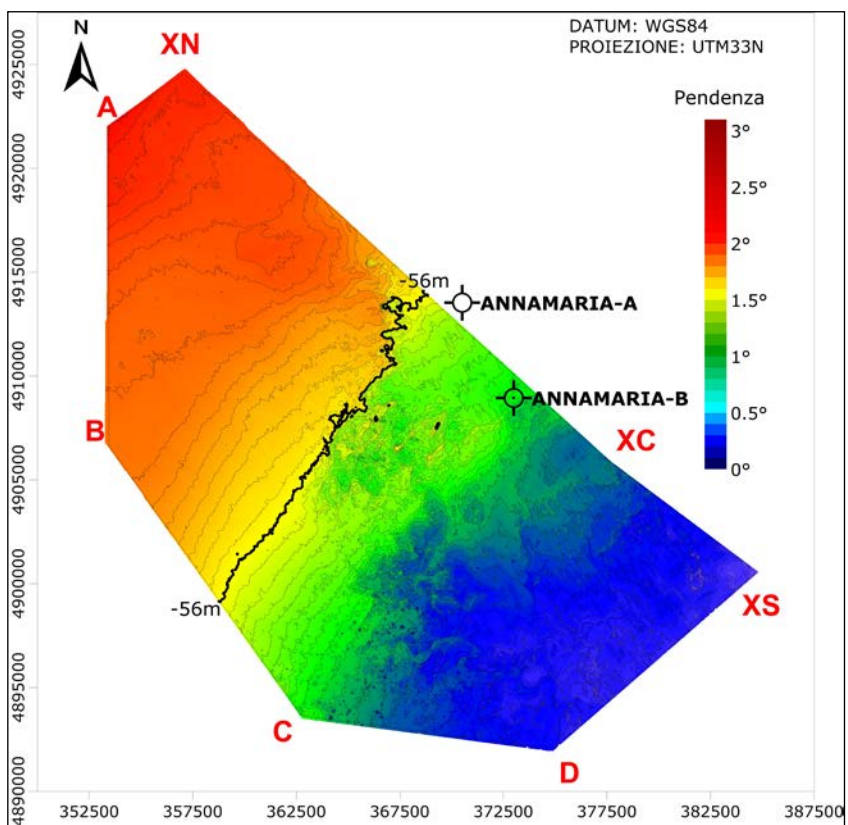




Figura 8 - Ubicazione dell'area del survey 2016

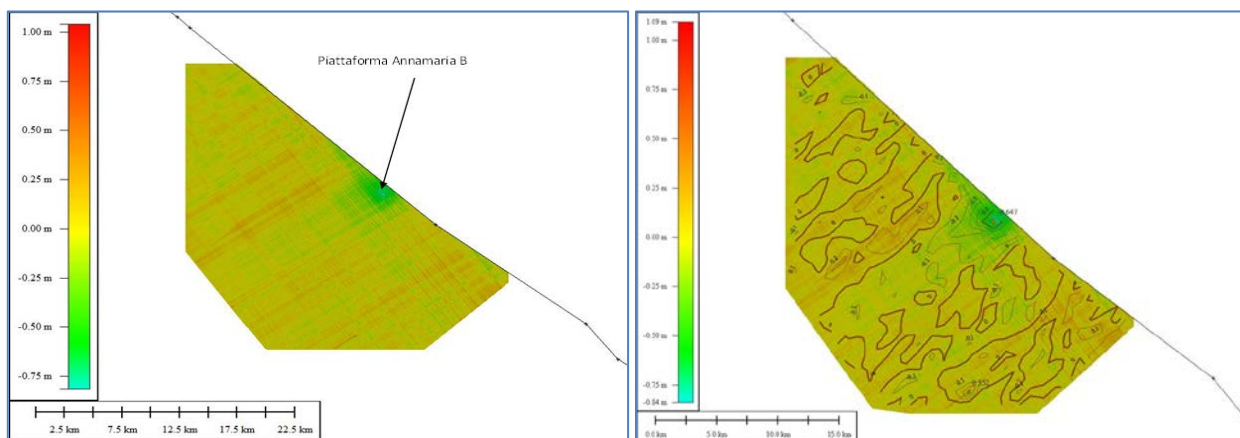


"rilievo 2009"



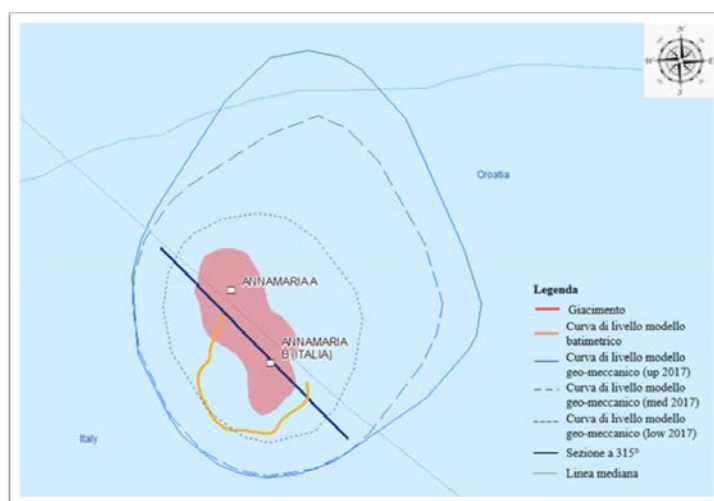
"rilievo 2016"

Figura 9 – Campo di Annamaria: modello digitale del fondale da rilievo batimetrico *multibeam* 2009 e 2016



Differenza batimetrica 2009-2016 corretta con interpolazione TIN

Curve di iso-subsidenza tracciate sul confronto corretto



Confronto Sezione trasversale a 315° (NW-SW)

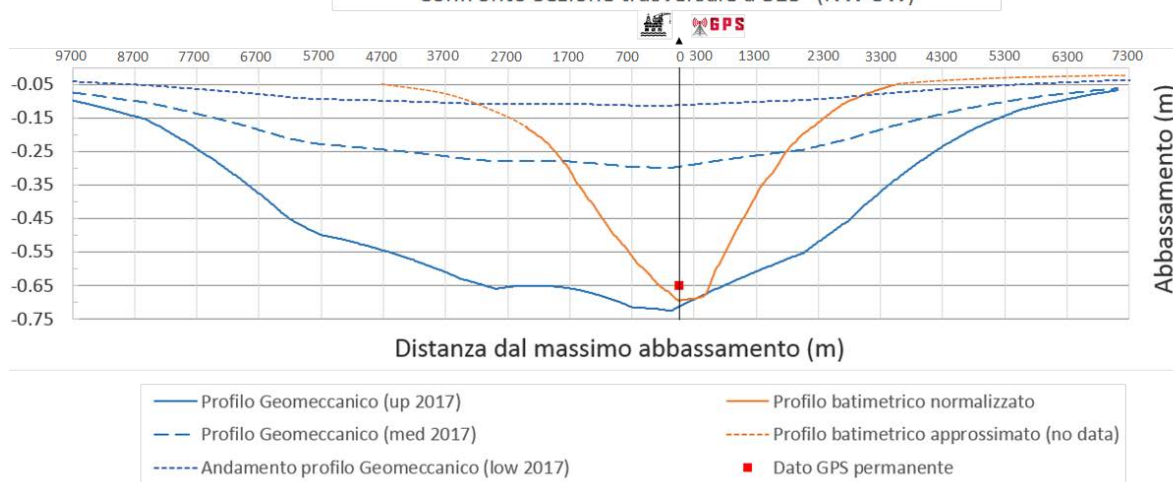


Figura 10: Estensione e andamento del disturbo subsidenziale calcolato da modello e rilevato dalla batimetria, in mappa (sopra) e lungo la sezione a 315° (sotto)



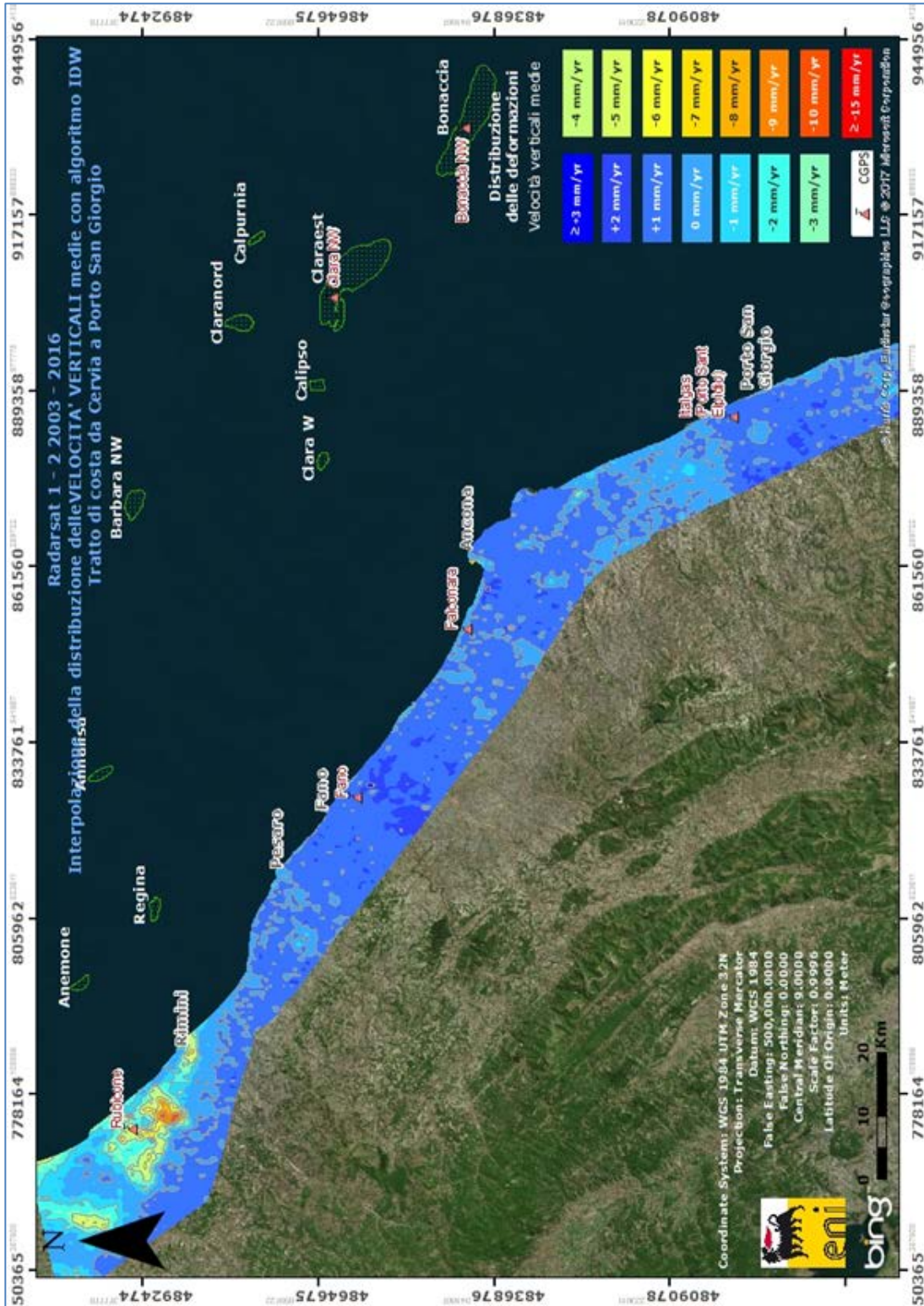


Figura 11 – Analisi dati SAR dal 2003 al 2016

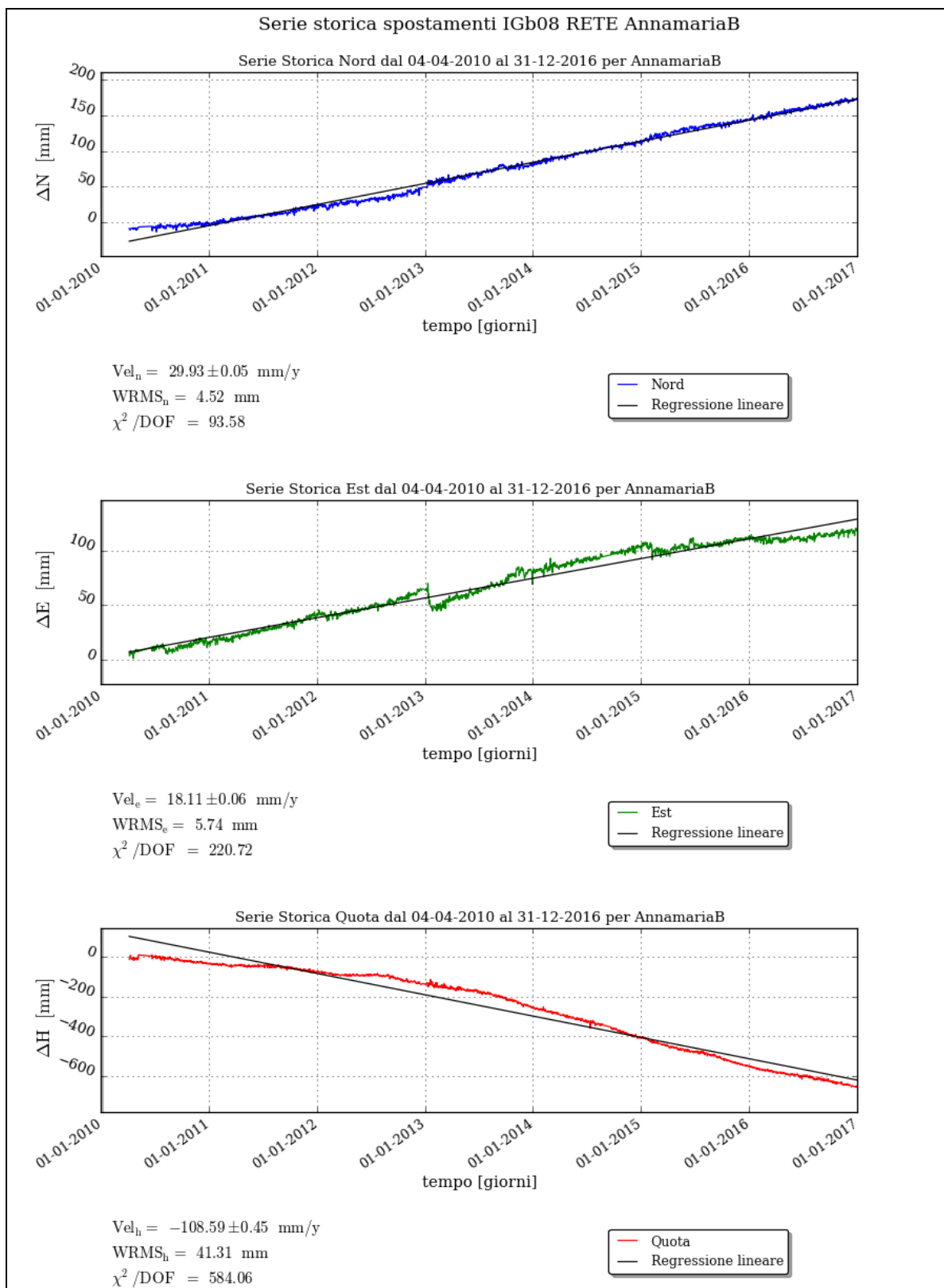


Figura 12a - Serie storiche plano-altimetriche CGPS: piattaforma Annamaria B (acque italiane)

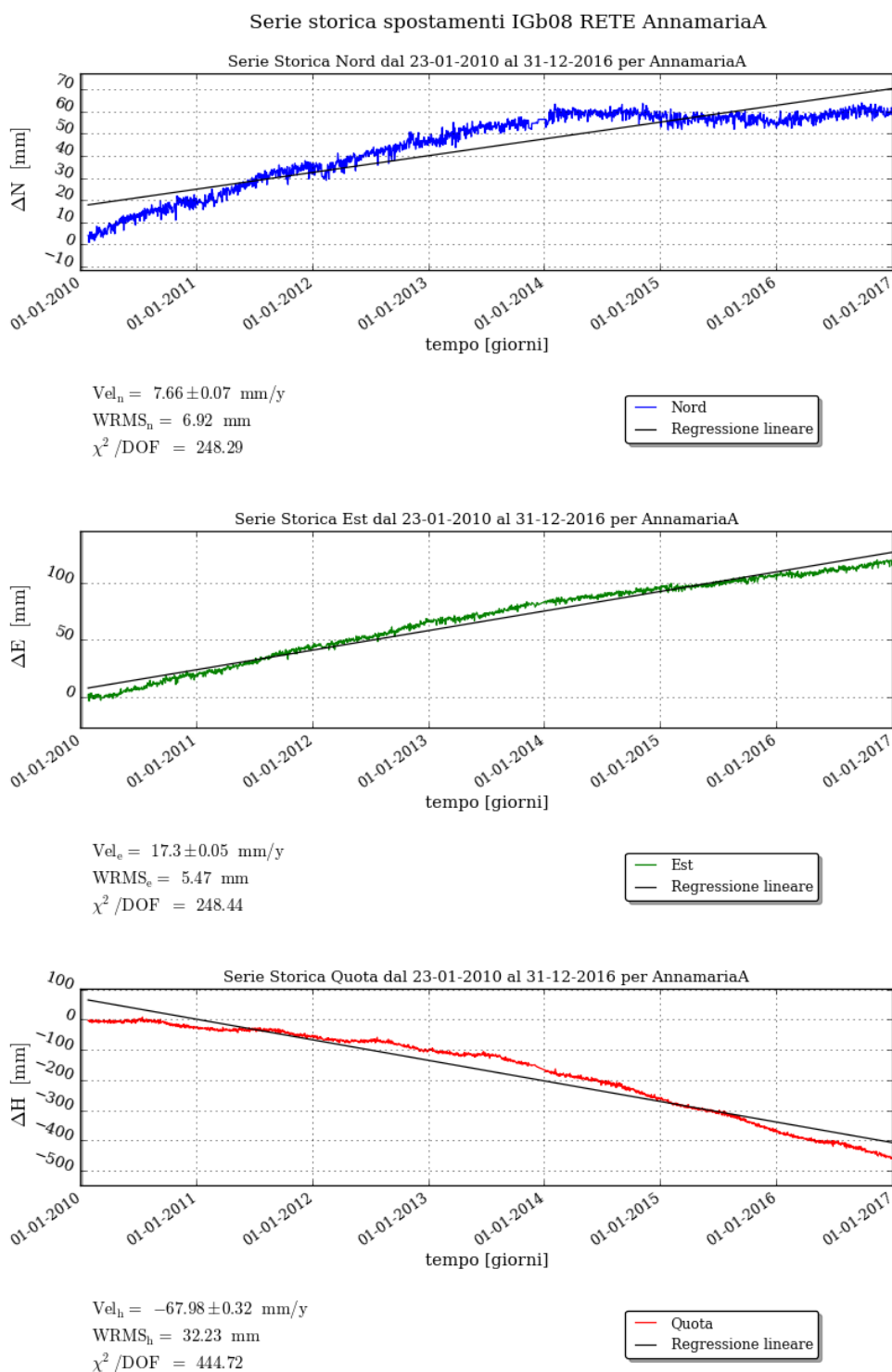
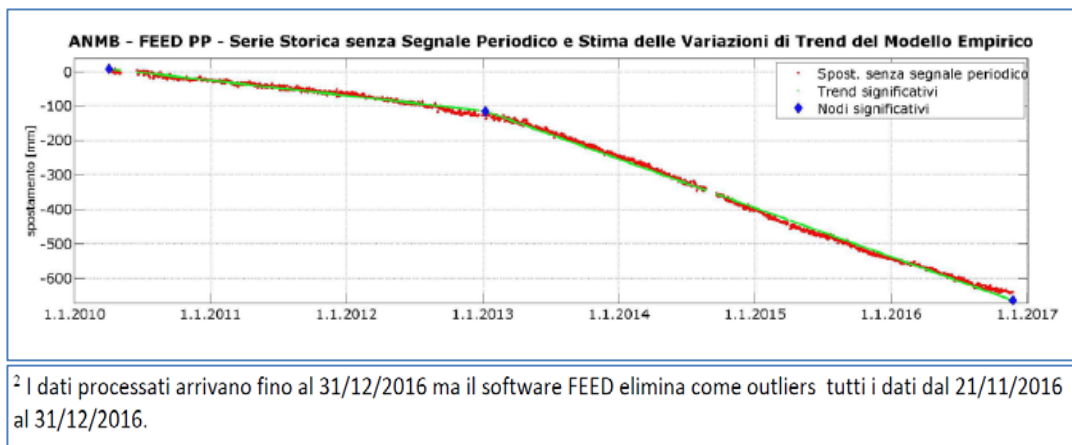


Figura 12b - Serie storiche plano-altimetriche CGPS: piattaforma Annamaria A (acque croate)



FEED PP - MODELLO EMPIRICO			
Periodo	velocità [mm/y]	sigma [mm/y]	
04/04/2010 - 06/01/2013	-45.3	0.3	
06/01/2013 - 31/12/2016 <sup>2</sup>	-139.8	0.2	

Figura 13 - analisi della serie storica plano-altimetrica CGPS Annamaria B

CAMPO	Inizio produzione	Fine Produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2016	Max Subsidenza prevista - scenario di riferimento	Ultimo aggiornamento studio	CGPS		
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2016	TREND rispetto @ dic. 2015
ANEMONE	1978	2018	100%	-36cm al 2018	2015	giu-07	-4,7	invariato
ANNALISA	2000	2023	93%	-10cm al 2027	2014	ott-07	-4,1	invariato
ANNAMARIA B	2009	2039	66%	-51cm al 2040	2013	gen-10	-108,6	aumento
BARBARA-NW	1999	2040	71%	-76cm al 2024	2013	gen-08	-29,6	invariato
BONACCIA	1999	2035	65%	-423cm al 2033	2014	dic-07	-76,2	diminuzione
BONACCIA NW	2015					set-15	n.d.	n.d.
CALIPSO	2002	2026	82%	-33cm al 2021	2013	nov-07	-15	diminuzione
CALPURNIA	2000	2017	100%	-54cm al 2021	2013	giu-07	-2	diminuzione
CLARA EST	2000	2030	44%	-56cm al 2026	2013	nov-07	-13,5	invariato
CLARA NW	2015					mar-16	n.d.	n.d.
CLARA NORD	2000	2020	82%	-68cm al 2021	2013	nov-07	-23,6	invariato
ELETTRA	2014	2026	57%	-18cm al 2065	2013	lug-14	-23,6	n.d.
FAUZIA	2014	2024	53%	-11cm al 2060	2013	set-14	-5,5	n.d.
GUENDALINA	2011	2023	86%	-3cm al 2023	2015	ago-11	-5,4	diminuzione
NAIDE	2005	2022	88%	-8cm al 2023	2013	giu-05	-3,45	invariato
NAOMI-PANDORA	2001	2037	43%	-3cm al 2068	2013	giu-02	-1,5	invariato
PCC (PCMS 1,2)	2001	2014	100%	-6,8cm al 2017	2016	lug-05	-3,8	invariato
REGINA	1997	2023	91%	-139cm al 2044	2013	giu-07	-25,5	diminuzione
TEA-LAVANDA-ARNICA	2007	2018	101%	-5cm al 2018	2015	nov-07	-4,3	invariato

Figura 14 - Velocità di "subsidenza totale CGPS" vs modelli



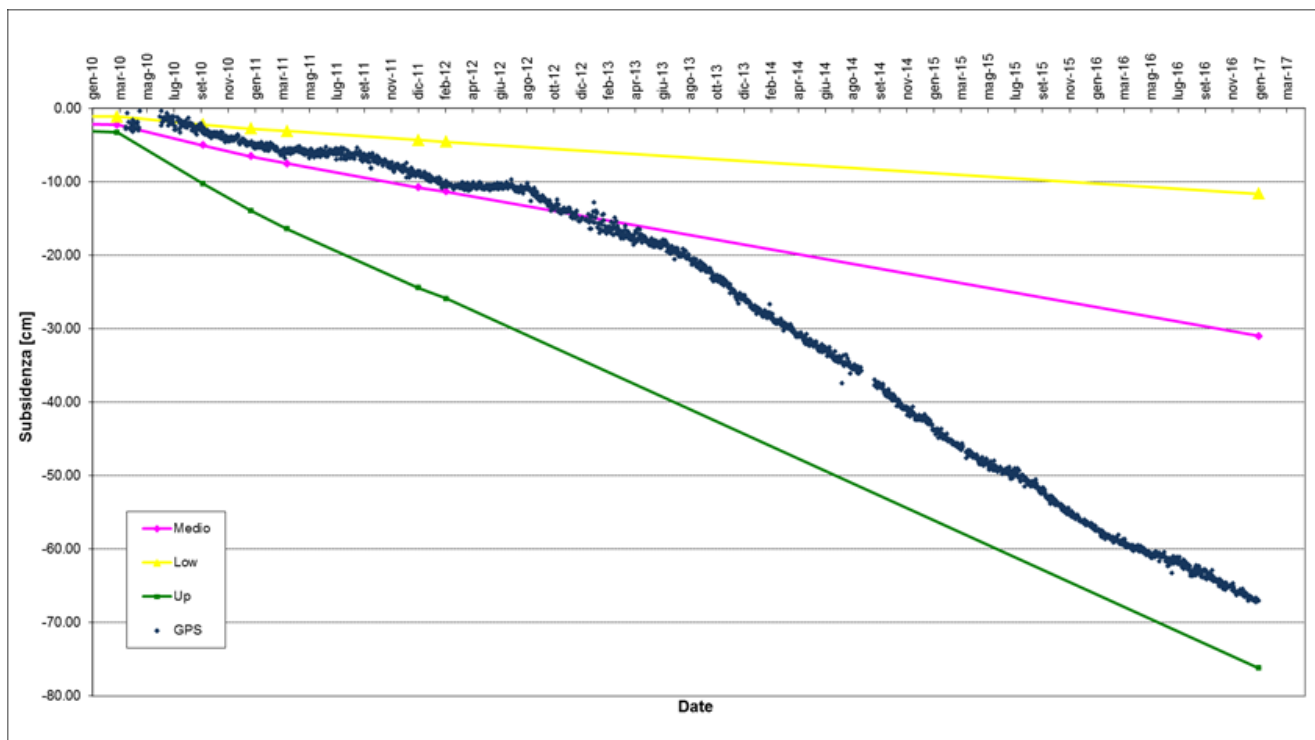


Figura 15 – Confronto fra “subsidenza totale misurata dalla stazione CGPS” installata sulla piattaforma Annamaria B e i valori previsti dal modello geomeccanico di aprile 2013



Compattazione ANNAMARIA									
Spacing	Top ref	Bottom ref	Sep-10	Mar-11	Mar-12	Jul-13	Sep-14	May-15	Jul-16
#	Measured Depth		Mar-10	Sep-10	Mar-11	Mar-12	Jul-13	Sep-14	May-15
	(m)		(mm)						
99	970	980.5	2	1	2	1	2	-3	-25
98	975.25	985.75	-1	0	0	1	0	-3	2
97	980.5	991	-5	3	-3	-2	4	-4	27
96	985.75	996.25	0	-1	0	0	0	0	-22
95	991	1001.5	2	2	-3	0	1	-1	-2
92	1057.55	1068.05	1	3	-2	2	0	-6	17
91	1062.8	1073.3	3	-4	2	-2	-1	0	-15
90	1068.05	1078.05	1	0	0	-4	4	-2	-3
89	1073.3	1083.8	-3	4	4	-11	5	0	19
88	1078.05	1089.05	2	4	-6	-1	2	-3	-32
87	1083.8	1094.3	1	-1	-5	7	0	-4	3
86	1089.05	1099.55	2	-1	1	-2	-4	0	24
85	1094.3	1104.8	2	0	2	-4	3	-4	-32
84	1099.55	1110.05	2	1	1	0	1	-4	14
83	1104.8	1115.3	-3	-1	1	-1	2	1	-3
82	1110.05	1120.55	-1	1	4	1	-4	0	4
81	1115.3	1125.8	4	-4	3	-3	1	-3	3
80	1120.55	1131.05	-1	-6	6	-2	5	-1	-4
79	1125.8	1136.3	-2	-2	3	-3	-4	1	6
78	1131.05	1141.55	2	1	1	-2	-4	0	-2
77	1136.3	1146.8	4	1	-4	-2	12	0	-24
76	1141.55	1152.05	-4	2	-2	2	1	-1	-3
75	1146.8	1157.3	-1	-3	3	-3	-4	1	10
74	1152.05	1162.55	1	1	-3	-4	6	-5	-8
73	1157.3	1167.8	1	-1	1	-2	-3	-6	-27
72	1162.55	1173.05	2	-5	5	-4	-4	-2	-2
71	1167.8	1178.3	0	2	-3	-6	-3	-8	17
70	1173.05	1183.55	-6	3	-2	-10	-18	-19	-17
69	1178.3	1188.8	-2	0	0	-9	-46	-26	-27
68	1183.55	1194.05	2	-2	0	-14	-46	-18	-24
67	1188.8	1199.3	-4	1	-2	-14	-18	-13	-24
66	1194.05	1204.55	2	-1	-2	-1	-15	-13	-19
65	1199.3	1209.8	-1	0	-3	-1	-4	-4	0
64	1204.55	1215.05	3	0	-2	-3	4	-2	-5
63	1209.8	1220.3	-3	2	1	1	-5	-3	-12
62	1215.05	1225.55	1	-3	1	3	0	-3	-4
61	1220.3	1230.8	0	-2	2	-2	2	1	-5
60	1225.55	1236.05	-1	0	-2	7	-8	-2	-2
59	1230.8	1241.3	2	-3	2	-1	0	-5	-5
58	1236.05	1246.55	1	0	-2	-6	-4	2	-9
57	1241.3	1251.8	-3	2	-1	1	-3	-3	-7

Figura 16 - Misure di compattazione *in-situ* (da FSMT) da spacing # 57 a spacing # 99



56	1246.55	1257.05	1	3	0	-16	1	-3	7
55	1251.8	1262.3	-2	2	3	-9	-12	-2	-8
54	1257.05	1267.55	-4	4	0	-7	-13	-13	-14
53	1262.3	1272.8	-2	-1	-5	-4	-12	-8	-10
52	1267.55	1278.05	1	-1	-4	-9	-16	-12	-14
51	1272.8	1283.3	-4	-2	2	-12	-22	-15	-14
50	1278.05	1288.55	-4	-2	-4	-5	-19	-9	-22
49	1283.3	1293.8	-1	-2	-3	-3	-10	-10	2
48	1288.55	1299.05	2	-1	0	-1	-1	-3	-2
47	1293.8	1304.3	2	1	0	-4	0	0	-1
46	1299.05	1309.55	0	-1	0	-3	4	-1	-7
45	1304.3	1314.8	2	0	1	0	-4	-1	-6
44	1309.55	1320.05	-1	-2	2	-10	-4	-6	6
43	1314.8	1325.3	-3	-2	-6	-6	-3	-4	-6
42	1320.05	1330.55	0	-1	-5	-5	-2	-1	-12
41	1325.3	1335.8	-1	-2	-3	-7	-6	-3	-2
40	1330.55	1341.05	-1	-2	-3	-9	-4	-7	3
39	1335.8	1346.3	2	-1	-2	-1	1	-4	-12
38	1341.05	1351.55	-1	0	1	-4	-2	-1	-3
37	1346.3	1356.8	0	-2	-1	-2	-5	-2	-3
36	1351.55	1362.05	-1	-1	-1	-9	-3	-2	-4
35	1356.8	1367.3	-3	1	0	-10	-2	-4	-2
34	1362.05	1372.55	0	-2	1	-4	-4	-5	-3
33	1367.3	1377.8	-1	0	0	-3	-3	-4	-1
32	1372.55	1383.05	-4	1	-1	0	-9	-2	-5
31	1377.8	1388.3	-4	-2	2	-9	-5	-5	-3
30	1383.05	1393.55	-3	-2	-3	-2	-7	-4	-4
29	1388.3	1398.8	0	-2	-1	-6	-5	-5	1
28	1393.55	1404.05	0	-3	1	-3	-9	-5	-1
27	1398.8	1409.3	0	0	0	-4	-3	-4	-3
26	1404.05	1414.55	1	1	0	-3	0	-3	0
25	1409.3	1419.8	2	-1	1	-5	-5	-2	-2
24	1414.55	1425.05	0	0	0	-11	-7	-3	-1
23	1419.8	1430.3	1	-2	-1	-11	0	0	0
22	1425.05	1435.55	0	-1	2	-6	-3	-1	-1
21	1430.3	1440.8	0	-2	4	-5	-3	-4	-1
20	1435.55	1446.05	2	-2	1	-1	-2	-2	-3
19	1440.8	1451.3	1	-2	3	-3	-1	-3	-2
18	1446.05	1456.55	1	0	-1	2	2	-4	-2
17	1451.3	1461.8	1	1	2	-4	2	-1	-2
16	1456.55	1467.05	0	1	-2	2	-3	-2	-1
15	1461.8	1472.3	-1	1	2	-3	0	0	0
14	1467.05	1477.55	-1	2	1	-2	1	-6	0
13	1472.3	1482.8	-1	0	0	1	-1	-3	-1
12	1477.55	1488.05	1	1	1	-2	4	0	-3
11	1482.8	1493.3	2	-4	2	1	0	-1	-1
10	1488.05	1498.55	2	-1	3	-5	1	-1	-2
7	1738	1748.5	-2	-2	2	-3	-3	-5	1
6	1743.25	1753.75	-4	-1	-5	-11	5	-1	-12
5	1748.5	1759	-2	-2	-4	-4	-6	-2	-5
4	1753.75	1764.25	-3	-1	-8	-7	-5	-3	1
3	1759	1769.5	5	-1	-3	-9	-6	-3	-1
2	1764.25	1774.75	4	-4	0	-	-	-	-

Figura 17 - Misure di compattazione in-situ (da FSMT) da spacing # 2 a spacing # 56



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	
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		PL02 - PL01 - PL0	
PROFONDITA' RESERVOIR		570 - 1015 (TVDS)	
TIPO DI PIATTAFORMA		fissa - standard	
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE		torbiditi sottili	
		D.M @dic '08 @ 31 dic 2016	
CONCESSIONE		AC11.AG	
DATA SCADENZA CONCESSIONE		23/10/2019	
N. POZZI		12 14	
Annamaria A		6 6	
Annamaria B		6 8	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (Msm3)		18130 7705	
Annamaria A		9337 3890	
Annamaria B		8793 3815	
START UP PRODUZIONE (Annamaria B)		mar-10	
(Annamaria A)		mar-09	
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2038 2039	
GAS PRODOTTO campo (Msm3)		5119	
Annamaria A		2506	
Annamaria B		2613	
% RISERVE PRODOTTE (campo)		66%	
AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNAMARIA)			
		SIA	
STUDIO DI GIACIMENTO		MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D 'APRILE' '06'	
RISERVE (Msm3)		8793 (Annamaria B) - 18130 (campo)	
MOD. GEOMECCANICO		ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ GIUGNO 2007	
MAX SUBS AL CENTRO (cm)		90 (@2038) SCENARIO DI RIFERIMENTO	
MAX DIST. DAL CULMINE (Km)		15 (@ 2060)	
		ULTIMO AGGIORNAMENTO	
		Dynamic model updated, Report GISE-16115 (december 2015)	
		3815 (Annamaria B) - 7705 (campo)	
		ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ APRILE 2013	
		51 @ 2040 - SCENARIO DI RIFERIMENTO (Medio)	
		21 @ 2070 a circa 32 km dalla costa	
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI			
<b>LIVELLAZIONI</b>			
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			
<b>MARKERS</b>			
MARKERS SU ANNAMARIA B11: ULTIMO SURVEY @ luglio 2016			
Survey eseguiti : marzo 2010 (rilievo base); settembre 2010; marzo 2011; aprile 2012; luglio 2013 e maggio 2015			
<b>CGPS</b>			
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			
<b>SAR</b>			
ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2016 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			
<b>BATIMETRIE</b>			
Rilievo batimetrico di controllo effettuato tra giugno-luglio 2016			
Rilievo batimetrico "base" effettuato tra aprile-giugno 2009 (area italiana) e ottobre-dicembre 2009 (area croata)			

Figura 18 – Campo di Annamaria: scheda di sintesi



Figura 19 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2016

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 velocità verticale di spostamento 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.

Per la valutazione delle velocità verticali di spostamento del suolo sulla base dei dati CGPS si è impiegata tutta la serie storica disponibile di tali misure che, però, per le stazioni CGPS di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti è iniziata a una data leggermente anteriore rispetto a quella d'inizio misure SAR. Si è, comunque, accertato che i valori di velocità così ottenuti differiscono in modo del tutto trascurabile ( $< 1$  mm/a) rispetto a quelli che si otterrebbero dagli stessi dati GPS, utilizzando però una serie storica di misure leggermente ridotta, avente cioè la stessa data d'inizio di quella dei dati SAR.

L'analisi dei dati SAR non calibrati e acquisiti in un'area circolare (raggio di circa 300 m) intorno alla stazione CGPS di Smarlacca, ha consentito di stimare una velocità media d'abbassamento del suolo di  $-3,22 \pm 0,42$  mm/a. Dato che la corrispondente velocità media ottenuta dalle misure del CGPS di Smarlacca è di  $-6,37 \pm 0,01$  mm/a, si ha uno scostamento fra le due misure di  $-3,15 \pm 0,43$  mm/a. Ai valori di velocità media della componente verticale, determinata con il monitoraggio SAR, si è applicata, pertanto, una correzione pari a  $-3,15 \pm 0,43$  mm/a. Si sono poi confrontati tali dati SAR con le misure dei CGPS di Manara, Fiumi Uniti e Spinaroni considerando i punti SAR disponibili in un'area circolare (raggio pari a 300 m) intorno a tali stazioni. Il confronto ha mostrato differenze mediamente inferiori a 1 mm/a tra le misure GPS e i dati SAR calibrati, confermando la bontà del procedimento seguito.

In Fig. 2A sono rappresentati i dati SAR per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Comacchio a Cervia ottenuti a valle del processo di calibrazione. Tali dati sono stati ottenuti per interpolazione con un algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) mediante Tool ArcGis Spatial Analyst®.



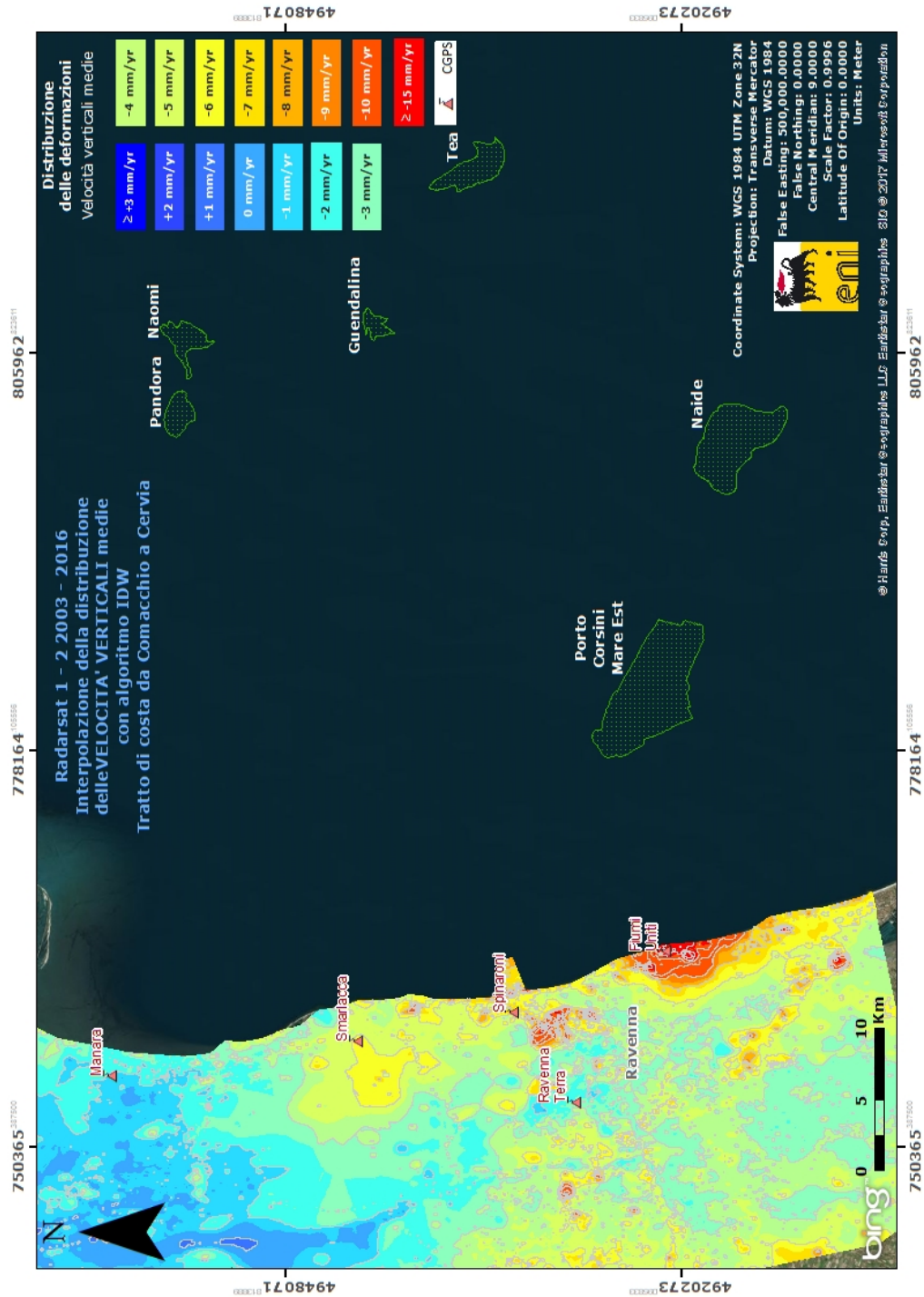


Fig. 2A- Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Comacchio a Cervia



A differenza di quanto fatto negli anni precedenti, gli altri data set acquisiti (area di Rimini e area di Ancona, vedi Fig. 1A) sono stati analizzati separatamente da quello dell'area Ravennate, poichè si è osservato un buon accordo fra le misure SAR e quelle registrate dalle stazioni CGPS site all'interno di ciascuna delle 2 aree sopracitate. Inoltre, con il consolidarsi della serie storica di misure SAR (circa 14 anni di dati) si è notato come la calibrazione delle aree di Rimini e Ancona - fatta a partire da quella di Ravenna e impiegando un valore di calibrazione ottenuto come media delle componenti verticali delle velocità di spostamento del suolo nelle zone di sovrapposizione tra le diverse aree - introduca un errore sistematico. Tale errore, che consiste in uno spostamento verticale fittizio ed è probabilmente causato anche alla propagazione della varianza, non può essere ignorato e, pertanto, sconsiglia l'applicazione della procedura di calibrations "a catena" fatta nel passato.

Per l'area di Rimini, analizzata congiuntamente a quella di Ancona Fermo, il procedimento seguito per la mosaicatura e calibrazione del dato SAR è illustrato sinteticamente nello schema esemplificativo di Fig. 3A.

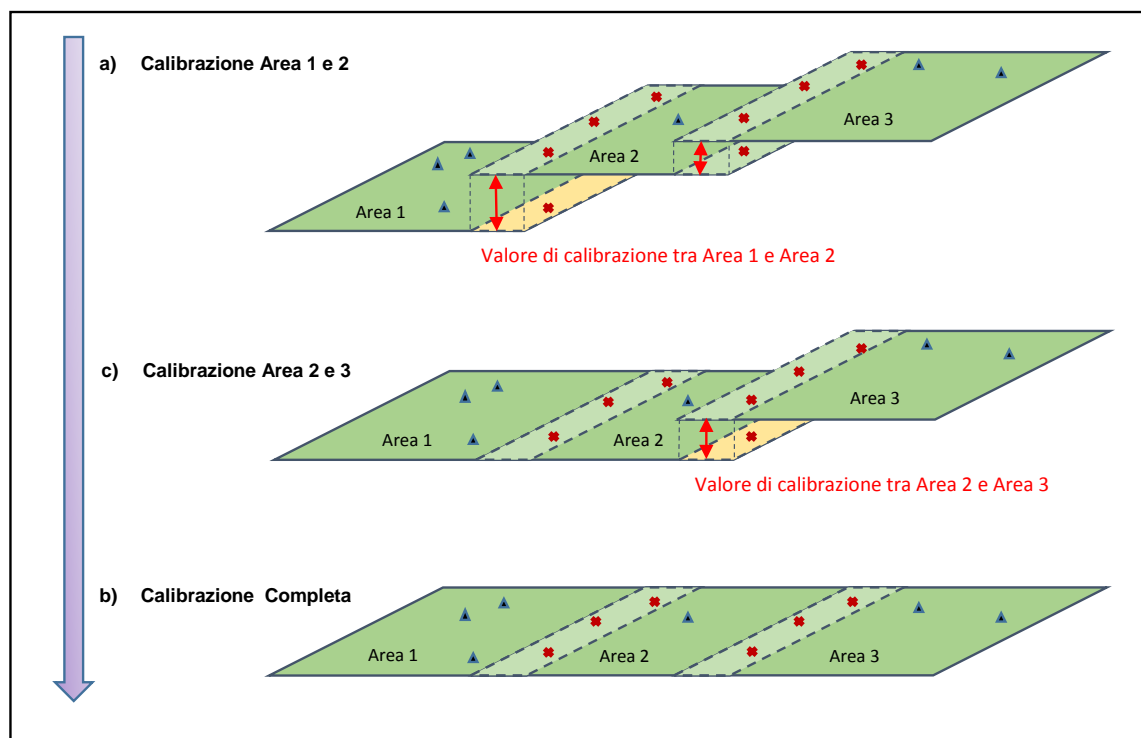


Fig. 3A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS



L'analisi dell'area SAR di Ancona evidenzia che le velocità verticali di spostamento del suolo registrate dalle stazioni CGPS di Fano e Falconara sono allineate con quelle misurate dal SAR: la differenza è inferiore al millimetro. Si noti che il confronto è stato fatto per una zona di circa 300 m intorno a ogni stazione, e che le velocità dei dati SAR sono una media delle misure relative ai permanent scatterer (PS) che ricadono all'interno di tale zona.

Data l'ottima concordanza fra i dati CGPS e quelli SAR si è deciso, quindi, di non calibrare questi ultimi.

Si sono poi confrontate le velocità verticali di spostamento del suolo misurate dai PS nella zona di sovrapposizione tra l'area di Ancona e quella di Rimini (Fig. 3A). Per quanto osservato in precedenza (non calibrazione dato SAR vs. GPS in quanto trascurabile) la mosaicatura/calibrazione è stata fatta in modo diretto senza alcun delta tra le due zone sovrapposte.

A valle del processo di mosaicatura/calibrazione si è esaminato l'andamento della differenza di velocità verticali tra misure SAR e dati CGPS per l'area di Rimini (Stazione S.S.U. di Rubicone, vedi Fig. 1A). Nella zona situata nell'intorno della stazione CGPS di Rubicone - installata nel dicembre 2007 - i data-set SAR (area SAR di Rimini), mostrano un rallentamento della velocità di subsidenza a partire dal 2008 (analisi dettagliata presentata nel 2013). La differenza fra le stime di tale velocità ottenute rispettivamente con le misure GPS e quelle SAR è di  $1.96 \pm 0.67$  mm/a. Al solito, la velocità media SAR è stata calcolata considerando i PS compresi in un intorno di 300 metri dalla stazione.

In Fig. 4A è visualizzata l'immagine ottenuta per interpolazione dei dati calibrati relativi alle aree di Ancona-Fano e Rimini. Per tale operazione si è impiegato l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) mediante Tool ArcGis Spatial Analyst®.

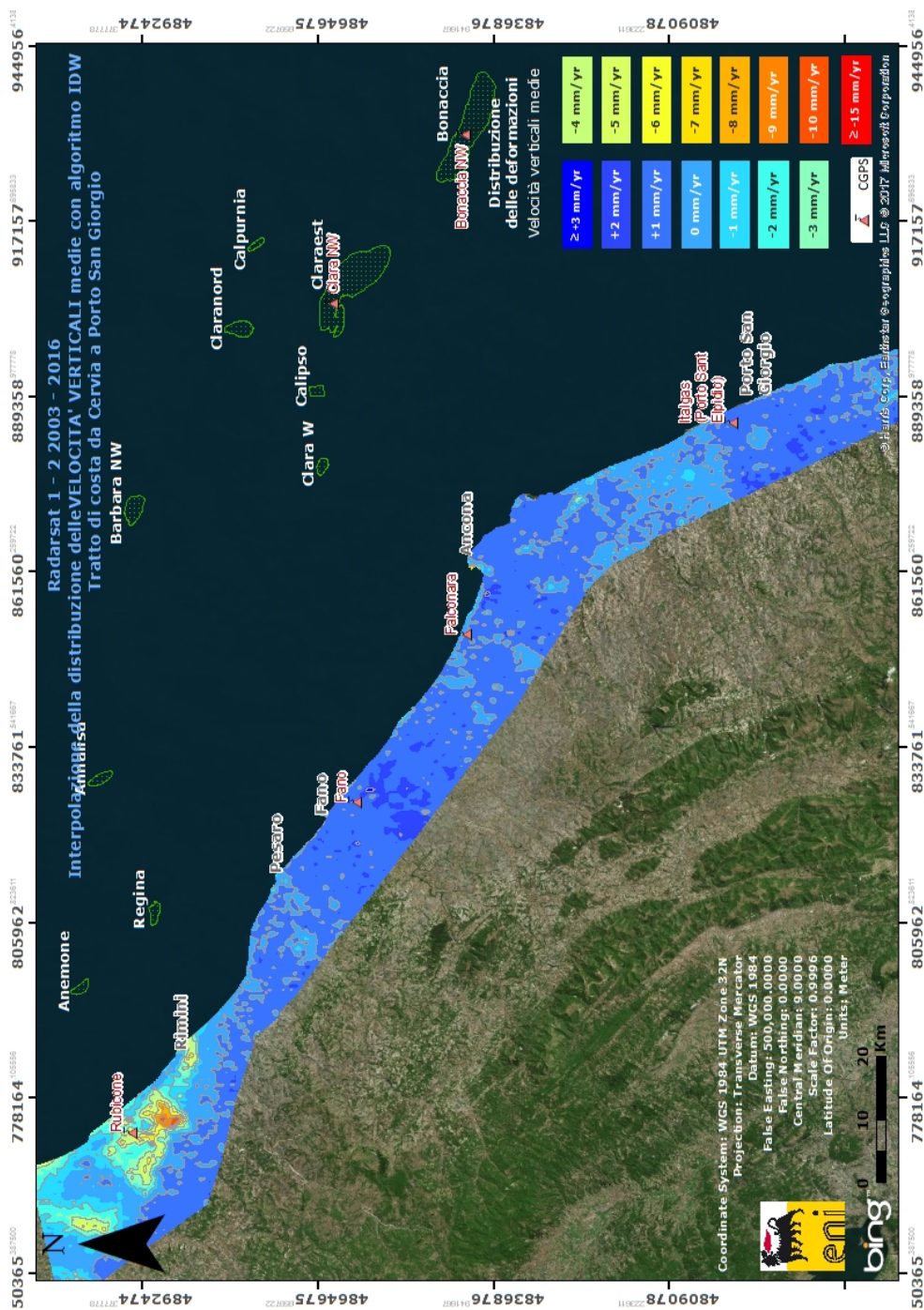


Fig. 4A - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Cervia a Porto San Giorgio

### Confronto dati SAR 2003 – 2015 vs 2003 – 2016

Un confronto diretto tra i dati 2003 – 2015 e i dati 2003 – 2016 sull'intero tratto di costa da Comacchio a Porto San Giorgio non è possibile in quanto le analisi 2016 dei dati SAR sono state effettuate con procedura differente rispetto all'anno precedente.

E' possibile però effettuare un confronto per quanto riguarda l'area di Ravenna e l'area di Fermo-Ancona.

Come mostrano le immagini di Fig. 5A e Fig. 6A, non si notano delle differenze importanti, il valore modale si attesta intorno a -3,5 mm. L'unica area con valori di differenza che sono in media dell'ordine di -7 mm, è situata a sud della città di Ravenna. Questa anomalia è, però, molto probabilmente causata da 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.

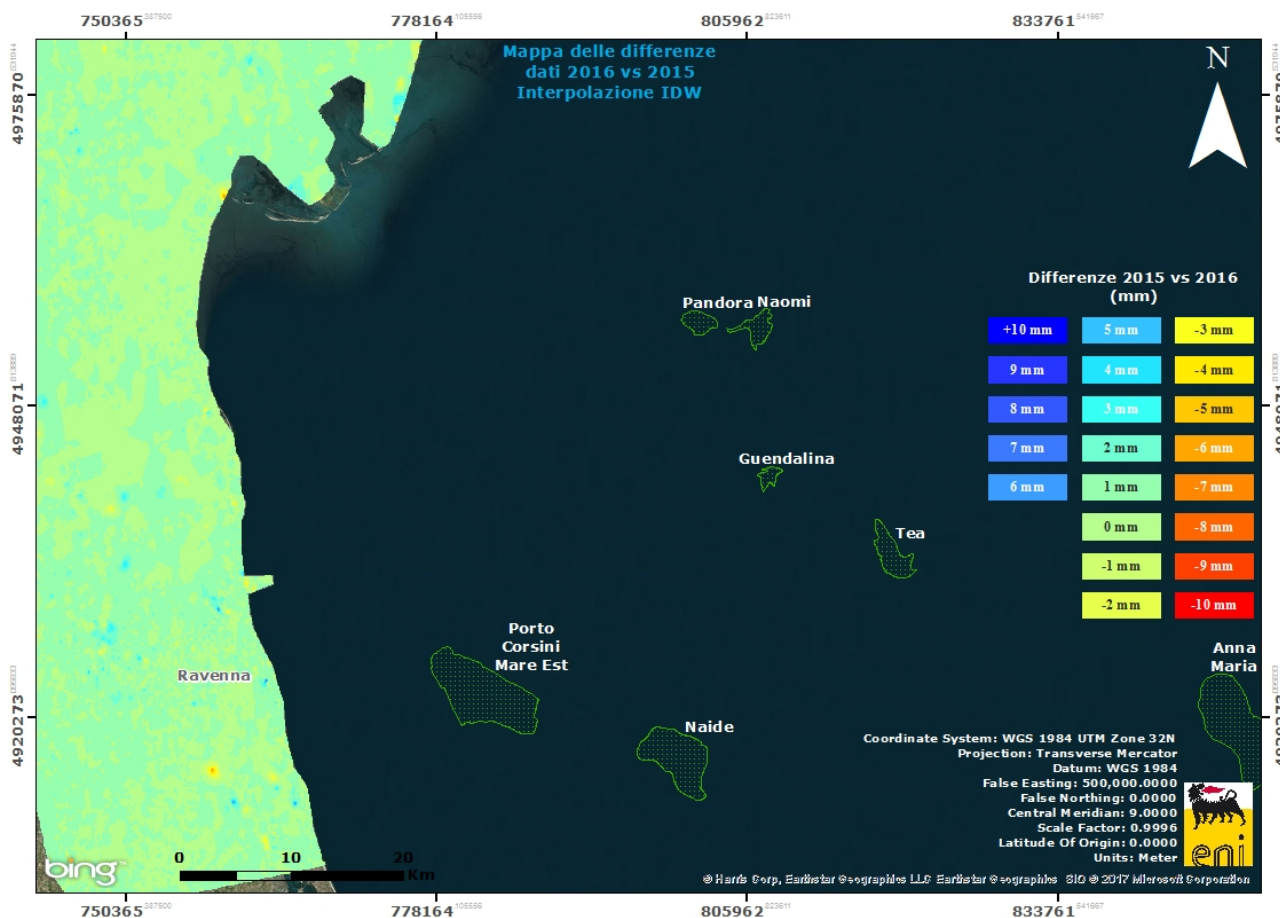


Fig. 5A – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Comacchio a Cervia



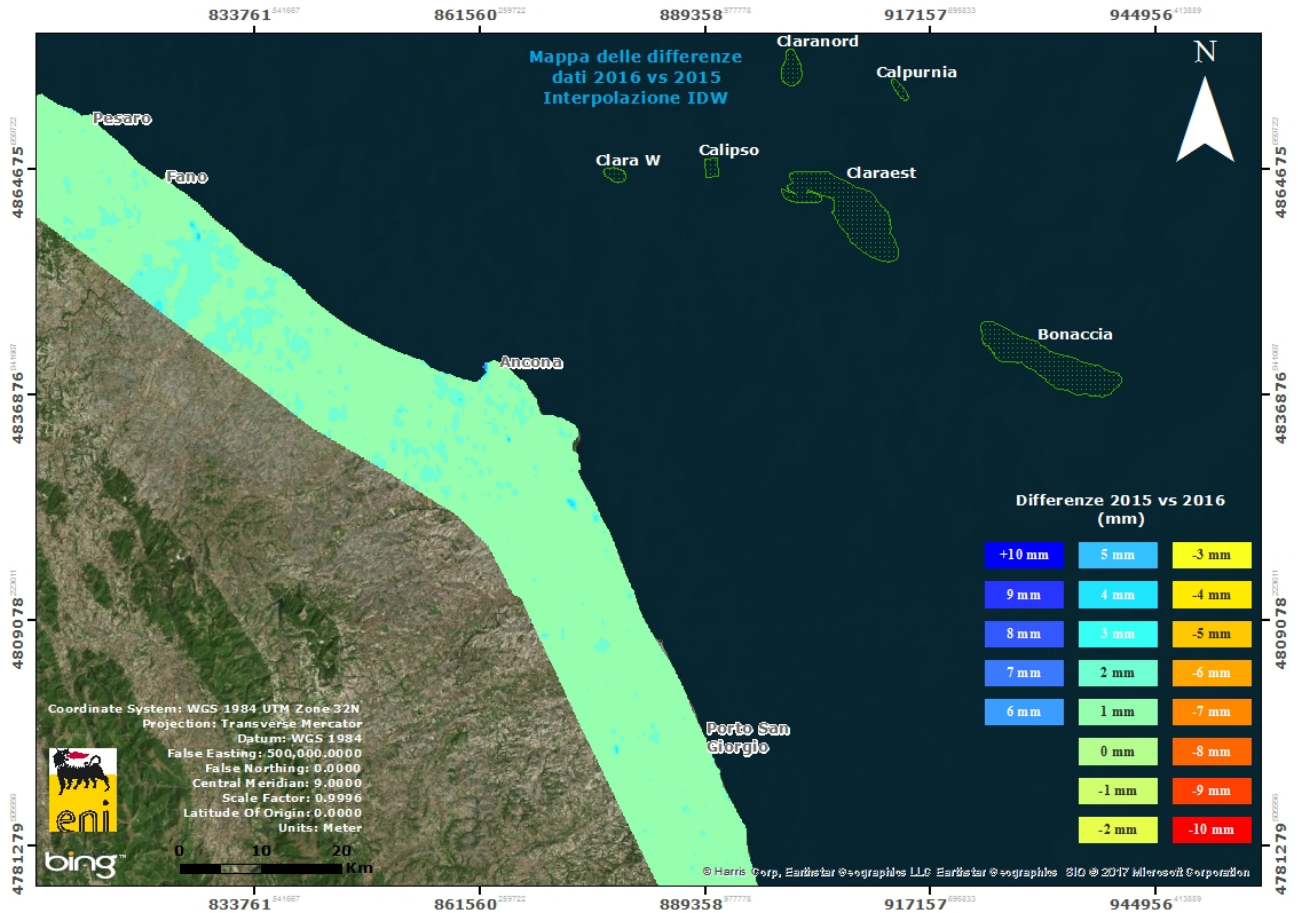


Fig. 6A- Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Fano a Porto San Giorgio

## Appendice 2: Stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento al dicembre 2016

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.

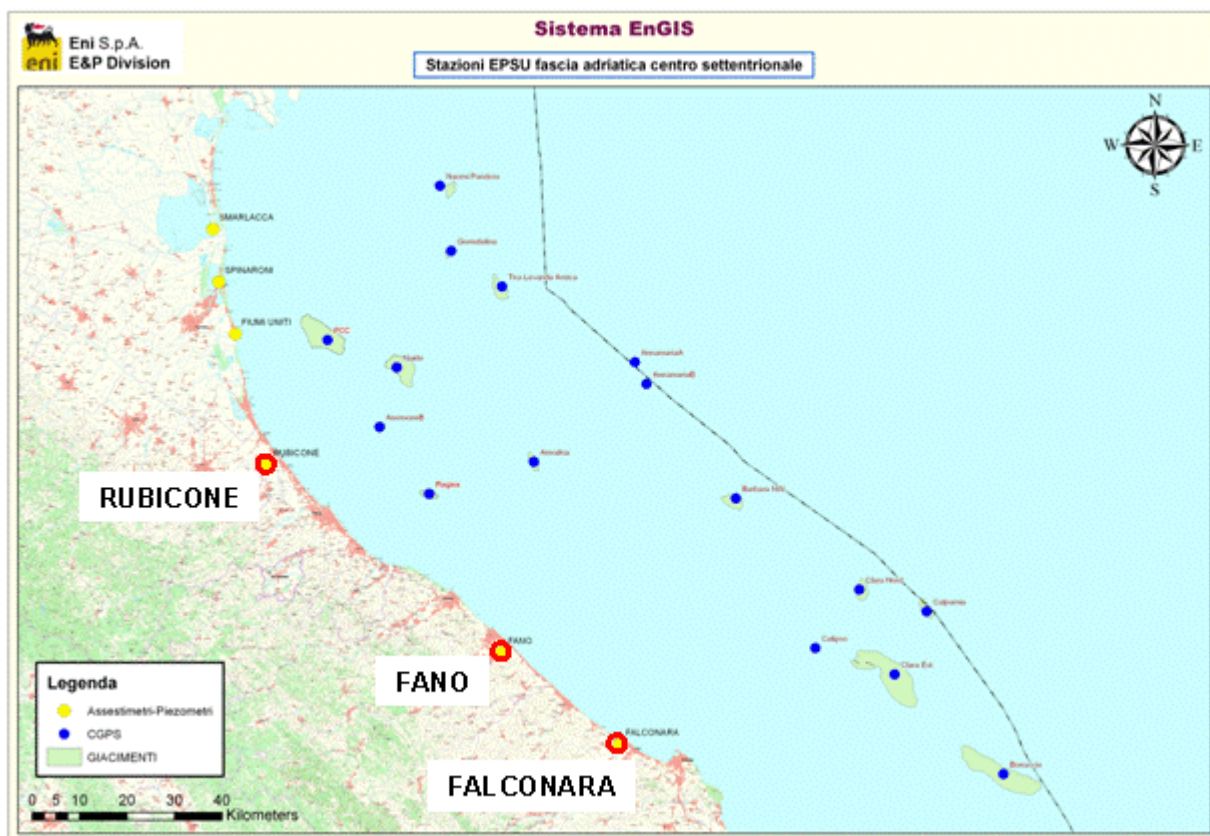


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU

In generale una stazione EPSU è costituita da un assestmetro, 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 assestmetriche per le variazioni della temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

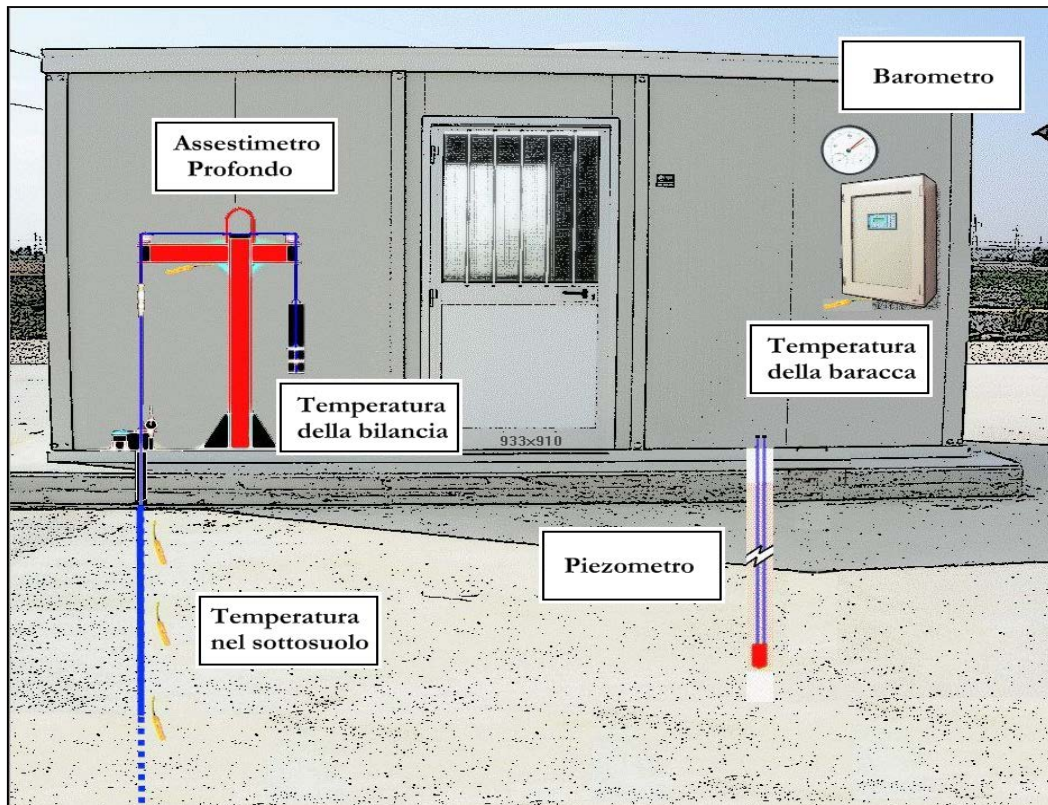


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione EPSU si allegano:

1. scheda che ne descrive sinteticamente le principali caratteristiche;
2. grafico che mostra l'andamento temporale di tutte le misure;
3. file in formato excel che contiene i valori numerici di tali misure.

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





## **Stazione EPSU di RUBICONE (installata dicembre 2009)**

### **Strumentazione:**

- assestimetro - quota bottom: 316 m da p.c.
- piezometro singolo - quota cella: 178 m da p.c.
- piezometro doppio - quota celle: 146 e 70 m da p.c.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata l'8 aprile 2009. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" dei sensori di misura.

I dati sono stati acquisiti con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 8 aprile 2009 - 22 maggio 2009 una misura ogni ora;
- 22 maggio 2009 - 2 novembre 2009 una misura ogni 2 ore;
- dal 2 novembre 2009 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 2016.

### **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 per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 2009, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano, quindi, una compattazione, valori negativi, viceversa, un incre-



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

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

Il livello della falda acquifera sita a 180 m di profondità presenta, invece, un andamento piuttosto costante nel tempo, con basse escursioni stagionali (ca.+/- 1m), in fase con l'andamento dell'assestometro. Ai massimi (minimi) della falda corrisponde il massimo (l'espansione (compattazione) registrata dall'assestometro).

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. La velocità media annua calcolata con regressione lineare della serie storica di misure GPS è risultata, infatti, di -2,0 mm/a, ed è abbastanza prossima a quella ottenuta in modo analogo dalle misure assestimetriche che è pari a -2,4 mm/a. Ciò potrebbe indicare che la causa principale d'abbassamento del suolo dipenda principalmente dalla compattazione dei primi 320 m di terreno e sia causata dalle oscillazioni stagionali delle falde acquifere.

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

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



## **Analisi dei dati piezometrici**

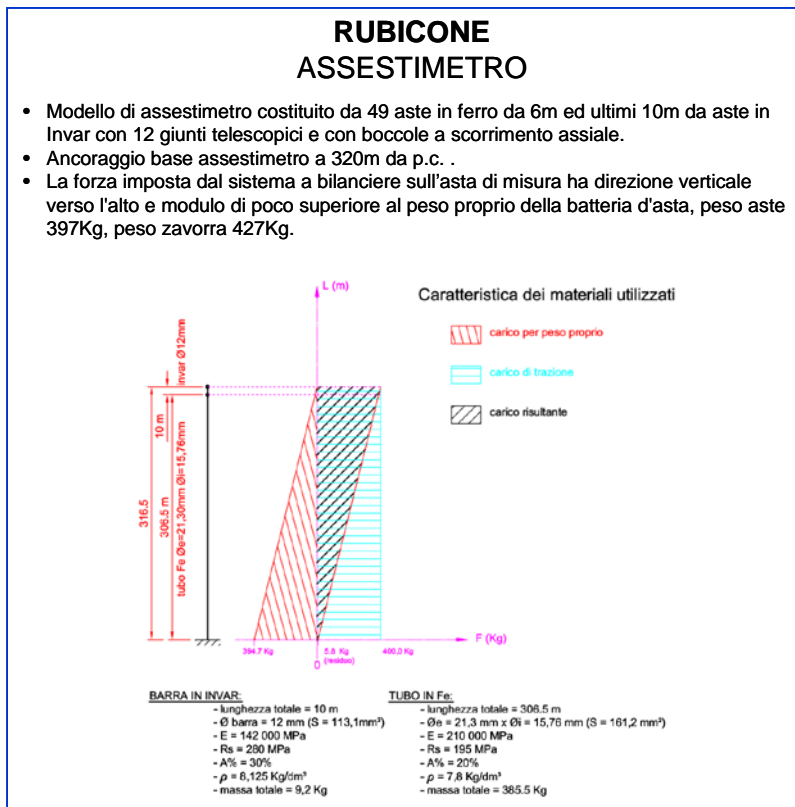
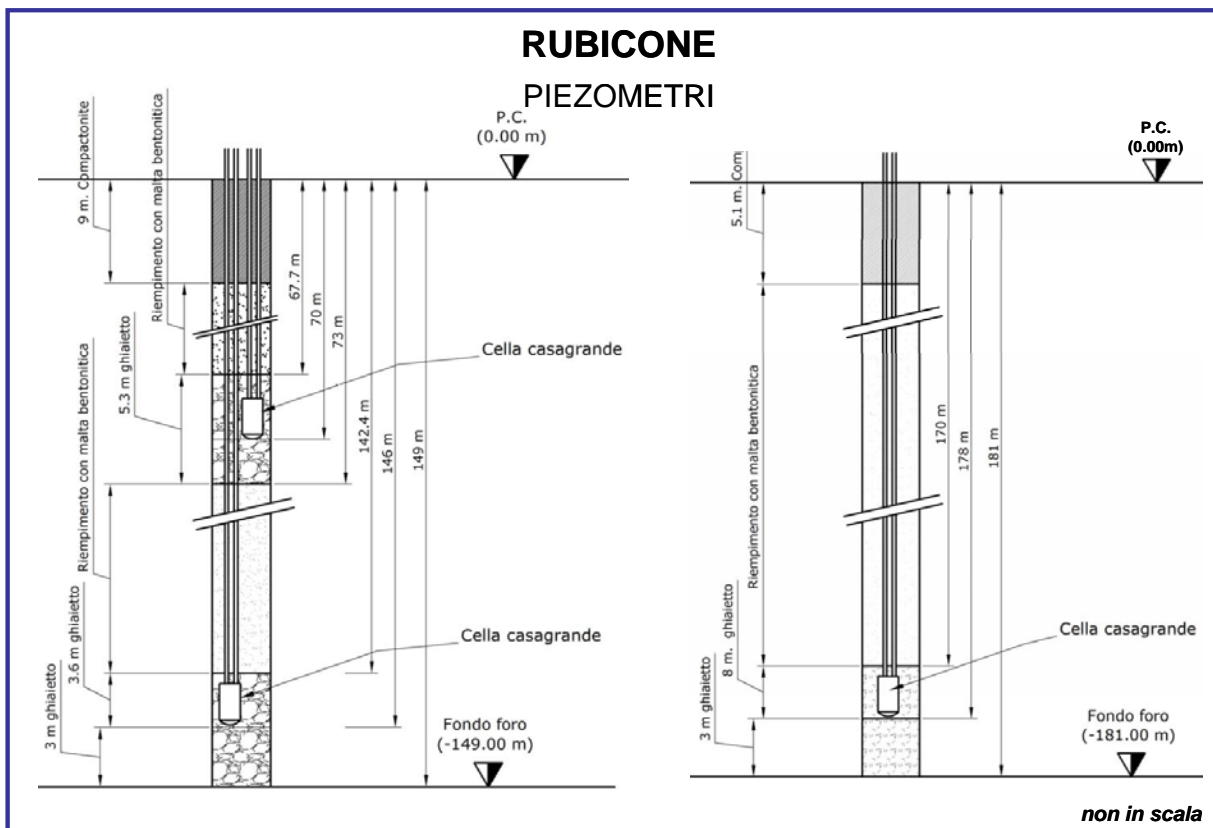
Nei grafici dei piezometri l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

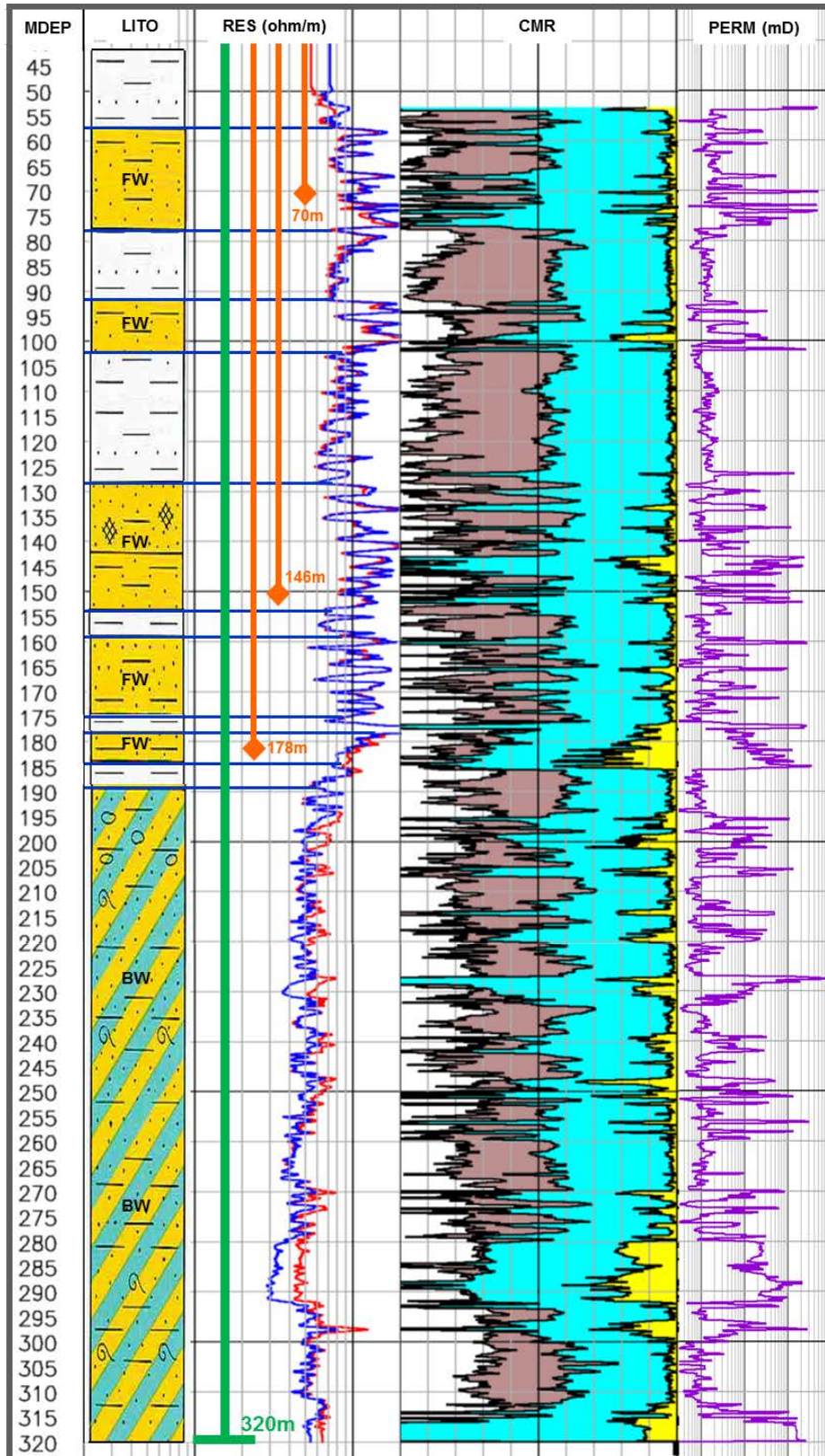
Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno del resto era già osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1).

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

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

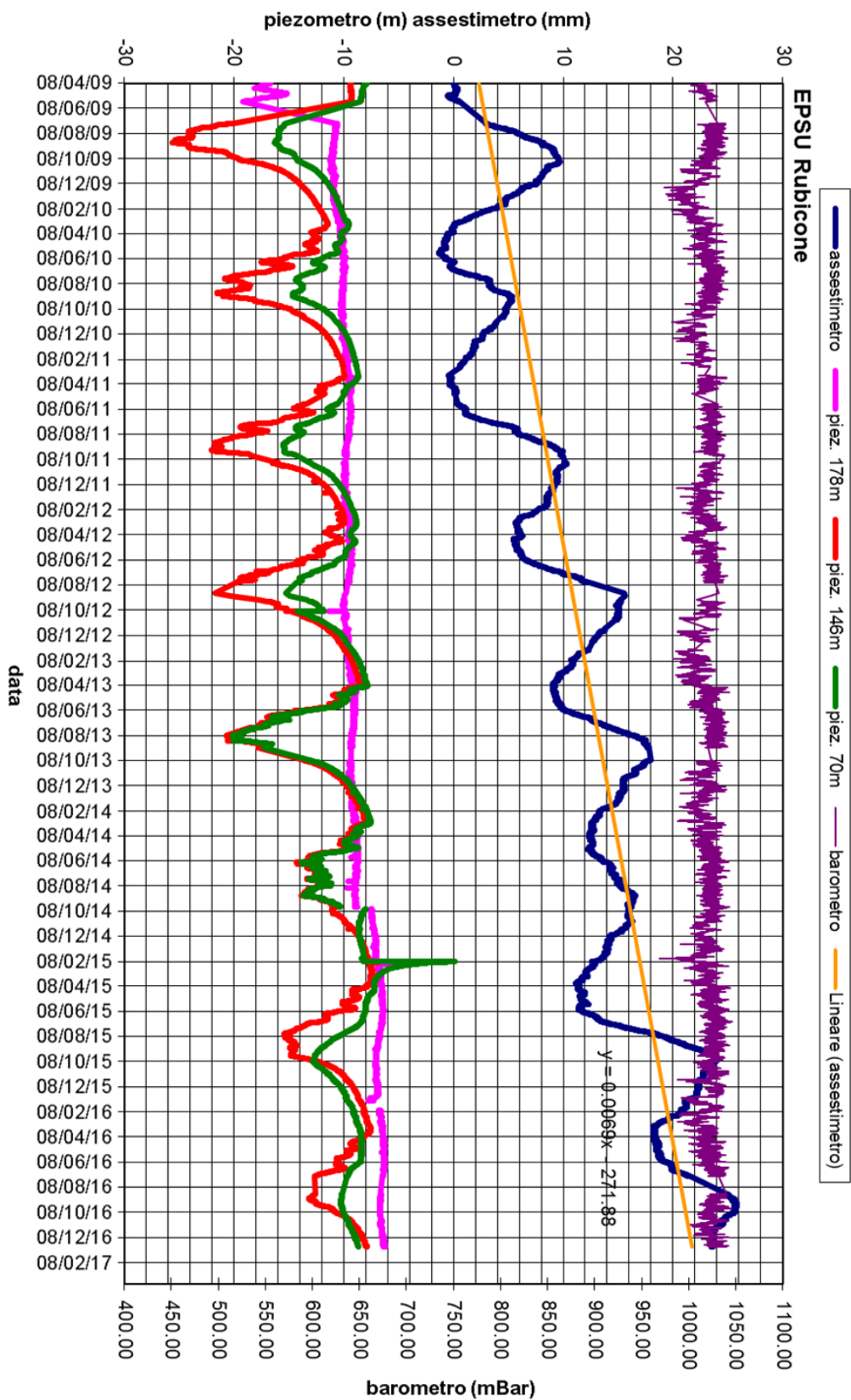
A dicembre 2016 si sono effettuati nuovi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.





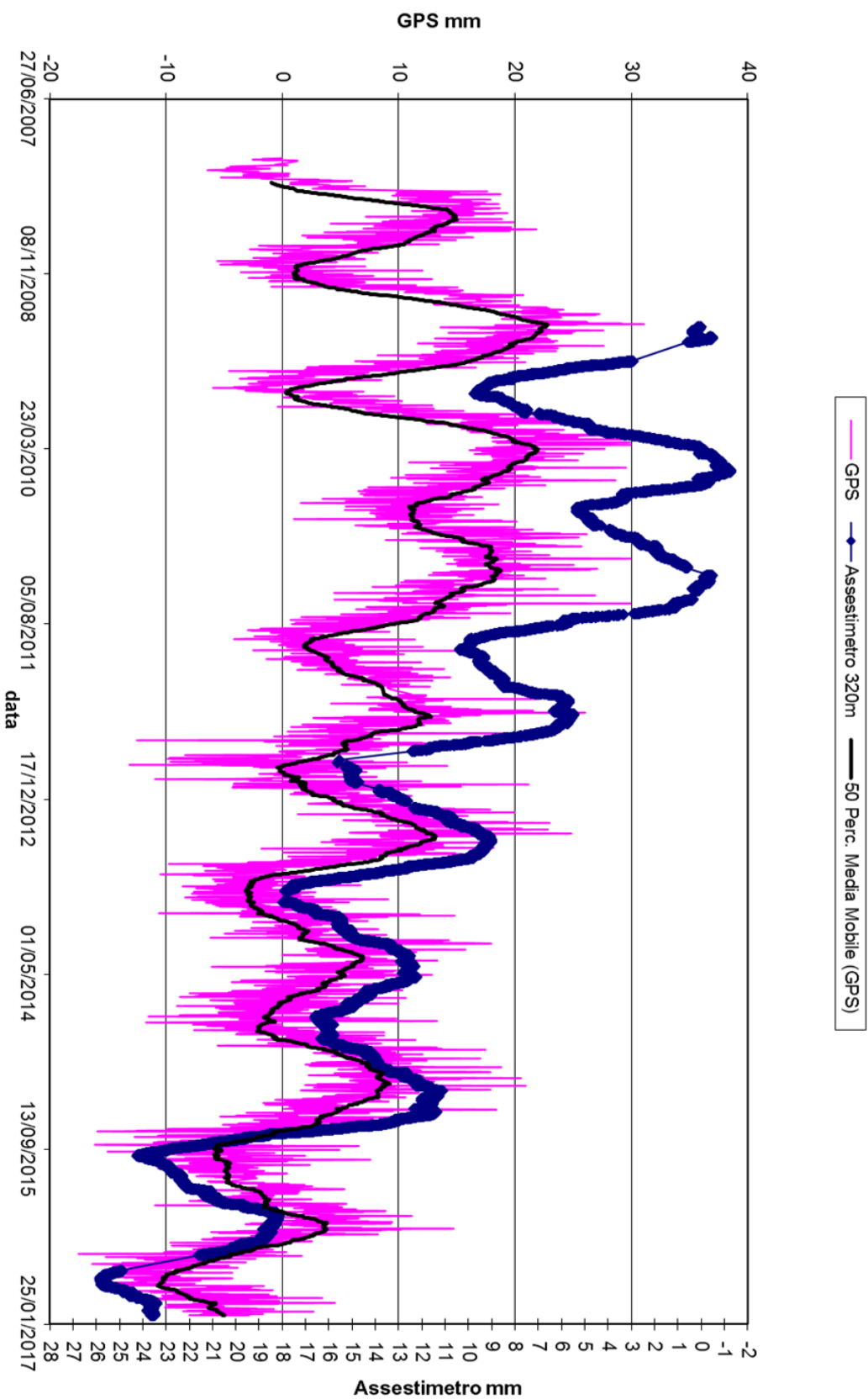
Stazione EPSU Rubicone. Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.





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:**

- assestometro - 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 2016.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

L’assestometro 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 per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. 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.

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 all'escursione massima e minima annuale di tale falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno 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.

La velocità media calcolata con regressione lineare della serie storica di misure GPS fornisce una velocità sollevamento di circa 0,2 mm/a; la serie assestimetrica mostra una velocità media annua di compattazione di circa 0,1 mm/a.

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

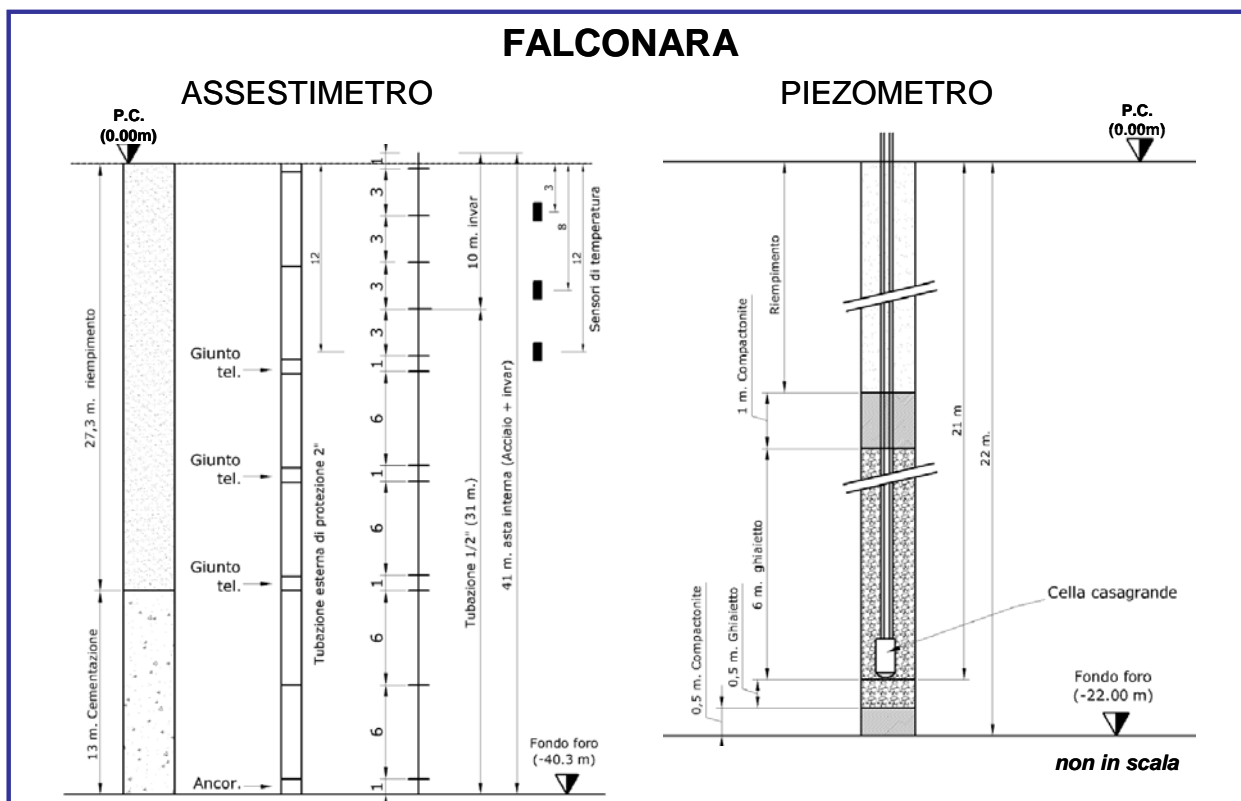
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti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

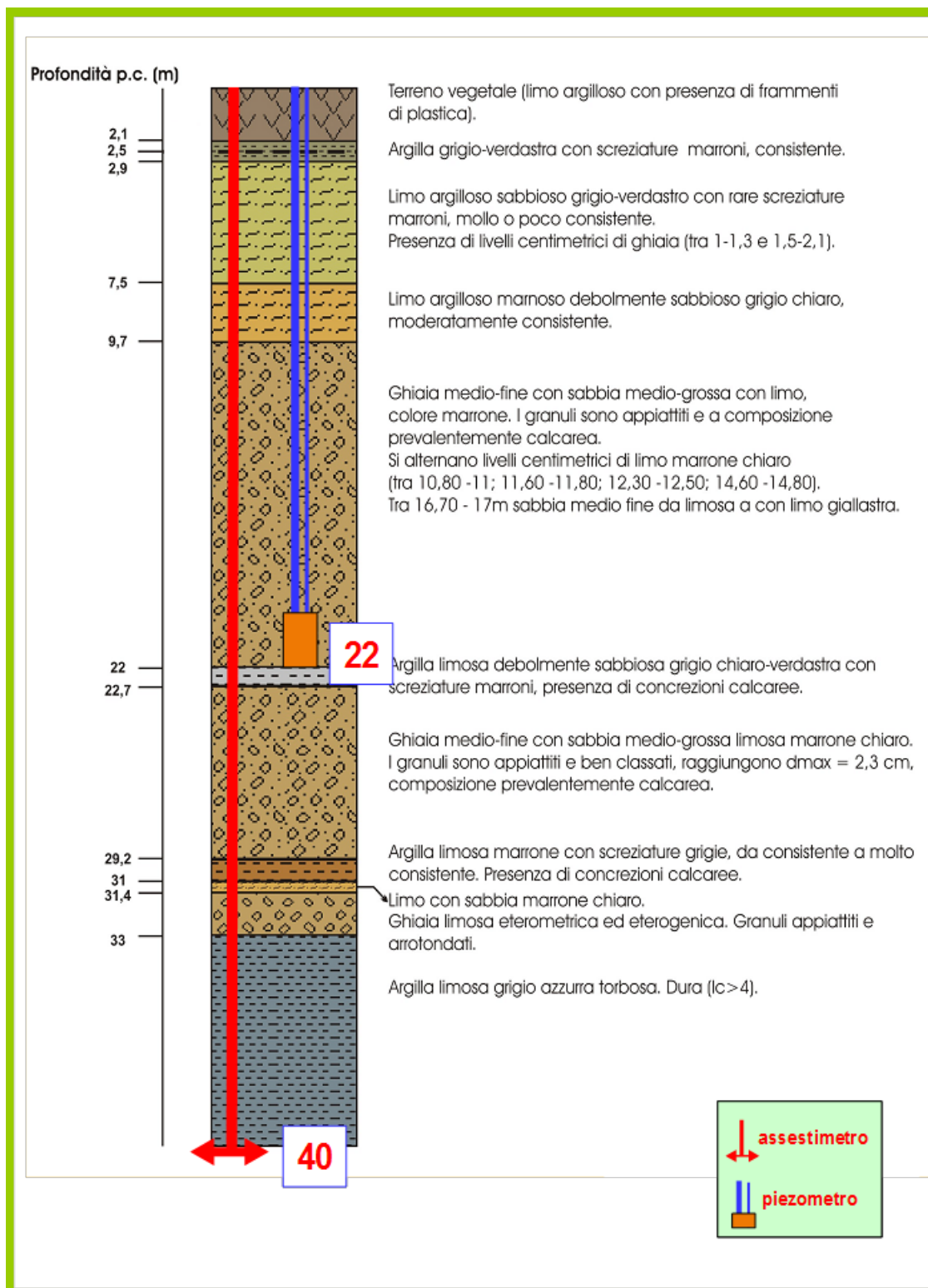
### **Analisi dei dati piezometrici**

Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico è riportato anche 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.

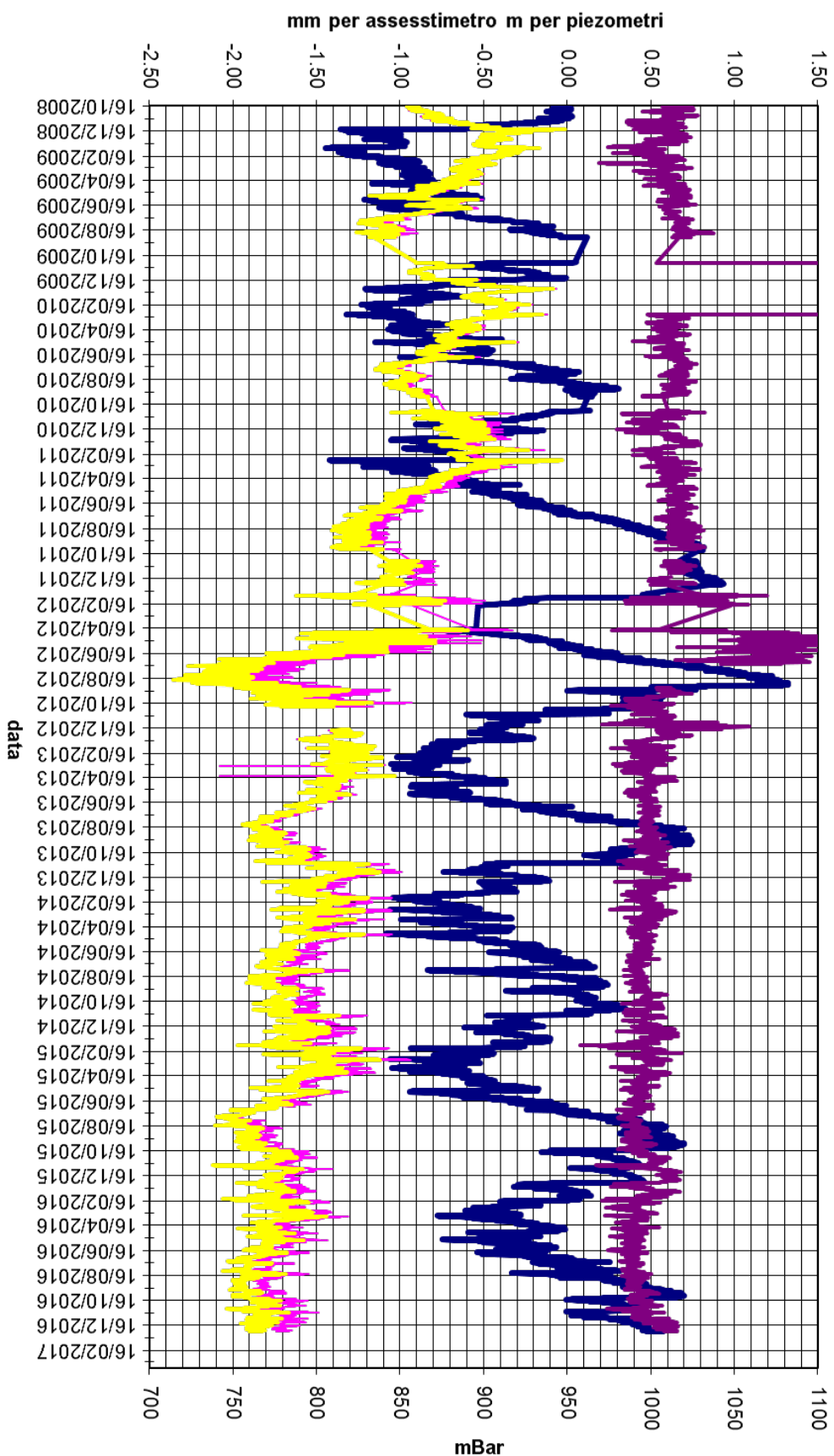
Nel dicembre del 2016 si è fatta la manutenzione dei piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un freatometro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori. Le differenze riscontrate sono risultate sempre molto piccole, dell'ordine di 2-3 cm, per cui i piezometri sono da considerarsi affidabili e funzionanti.







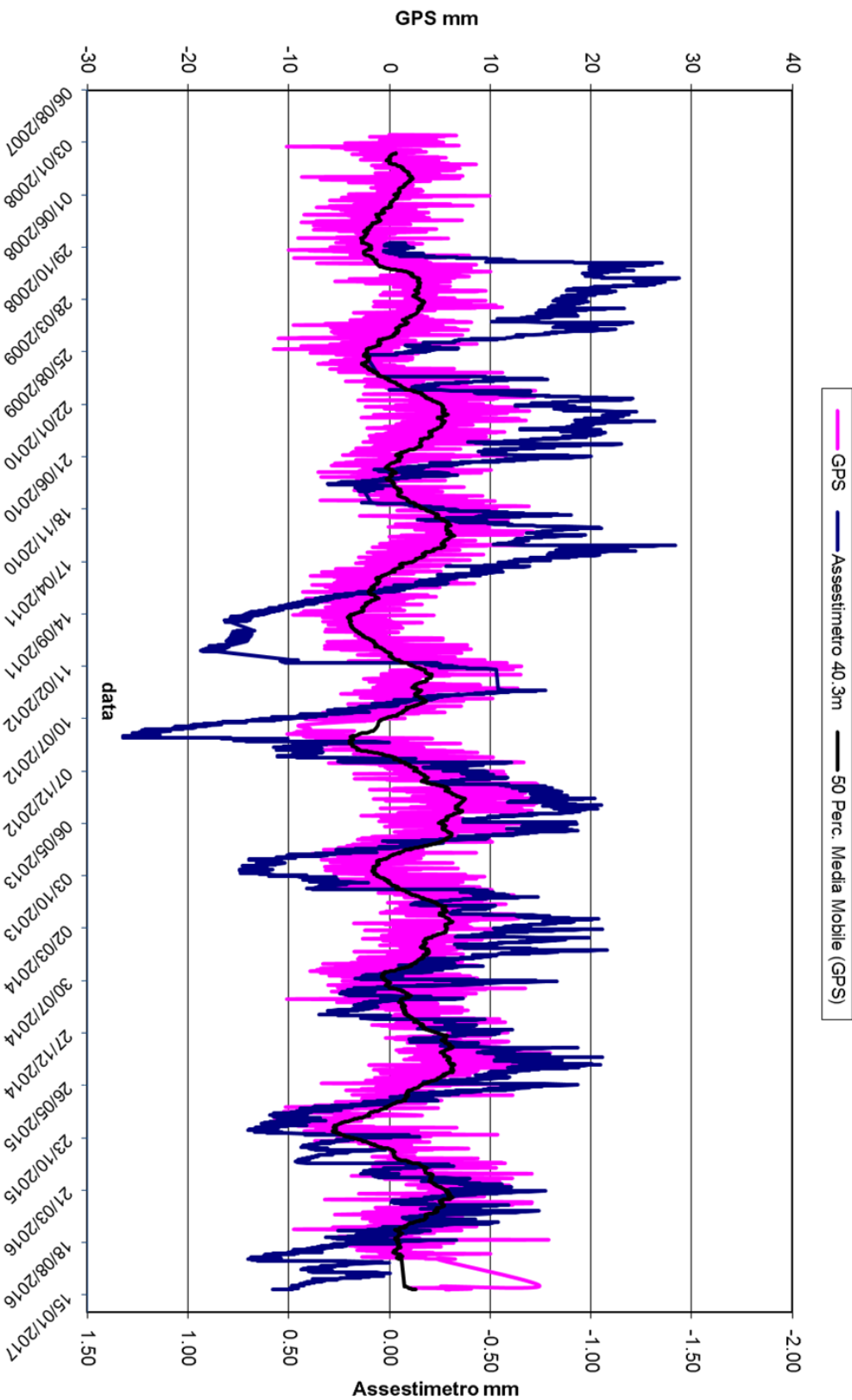
### EPSU Falconara



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



### FALCONARA - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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



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

### **Strumentazione:**

- 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 2016 una misura ogni 6 ore.

Nel periodo monitorato (10/2008 – 12/2016) 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 2016.

### **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 per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. 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  $\pm 1$  mm, con una punta massima di





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

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

Nel corso del 2016 si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compactazione 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 compactazione) 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 compactazione complessiva pressochè nulla: si è registrato, infatti, circa di 1 mm di compactazione in poco più di 8 anni di osservazione.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione EPSU. Tali misure danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,45 mm/a. A sua volta la velocità media di compactazione stimata con regressione lineare dei dati della serie assestimetrica è praticamente nulla. 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 in fase con le variazioni del livello d'acqua nella falda. Va però notato che l'ubicazione dell'antenna CGPS (stazione SSU) dista circa 150-



200 m dalla stazione EPSU, e probabilmente il terreno su cui è stata installata ha una stratigrafia caratterizzata da una minore presenza di livelli argillosi.

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

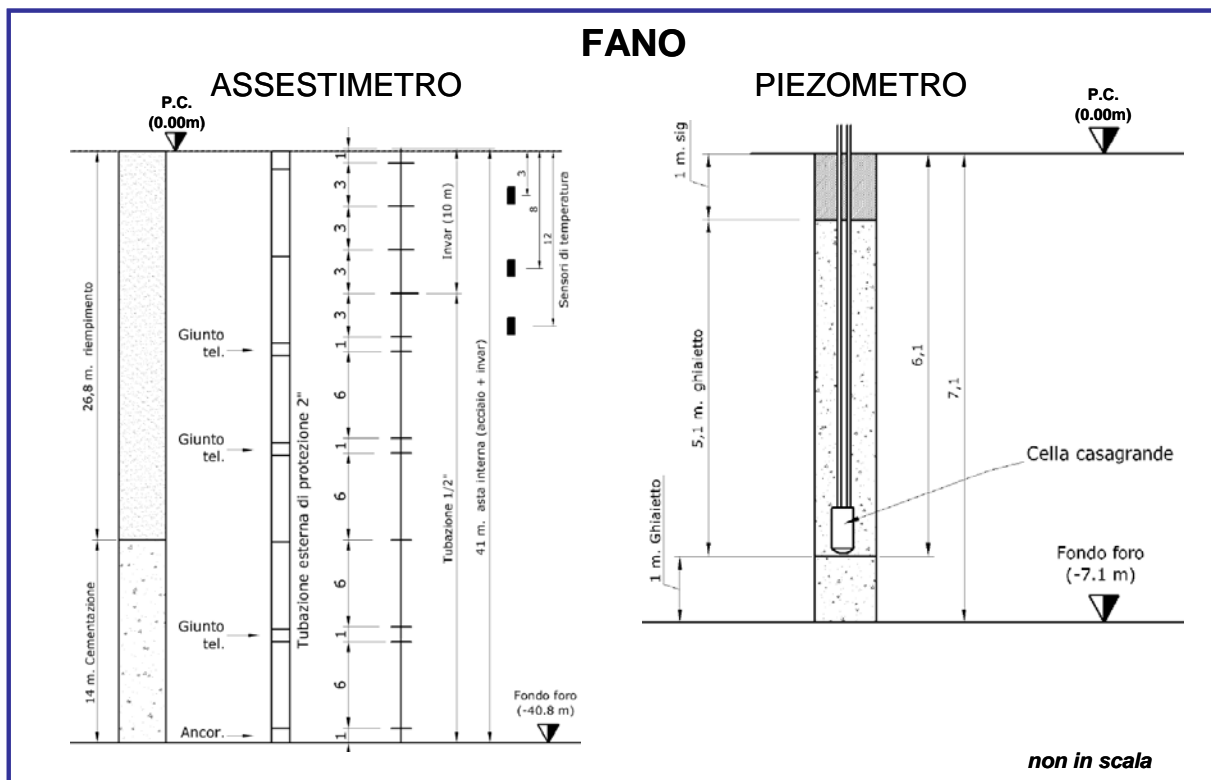
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti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

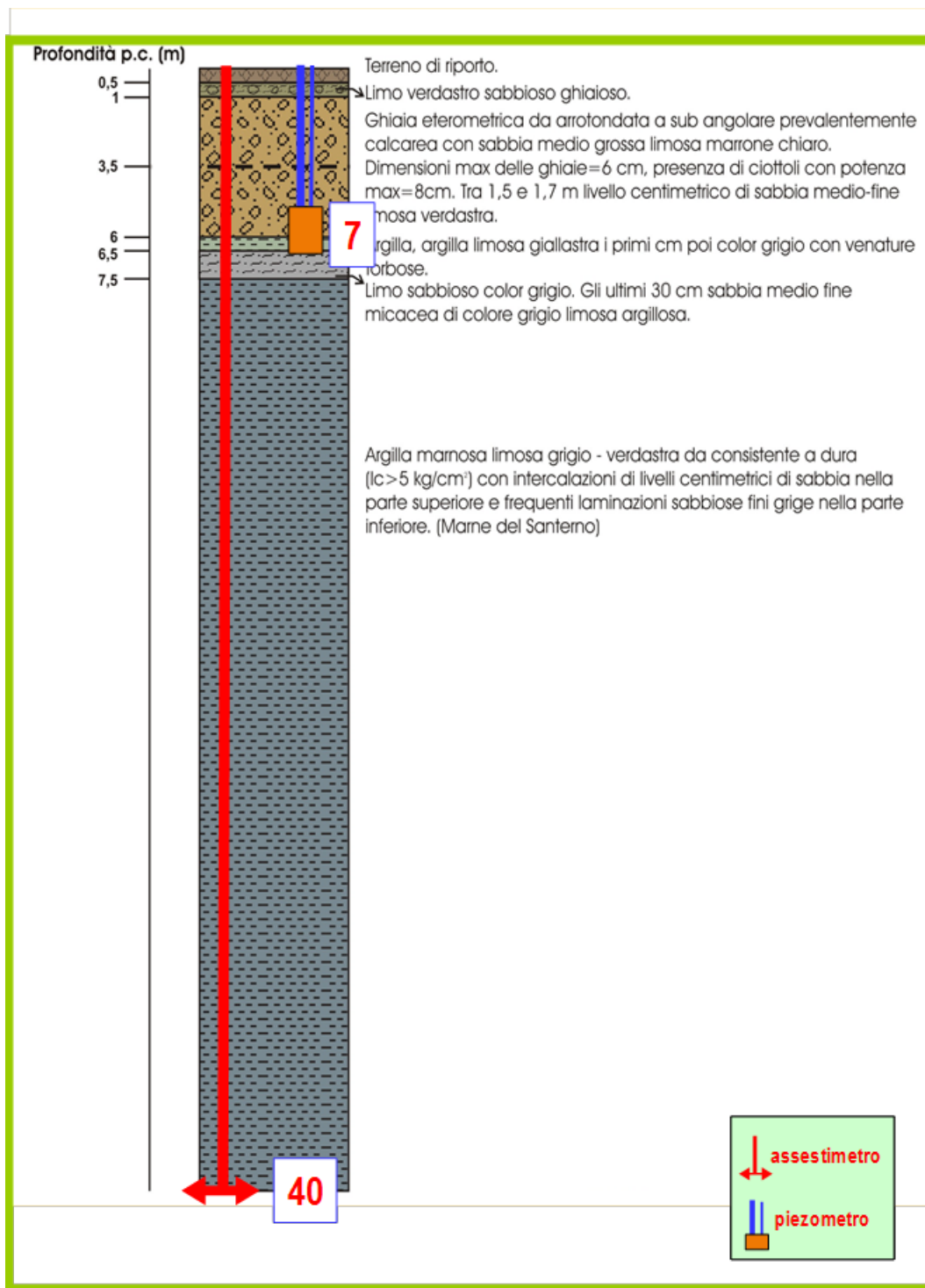
### **Analisi dei dati piezometrici**

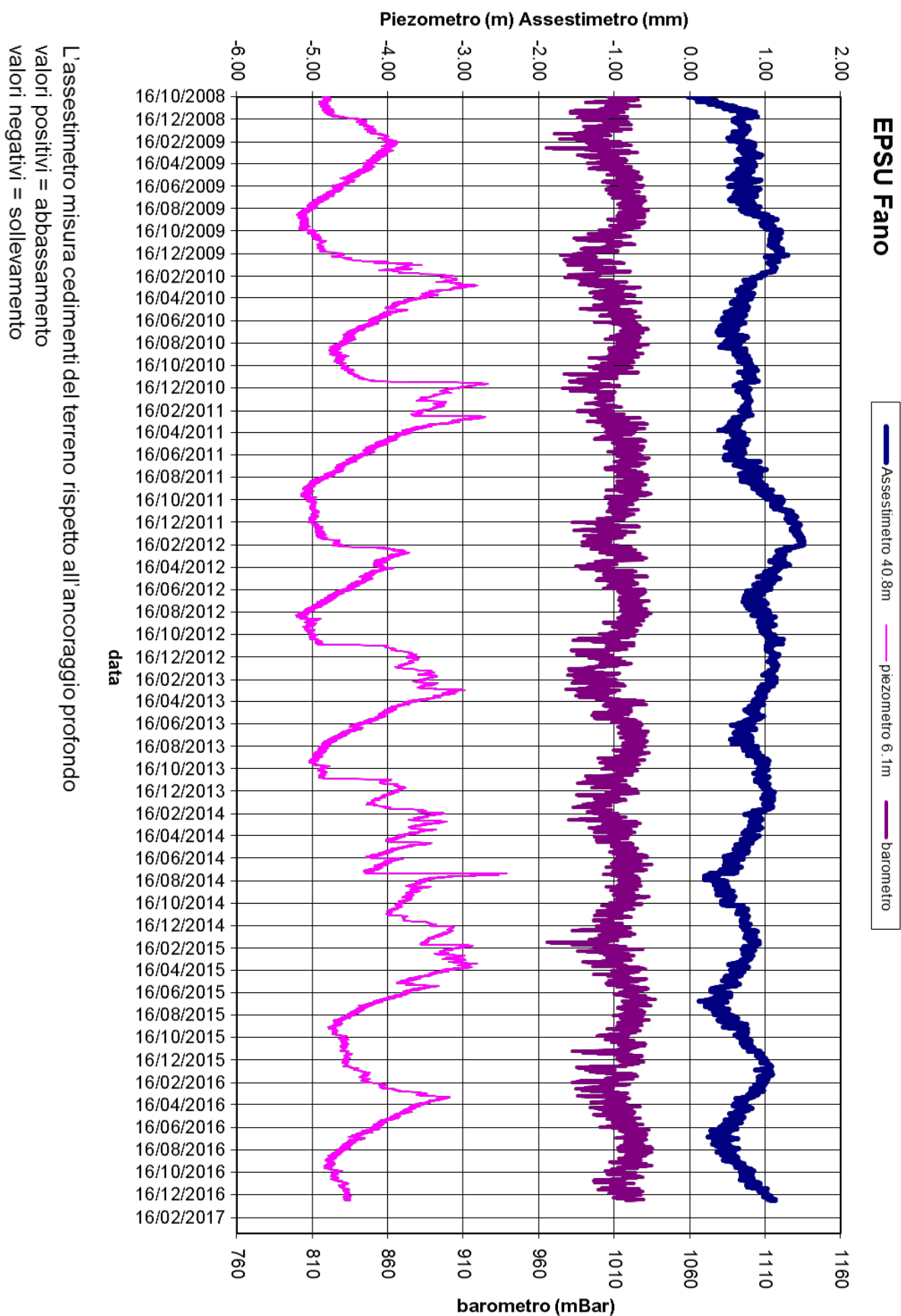
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico è riportato il valore della pressione barometrica.

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

L'ultimo controllo generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato fatto nel dicembre 2016.

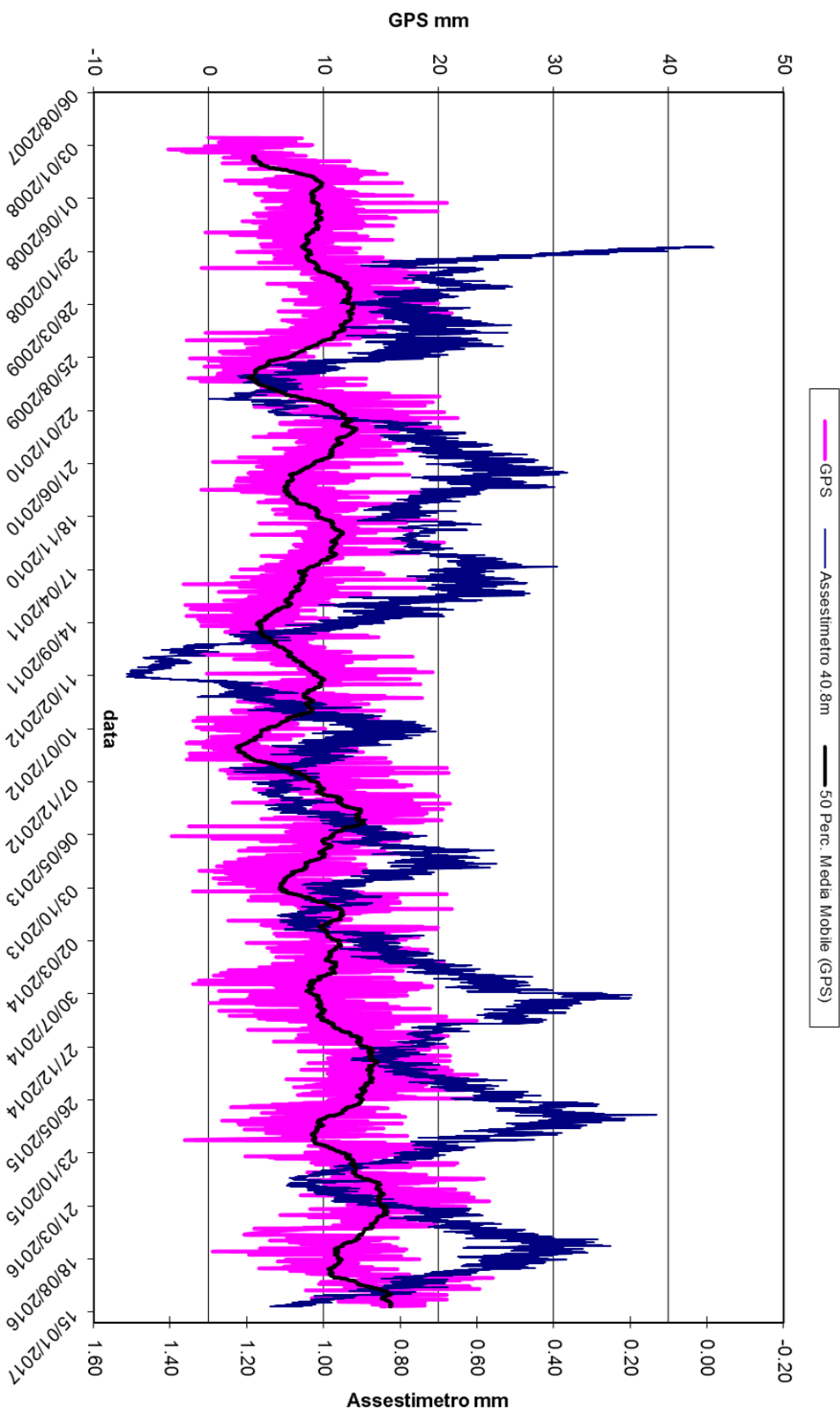








### FANO - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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 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 23,3 mm d'abbassamento totale del terreno in oltre 7 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 8 e più anni di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1 mm circa).

La tabella che segue riporta per ciascuna stazione la compattazione complessiva del terreno e la relativa velocità media annua, valutate semplicemente sulla base della misura assestimetrica al 31/12/2016 e degli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica assestimetrica. Questo procedimento potrebbe dare, pertanto, risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici.

Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, 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.

Stazione	Anni di osservazione	Assestometro profondo		Assestometro superficiale	
		Compattazione complessiva (mm)	Velocità (mm/a)	Compattazione complessiva (mm)	Velocità (mm/a)
<b>Rubicone</b>	7,75	23,3	3,0	-	-
<b>Fano</b>	8,21	-	-	1,1	-
<b>Falconara</b>	8,21	-	-	0,4	-