



Campo di TEA-LAVANDA-ARNICA

Aggiornamento al 31/12/2015

Il campo di Tea, Lavanda e Arnica (TLA) è ubicato nell'offshore adriatico a una distanza di circa 58 km dalla costa prospiciente Ravenna, in corrispondenza di un fondale marino di circa 40 m. Tale campo ricade nella concessione di coltivazione A.C34.AG, titolarità Eni 100% (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C34.AG	19/06/24	Eni	Eni	100%	Emilia-Romagna

I livelli mineralizzati a gas dei giacimenti di Tea, di Lavanda e di Arnica sono costituiti da torbiditi sabbiose, della formazione P.to Garibaldi che si sono depositate in corrispondenza di una monoclinale regionale di età pre-pliocenica immergente verso SW. In tali livelli le sabbie, più o meno siltose e talora con sottili livelli argillosi, di genesi torbiditica, sono riconducibili a una situazione deposizionale tipo "lobo torbiditico prossimale" in brusca chiusura laterale per *onlap* contro la rampa di avanpaese.

La successione più alta della serie mineralizzata presenta una significativa variazione di facies, riferibile a una fase di sedimentazione torbiditica a minore efficienza di trasporto conseguente a una diminuzione di volume dei flussi di torbida. La successione inferiore, più marcatamente sabbiosa, presenta banchi amalgamati, talora associati a livelli di ciottoli argillosi (*clay chips*) imballati in matrice siltoso-sabbiosa. Tali strutture sono legate a fenomeni di rielaborazione di orizzonti argillosi che erano asportati dalle sovrastanti correnti di torbida, a marcata efficienza.

Il giacimento di Tea è stato scoperto nel novembre 1998 con la perforazione del pozzo esplorativo Tea 1, che è stato in seguito ripreso in side-track come Tea 1 dirA. Il pozzo è stato poi chiuso minerariamente dopo aver eseguito le prove di produzione.

La struttura mineralizzata di Tea è, di fatto, una trappola mista stratigrafico-strutturale, estesa per circa 7 km², che s'impone su un "naso" del substrato pre-pliocenico, con chiu-

sura a NW, SE e SW per pendenza e a NE per *pinch-out*. L'estensione dei principali livelli mineralizzati coincide con un evidente fenomeno di anomalia di ampiezza sismica.

Tali livelli, appartenenti al PL3-H della parte basale della formazione P.to Garibaldi (Figura 2), sono stati denominati dall'alto verso il basso: PL3-H, PL3-H1 e PL3-H2. Il loro spessore lordo varia dai circa 14 m del livello PL3-H1, ai 4 m del PL3-H.

Il giacimento di Lavanda è stato scoperto nell'ottobre 1999, dopo aver perforato il pozzo esplorativo Lavanda 1 dir che ha trovato mineralizzato il livello PL3-F1 a una distanza di circa 1600 m in direzione SE dal pozzo Tea 1. Il pozzo è stato poi ripreso in side-track come Lavanda 1 dir A con funzione di *appraisal* e, sia pure senza l'esecuzione di prove, ha fornito utili indicazioni sull'andamento strutturale di entrambi i giacimenti. Al termine degli accertamenti minerari il pozzo è stato sospeso con tecnologia *mudline suspension*.

Il giacimento di Arnica è stato scoperto nel gennaio 2000 con la perforazione del pozzo esplorativo Arnica 1, ubicato a circa 4500 m dalla citata *mudline suspension*. Il pozzo è stato chiuso minerariamente al termine delle prove di produzione che hanno interessato il livello PL3-H3.

Il campo di Tea-Lavanda-Arnica (TLA) è stato sviluppato nel periodo febbraio 2007 - settembre 2007, perforando dalla piattaforma Tea i seguenti 4 pozzi, completati poi in doppio per un totale di 8 string:

- Lavanda 1 dir A e Tea 2dir per la coltivazione del giacimento di Tea;
- Arnica 2 dir per la coltivazione del giacimento di Arnica;
- Lavanda 2 dir per la coltivazione del giacimento di Lavanda.

Tutti i pozzi di sviluppo sono stati completati con tecnologia "*sand control*", del tipo OHGP (Open Hole Gravel Pack) nel pozzo Arnica 2 dir, e ICFP (Inside Casing Frac Pack) nei pozzi Tea 2 dir, Lavanda 1 dir A e Lavanda 2 dir.

Nel documento SIA del 4/02/02 è riportato il profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello Eclipse 3D del 10/2000).

La subsidenza massima prevista in relazione a tale profilo è valutata con un modello Geertsma semianalitico (*Eni-GEDA: giacimento di Tea, Lavanda, Arnica - modellizzazione*



di subsidenza - Nota tecnica - MOGI-RIGE luglio 2001) è risultata pari a 1,8 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 7 anni dall'inizio produzione; l'estensione massima del cono di subsidenza è risultata limitata all'area complessiva dei tre giacimenti.

Allo scopo d'accertare l'esistenza d'eventuali interazioni geomeccaniche tra il campo di Tea, Lavanda e Arnica e quello di Naomi e Pandora si sono confrontati i risultati del modello semianalitico di Geertsma (2001) con quelli del modello elasto-plastico a elementi finiti Isamgeo (2003) realizzato per la previsione della subsidenza di Naomi e Pandora (*Eni-GEDA: campo di Tea, Lavanda, Arnica - nota integrativa del 27/01/03*). Come si rileva dalla Figura 3, tale confronto ha escluso ogni possibilità d'interazione fra i coni di subsidenza dei due campi.

Nel marzo del 2003 si è aggiornato il modello Eclipse di Tea, Lavanda, Arnica (*Eni-MOGI-RIGE - Campi Lavanda Tea Arnica - Revisione dei modelli di giacimento con caratterizzazione dell'acquifero - marzo 2003*), unificando i modelli dei tre giacimenti - originariamente distinti - sia per le zone mineralizzate che nell'acquifero onde tener conto d'eventuali interazioni idrauliche e, quindi, meglio valutare la propagazione del disturbo di pressione nell'area circostante i giacimenti stessi. La possibile subsidenza indotta dalla coltivazione è stata a sua volta valutata per l'insieme di tali giacimenti con un modello geomeccanico elasto-plastico a elementi finiti (*ISAMGEO: campi a gas di Tea, Lavanda e Arnica-modello predittivo di subsidenza - marzo 2003*).

Nel corso delle simulazioni geomeccaniche si sono altresì eseguiti test di sensitività per valutare in quale misura influiscano sulla previsione di subsidenza le scelte sia dei valori di compressibilità uniassiale C_m dei sedimenti che di permeabilità dell'acquifero fatte sulla base di modelli statistici e geostatistici.

In particolare lo studio Isamgeo ha considerato due scenari di compressibilità C_m :

- **caso A:** si è utilizzata la legge di compressibilità proposta in letteratura da Baù *et al.*¹;
- **caso B:** si è utilizzata una stima di compressibilità derivata dall'interpretazione delle misure in situ con marker fatte nel pozzo Naomi 4D.

¹ Baù D., Ferronato M., Gambolati G., and Teatini P., Basin-scale compressibility of the Northern Adriatic by the radioactive marker technique, *Géotechnique*, Vol. 52, No. 8, pp. 605-616, 2002.

Per ciascuno scenario di compressibilità (casi A e B) sono stati considerati, inoltre, due possibili scenari di depressurizzazione:

- **scenario “press 1”** nel quale si è assunta la permeabilità dell’acquifero pari a quella del giacimento. Tale scenario corrisponde a una maggiore depressurizzazione delle zone esterne nell’acquifero e a una minore depressurizzazione di quelle interne al giacimento per effetto della maggior spinta d’acqua, il che comporta anche un minor recupero di gas;
- **scenario “press 2”** nel quale si è assunta la permeabilità dell’acquifero pari a 1/10 rispetto a quella di giacimento sulla base di evidenze indirette di possibili fenomeni di diagenesi nei livelli ad acqua; fenomeni che nelle zone mineralizzate sarebbero, invece, inibiti dalle alte saturazioni in gas.

Sulla base delle simulazioni fatte e considerata la configurazione più probabile (**caso A - scenario “press 1””), il valore di subsidenza massimo previsto al termine del periodo di coltivazione dei giacimenti è stato pari a 1,7 cm in corrispondenza della culminazione strutturale del giacimento di Tea. Tale valore si riduce a circa 1 cm a una distanza massima di 4,5 km in direzione SW dal centro del complesso dei giacimenti, ovvero a più di 50 km dalla costa.**

In seguito a ulteriori approfondimenti, richiesti da MATTM, è stato assegnato al Dipartimento per i Metodi e i Modelli Matematici per le Scienze Applicate (DMMMSA) della Facoltà d’Ingegneria dell’Università di Padova l’incarico di verificare e validare la previsione di subsidenza eseguita da Isamgeo, per conto di Eni, nel 2003.

A tale scopo DMMMSA ha fatto uno studio previsionale della subsidenza nei giacimenti in oggetto (*DMMMSA-Università di Padova: studio previsionale con modello ad elementi finiti della subsidenza attesa dalla coltivazione dei campi di Tea, Lavanda ed Arnica – novembre 2005*) basandosi sulla già citata revisione dei modelli statico e dinamico di giacimento (*Eni-MOGI-RIGE: campi Lavanda Tea Arnica - Revisione dei modelli di giacimento con caratterizzazione dell’acquifero - marzo 2003*), e prendendo in esame diverse ipotesi in merito al valore del coefficiente di compressibilità C_m dei sedimenti (per maggiori dettagli in merito si rimanda alla relazione DMMMSA).

In sintesi i risultati ottenuti da DMMMSA sono stati:

- 1) la subsidenza massima attesa si verifica all'interno dell'inviluppo delle tracce dei giacimenti ed è dell'ordine di qualche centimetro a seconda della legge di compressibilità adottata. Il valore di subsidenza con lo scenario più probabile (*forecast 1 e compressibilità media*) è di 2 cm, mentre nelle condizioni più cautelative (*forecast 2 e compressibilità all'estremo superiore dell'intervallo di confidenza*) è di 4,6 cm;
- 2) in ogni scenario previsto, l'isolinea di subsidenza 1 cm rimane circoscritta all'inviluppo delle tracce dei giacimenti. Nella condizione più sfavorevole (*forecast 2 e compressibilità all'estremo superiore dell'intervallo di confidenza*) la distanza massima raggiunta dall'isolinea 1 cm rispetto al baricentro delle tracce dei giacimenti è di circa 8 km, cioè circa 50 km dalla linea di costa e completamente a sud del parallelo passante per la foce del Po di Goro;
- 3) con lo scenario di *forecast 1*, il massimo della subsidenza attesa si verifica alla fine della produzione con un lieve rebound dopo l'abbandono del campo. Al contrario, con lo scenario di *forecast 2*, il processo di abbassamento prosegue anche in fase post-produttiva con una lieve subsidenza residua stimabile in pochi millimetri.

Lo studio condotto dal DMMMSA di Padova ha completamente confermato, quindi, i risultati della precedente valutazione di Isamgeo, ovvero che la possibile subsidenza indotta dalla coltivazione dei campi a gas di Tea-Lavanda-Arnica secondo i programmi di produzione previsti da Eni è minima e del tutto trascurabile anche nella zona dei giacimenti, e, inoltre, non interessa la fascia costiera a sud del delta del Po e il litorale ravennate.

Nel gennaio del 2010 è stato nuovamente aggiornato lo studio di giacimento di Tea, Lavanda e Arnica con risultati che hanno portato a un aumento del 6% delle riserve a vita intera producibili del campo. Un ulteriore aggiornamento di tale studio è stato, poi, realizzato nell'ottobre del 2013 (*rel. GISE n° 19/13 del 20/10/2013*). I risultati hanno mostrato un incremento del 4% del valore del GOIP (da 2737 MSm³ stimati al 12/2010 a 2839 MSm³ stimati al 10/2013) e una riduzione delle riserve a vita intera dell'8% (da 1751 MSm³ valutati al 12/2010 a 1617 MSm³ valutati al 10/2013).

Nel corso del 2011 sono state a loro volta aggiornate le previsioni di subsidenza per il campo (*rel. TERA n° 10/2011 – Campi di Tea, Lavanda, Arnica – Modello predittivo di subsidenza - Management Summary*) le cui conclusioni sono qui di seguito riassunte:

- la subsidenza massima prevedibile sulla verticale dei giacimenti è di 7 cm;
- la corrispondente estensione del relativo cono (curva d'isosubsidenza di 2 cm)² è di circa 5 km dal centro del complesso dei giacimenti verso costa ossia a più di 50 km dalla costa stessa.

Tale previsione è riferita al caso più cautelativo, mentre nel caso ritenuto più probabile l'impatto della subsidenza è ancora più ridotto (max. 3 cm).

Nel maggio del 2015 si è ancora aggiornato lo studio di giacimento di Tea, Lavanda e Arnica (*rel. GISE n°.01/2015 Campi di Tea Lavanda Arnica - Aggiornamento studio di giacimento - Scheda riassuntiva del maggio 2015*) con il calcolo di nuovo profilo di produzione che prevede un recupero di gas pari a 1723 MSm³ entro il 2018 (Figura 4).

In Figura 5 sono riportati gli andamenti storici delle portate di gas, d'acqua e la produzione cumulativa di gas al 31/12/15 pari a 1694 MSm³.

In Figura 6, Figura 7 e Figura 8 sono presentati i confronti tra i profili di pressione calcolati dal modello Eclipse 2015 e le pressioni statiche misurate per i livelli ritenuti più rappresentativi del campo. Tali confronti mostrano come la previsione modellistica sia più conservativa rispetto comportamento reale di detti livelli.

Sulla base dei risultati dello studio di giacimento del maggio 2015 sono state contestualmente aggiornate le previsioni di subsidenza per il campo (*rel. TERA n° 05/2015 – Campi di Tea, Lavanda, Arnica – Modello predittivo di subsidenza-Management Summary*).

² Nei modelli geomeccanici di Tea, Lavanda e Arnica realizzati nel periodo 2002-2003 da Eni (Geertsma semi-analitico del 2001) e da Isamgeo (FEM del 2003), l'estensione del cono di subsidenza è stata fatta corrispondere alla linea d'isosubsidenza di 1 cm. All'epoca, infatti, non erano ancora disponibili gli studi condotti dalla Commissione Scientifica Internazionale (CSI) nominata da Eni e presieduta dal Prof. E. Boschi che, su tale argomento, ha concluso che la linea d'isosubsidenza di 2 cm è da considerarsi "*the limit of any physical identification of induced subsidence effects*". Gli studi e le conclusioni della CSI sono stati 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*. Pertanto solo a partire da tale data Eni ha considerato nei propri studi la linea d'isosubsidenza di 2 cm come il contorno esterno che delimita il cono di subsidenza.



Tali previsioni sono state fatte con un modello geomeccanico elasto-plastico a elementi finiti (FEM Isamgeo) considerando il nuovo profilo produzione con uno start up del campo a novembre 2007 e una previsione di fine produzione al 2018. Sia le simulazioni con il modello di giacimento che con quello geomeccanico sono state protrate sino al 2047 per valutare gli effetti dell'evoluzione della pressione sia nelle regioni mineralizzate che in acquifero dopo la fine della produzione.

La stima della compressibilità delle rocce serbatoio stata fatta utilizzando una correlazione ottenuta da un'analisi statistica dei valori di compressibilità da misure "in situ" ottenute nei pozzi di monitoraggio perforati nei campi dell'Adriatico ed equipaggiati con markers.

I risultati delle previsioni di subsidenza ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Data	Subsidenza massima [cm]	Estensione massima [km]	Distanza minima dalla costa [km]
2018 (fine produzione)	5	6	52
2047 (fine simulazione)	5	7	51

L'analisi dei risultati consente di osservare che:

- il valore massimo di subsidenza nel campo è previsto venga raggiunto alla fine della produzione e risulta pari a 5 cm;
- nel 2018 la massima estensione della linea d'isosubsidenza dei 2 cm - calcolata come distanza del punto di massima subsidenza da tale linea - è di a circa 6 km.

Tale estensione raggiunge i 7 km al 2047, ovvero dopo 30 anni dalla fine della produzione (Figura 9).

- Il fenomeno subsidenziale si esaurisce, quindi, a circa 51 km dalla costa.

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di Controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell'Ambiente), viene rilevata da oltre un decennio con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle "Linee Guida



per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell'Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas" emesse dal Dip. DMMMSA dell'Università di Padova nel 2007.

Le specifiche tecniche adottate sono quelle ora in uso per i rilievi della rete Eni e rispettano le indicazioni contenute nelle già citate linee guida emesse dall'Università di Padova.

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

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

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

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

Si ritiene opportuno sottolineare che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione. Per ovviare a tale situazione determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore, è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra 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.

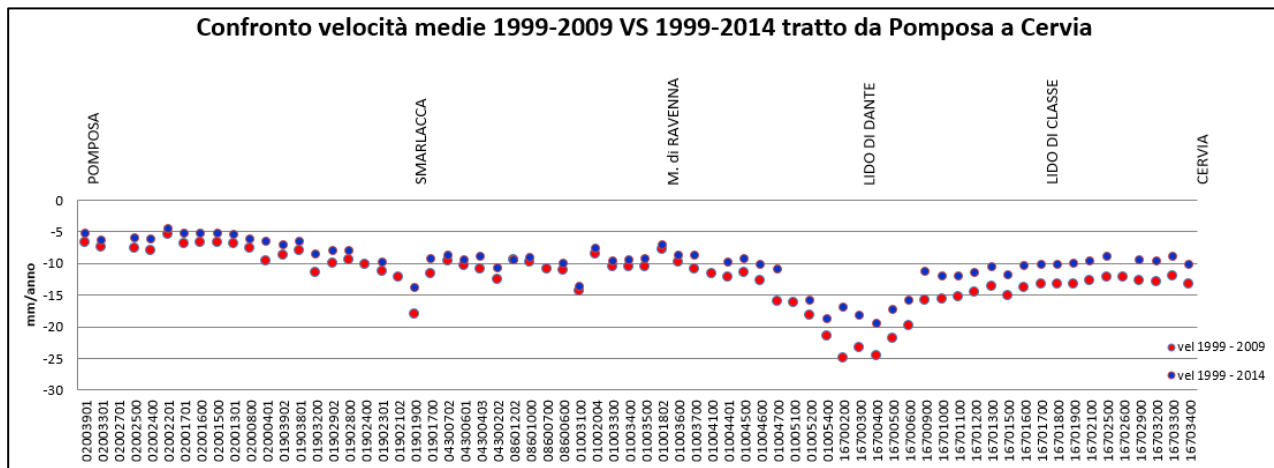
Per il tratto di costa compreso tra la zona di Pomposa e il centro abitato di Cervia - prospiciente i campi di Naomi-Pandora, Guendalina e Tea-Lavanda-Arnica - le livellazioni disponibili non sono completamente omogenee tra loro poiché le quote di alcuni capisaldi sono state misurate solo a partire dal 2003. Di conseguenza si sono valutate con regressione li-



neare solo le velocità medie di abbassamento del suolo per quei capisaldi che presentano una serie storica di misure senza soluzione di continuità.

I risultati ottenuti per i periodi 1999-2009 e 1999-2014 sono riportati in Figura A: il confronto mostra come negli ultimi anni si sia avuta una generale diminuzione di velocità di subsidenza, diminuzione che è mediamente dell'ordine 2,4 mm/a, con una punta minima di 1,5 mm/a e una massima di 8,1 mm/a.

Figura A – Tratto Pomposa-Cervia: 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 sui manufatti su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine d'ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori. Considerando, infatti, solo i capisaldi con una serie storica ininterrotta di misure nel tratto di costa da Pomposa a Cervia, se ne possono analizzare le relative velocità medie di

abbassamento del suolo³ (V_a) - stimate con regressione lineare - raggruppandole nelle seguenti 5 classi:

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

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2014 mostra un trend di generale abbassamento di questo tratto di costa. Il 51% dei punti ricade, infatti, nella classe 3, il 47% dei punti ricade nella classe 4 e solo un caposaldo, con una velocità V_a di 4,5 mm/a, ricade nella classe 2.

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.

Sebbene non siano presenti capisaldi con monumentazione e serie storica di misure sufficiente per un confronto puntuale con i dati GPS, le velocità medie d'abbassamento del suolo ottenute dalle livellazioni nei punti prossimi alle stazioni CGPS sono risultate comparabili con quelle rilevate dal monitoraggio CGPS (fatte salve le diverse precisioni dei due sistemi).

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 nelle piattaforme offshore. Dal 2007, infatti, sono state installate stazioni CGPS sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), Anemone B (agosto 2007), Annalisa (ottobre 2007), Calipso, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007);

³ Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie del suolo) sono rappresentate con valori negativi. Per comodità d'interpretazione, però, nell'elenco che segue, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), Clara W (ottobre 2010) 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 ovviamente troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la realizzazione - lungo la costa nel tratto prospiciente i campi sopracitati - di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate 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; 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 (Appendice 2).

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 la livellazione, anche i dati del monitoraggio CGPS sono sottoposti a validazione da parte di un ente esterno. Attualmente quest'attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, facoltà di Fisica.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Tea-Lavanda-Arnica, certificati fino al 2014 e in fase di certificazione per il 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 (Figura 11), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la loro generale convergenza con quelli certificati, come mostrato in Tabella 1.

Tabella 1 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2015

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
TLA	18,4	19,25	-5,02	18,34	18,94	-5,59	0,06	0,31	-0,57

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 di avere un numero sufficiente di osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e poter filtrare il "rumore" che per piccole velocità di subsidenza è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico misurato.

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

In generale:

- dataset < 12mesi: solo follow up per monitoraggio dei dati acquisiti
- dataset di 12÷36 mesi e
 - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
 - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;



- dataset > 36 mesi: analisi di trend e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese 5.2, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). Nel corso del 2013, a seguito del rilascio del nuovo sistema di riferimento, sono stati rielaborati tutti i dati secondo il sistema ITRF2008-IGB08, al quale fanno riferimento i grafici della presente relazione.

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

Per il campo di Tea-Lavanda-Arnica, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, anche se parzialmente incompleta a causa di work-over e successivi problemi di malfunzionamento della strumentazione, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale⁴ misurata dal CGPS pari a -4.7 mm/a (Figura 11), in leggera diminuzione rispetto al valore (-5,0 mm/a al 2014) riportato nella precedente relazione d'aggiornamento.

La serie storica delle misure CGPS sulla piattaforma Tea-Lavanda-Arnica, può essere ulteriormente scomposta utilizzando un software di recente realizzazione che consente di apprezzare variazioni significative nel trend di velocità delle misure stesse. Si osserva, infatti (Figura 12):

- dall'installazione a fine aprile 2012 una velocità media pari a circa -6,3 mm/a;
- da aprile 2012 al 31 dicembre 2015 una velocità media pari a circa -2,8 mm/a.

⁴ La "subsidenza totale CGPS" rappresenta in questo caso l'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma su cui è installato il CGPS. A determinare tale "subsidenza totale" concorrono vari fenomeni: la compattazione di strati profondi per estrazione di gas (subsidenza antropica), movimenti tettonici e costipazione naturale dei sedimenti (subsidenza naturale), compattazione dei sedimenti più superficiali a fondo mare per effetto del peso della piattaforma. Quest'ultimo fenomeno è evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa.

L'andamento tendenziale del secondo periodo può essere messo in relazione con l'attuale fase di declino della produzione visibile in Figura 4.

Le misure CGPS sono state, poi, confrontate con i risultati calcolati dal modello geomeccanico per il "punto di controllo 1", (Figura 13 e Figura 14) che è posto a circa 1 km a Ovest della piattaforma Tea, senza depurare tali misure GPS dalla componente di subsidenza naturale. Il confronto (Figura 15), mostra un buon accordo fra valori misurati e calcolati.

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 Tea-Lavanda-Arnica siano di piccola entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

Si segnala infine che:

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

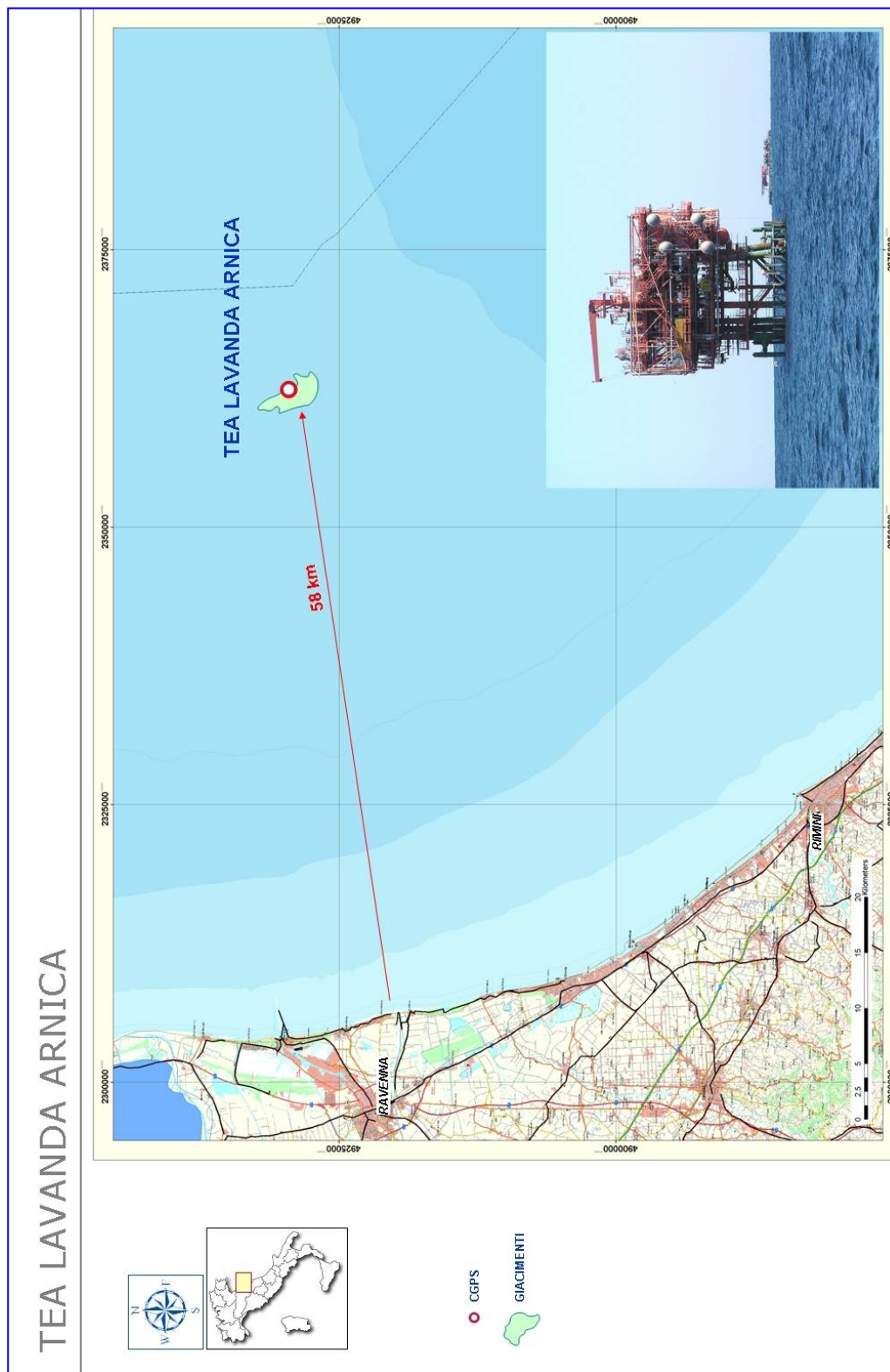
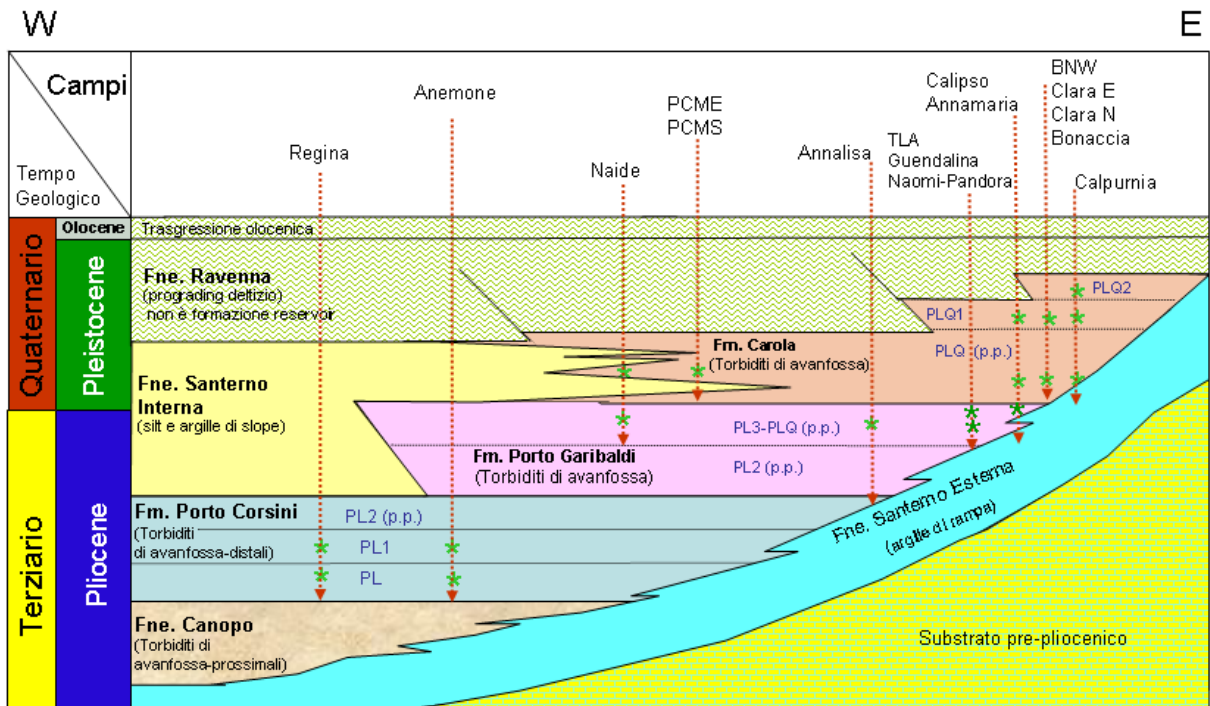


Figura 1 – Posizione del campo di TLA



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

Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

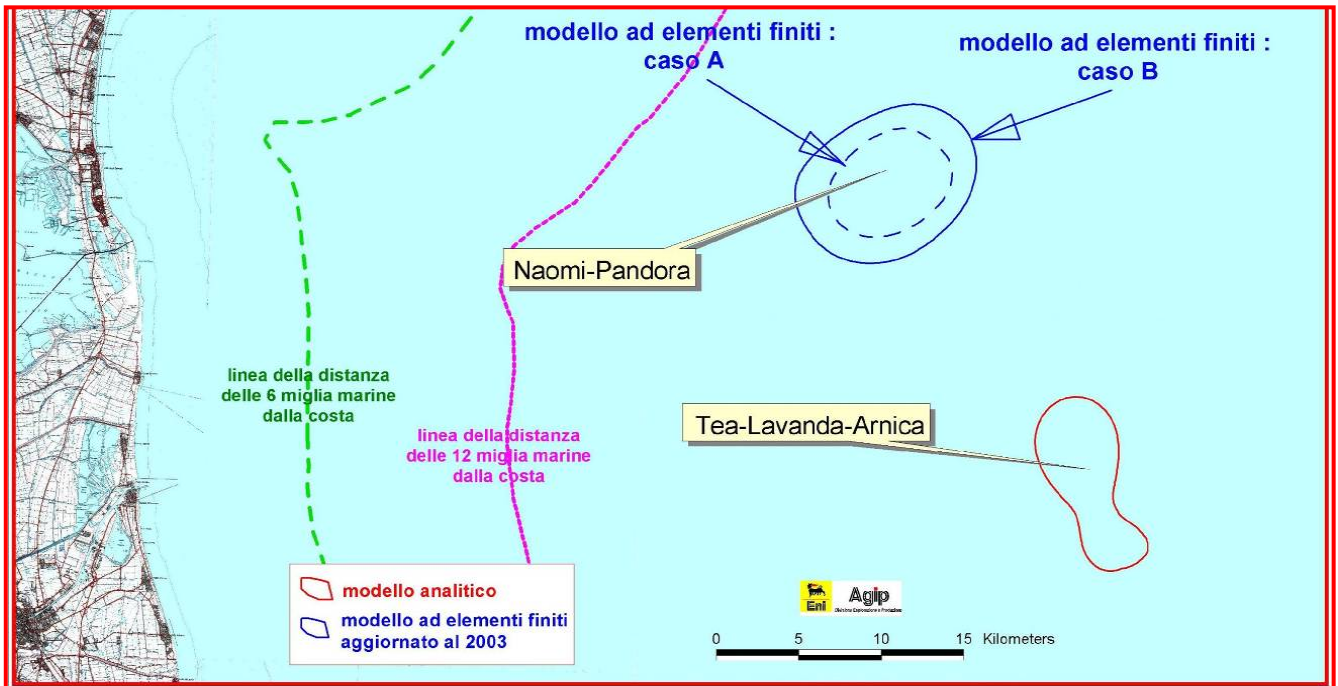
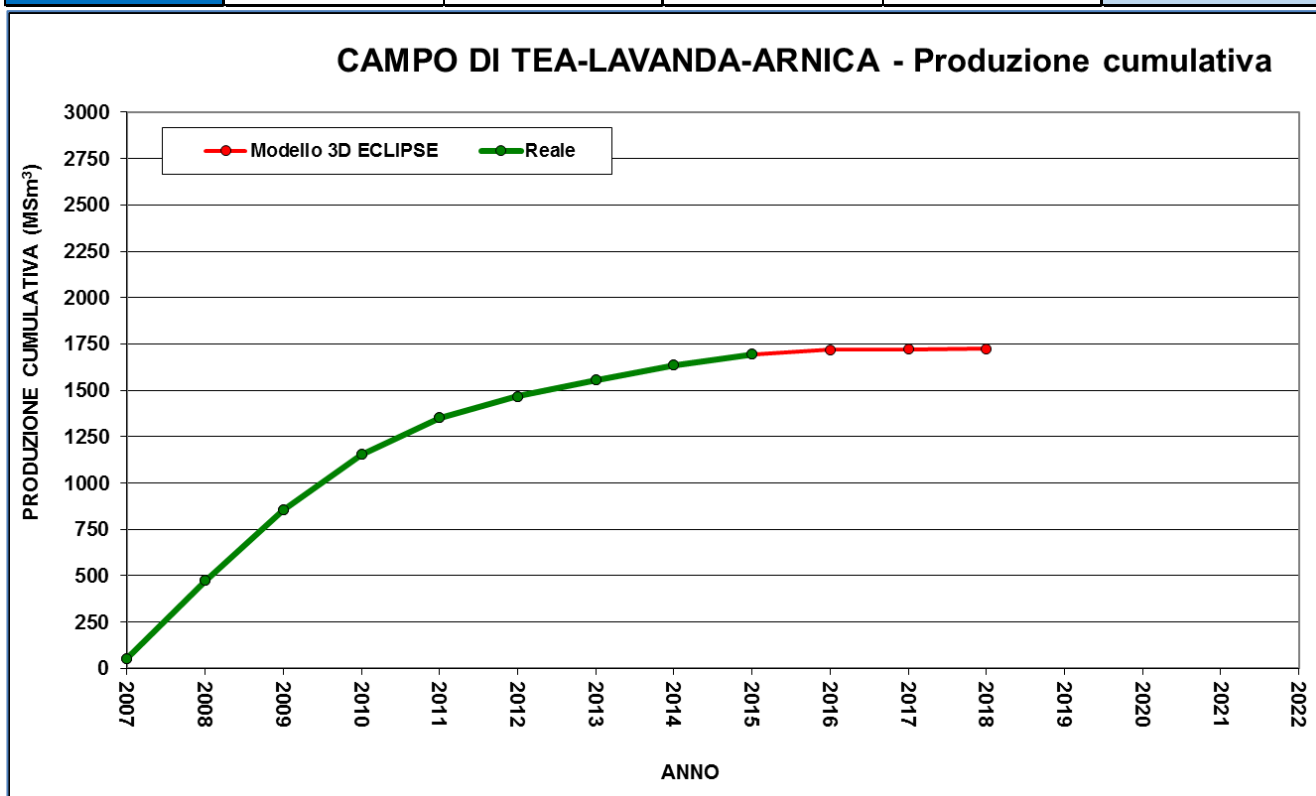


Figura 3 – Verifica dell'interazione geomeccanica fra i campi di TLA e di Naomi-Pandora



CAMPIDI TEA-LAVANDA-ARNICA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2007	53	53	53	53	3%
2008	422	422	474	474	28%
2009	379	379	853	853	50%
2010	300	300	1154	1154	67%
2011	199	199	1353	1353	79%
2012	114	114	1467	1467	85%
2013	87	87	1554	1554	90%
2014	81	81	1635	1635	95%
2015	58	59	1694	1694	98%
2016		23		1718	
2017		4		1722	
2018		1		1723	
2019					
2020					
2021					
2022					



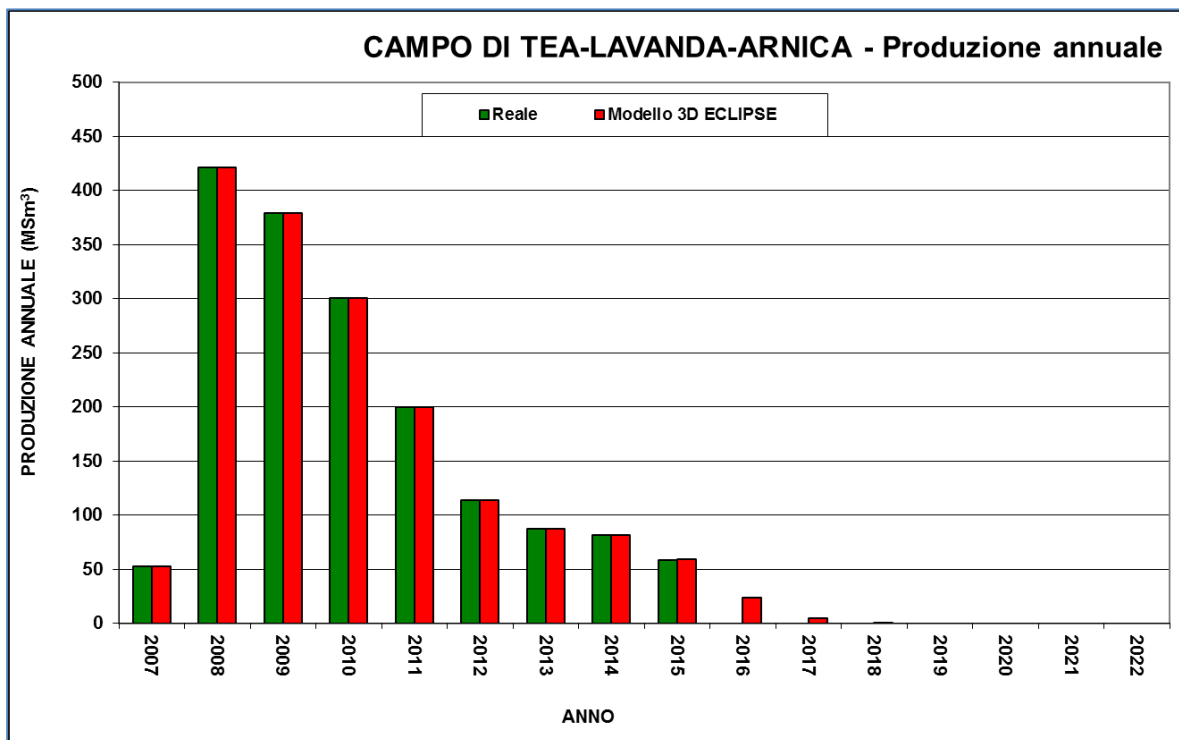


Figura 4 – Campo di TLA: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse 2015

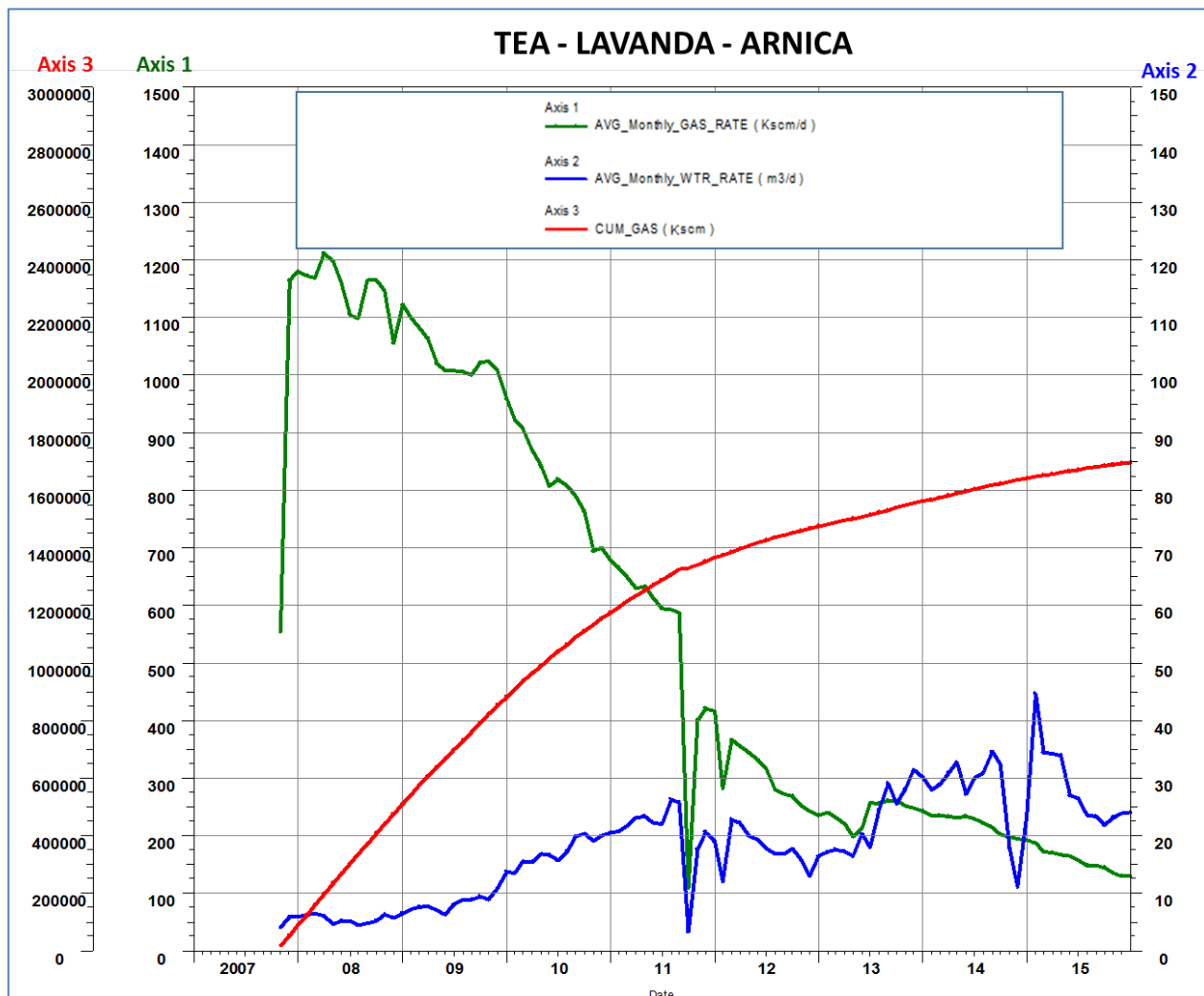


Figura 5 – Campo di TLA: grafico di produzione storica



CAMPDI TEA-LAVANDA-ARNICA									
Data	Livello PL3-H			Livelli PL3-H+H1			Livello PL3-F1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
19/10/1999	304	Lav 1 Dir		305	Lav 1 Dir		300	Lav 1 Dir	
29/07/2008	255		Lav 1 C/L	264		Tea 2 C	233		Lav 2 C/L
02/05/2009	220		Lav 1 C/L	235		Tea 2 C	195		Lav 2 C/L
09/06/2011	166		Lav 1 C/L				159		Lav 2 C/L
17/10/2011	167		Lav 1 C/L	183		Tea 2 C	174		Lav 2 C/L
13/12/2013	145		Lav 1 C/L						
16/10/2014	140		Lav 1 C/L				195		Lav 2 C/L
24/07/2015	134		Lav 1 C/L				235		Lav 2 C/L

■ Livello PL3-H – String Lavanda 1 dir A Lunga

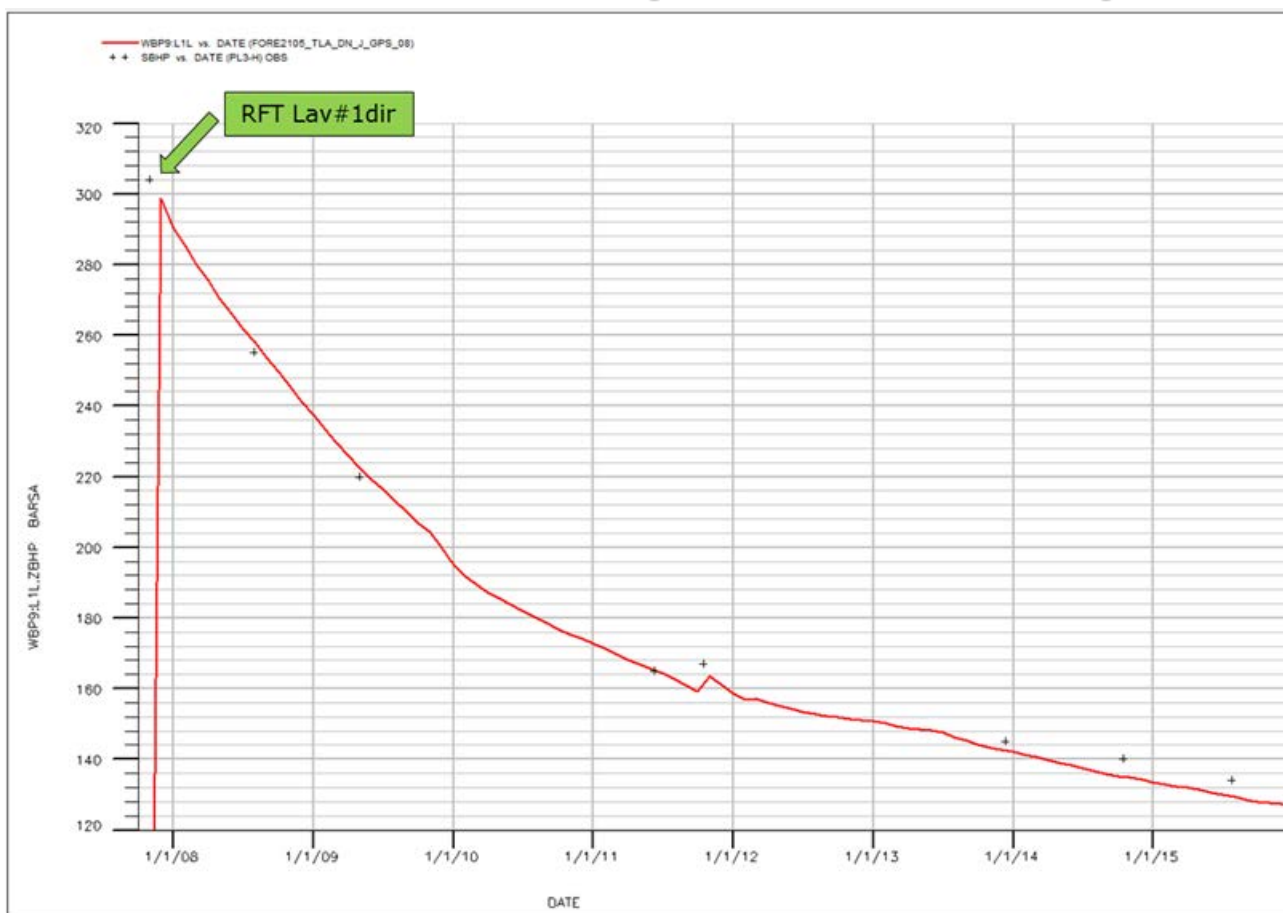


Figura 6 – Campo di TLA: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2015 (livello PL3-H)



▪ Livelli PL3-H+H1 – String Tea 2 Corta

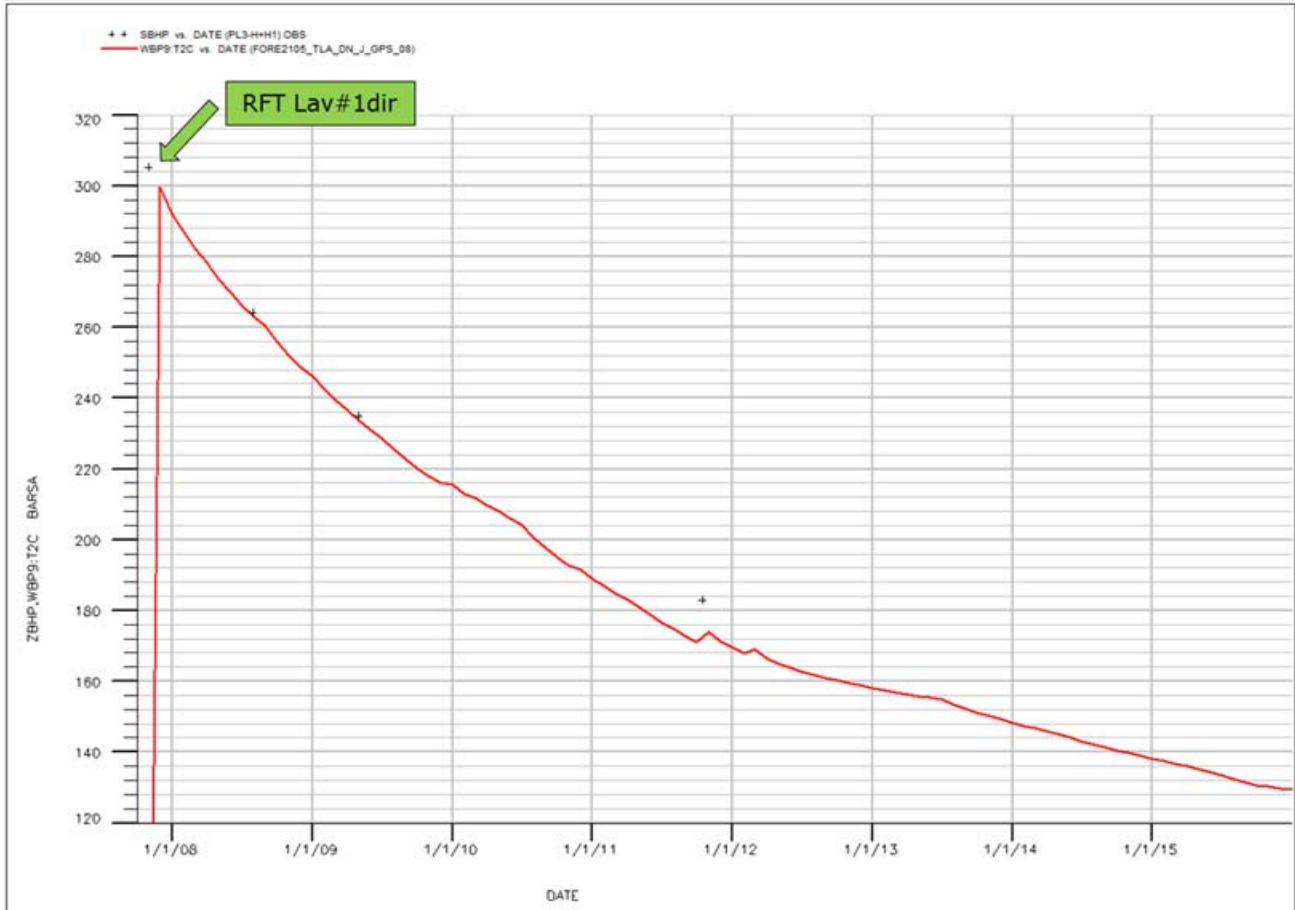


Figura 7 – Campo di TLA: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2015 (livello PL3-H-H1)



■ Livello PL3-F1 – String Lavanda 2 dir Singola

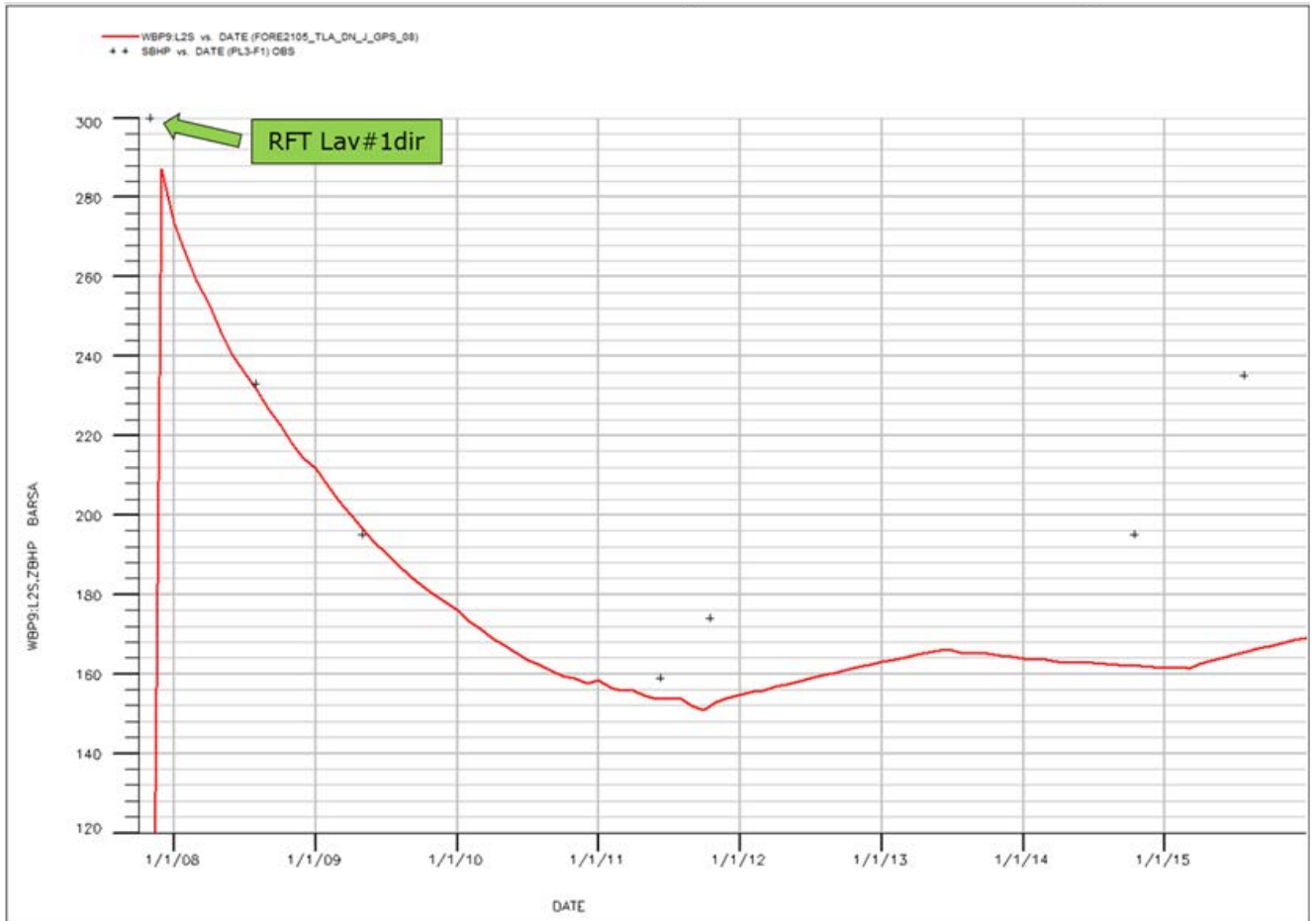


Figura 8 – Campo di TLA: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2015 (livello PL3-F1)

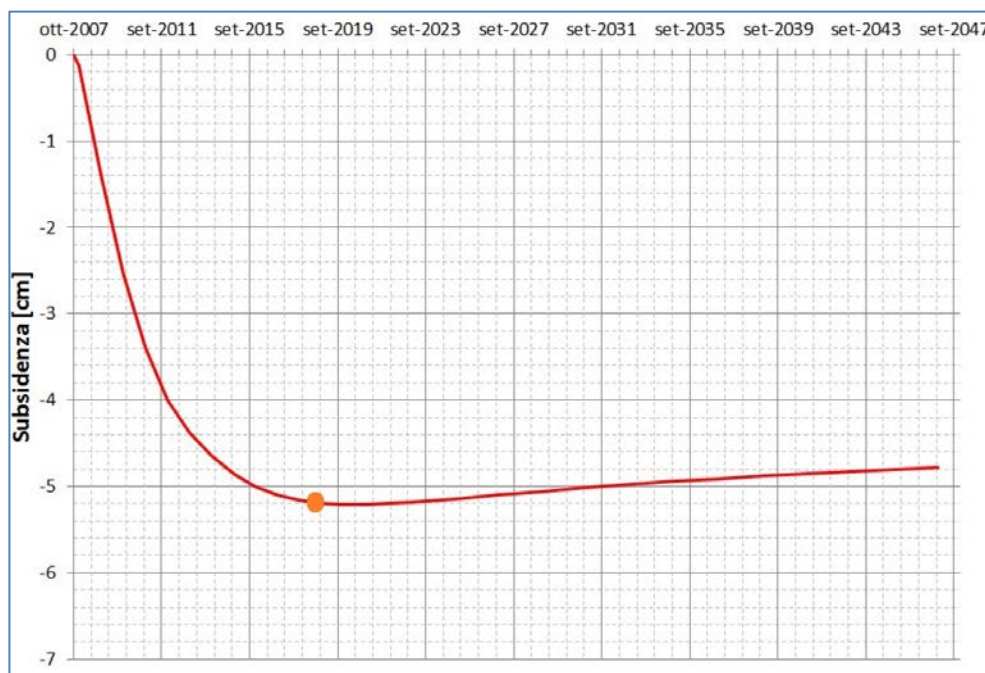
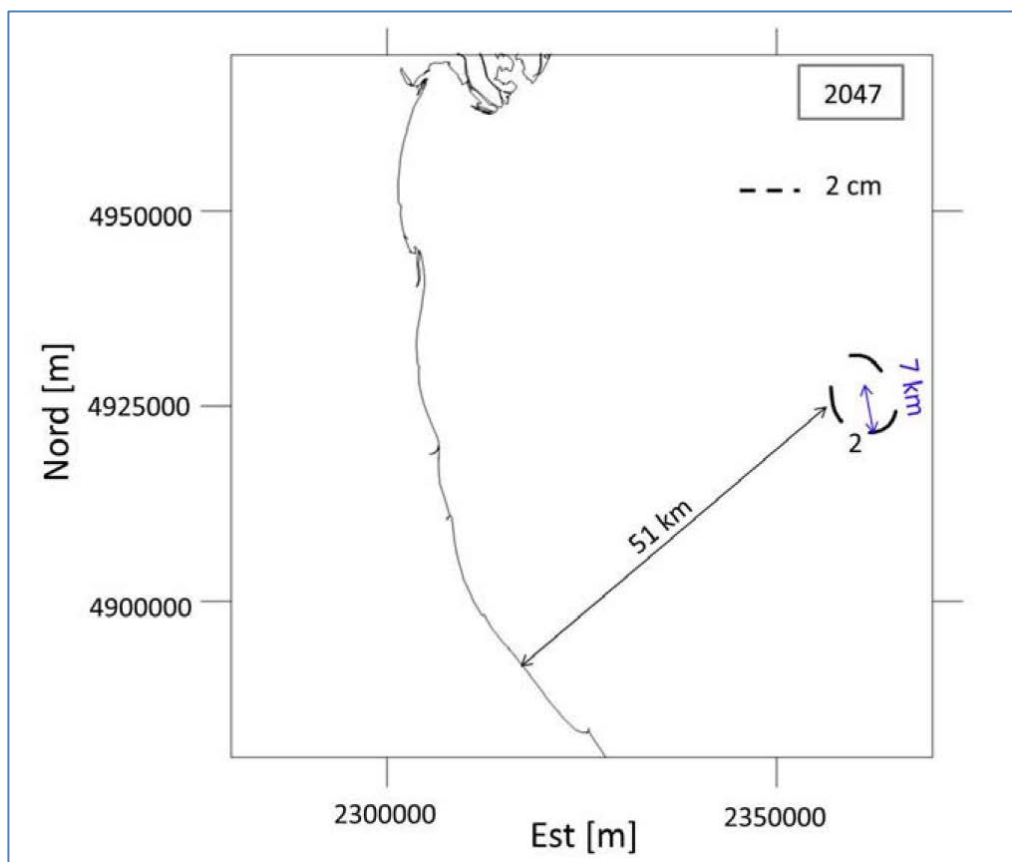


Figura 9 – Campo di TLA: curve d'isosubsidenza (in alto) a fine simulazione (2047) ed evoluzione nel tempo della subsidenza massima (in basso).
Il cerchio arancione indica l'abbassamento atteso al termine della produzione (settembre 2018)

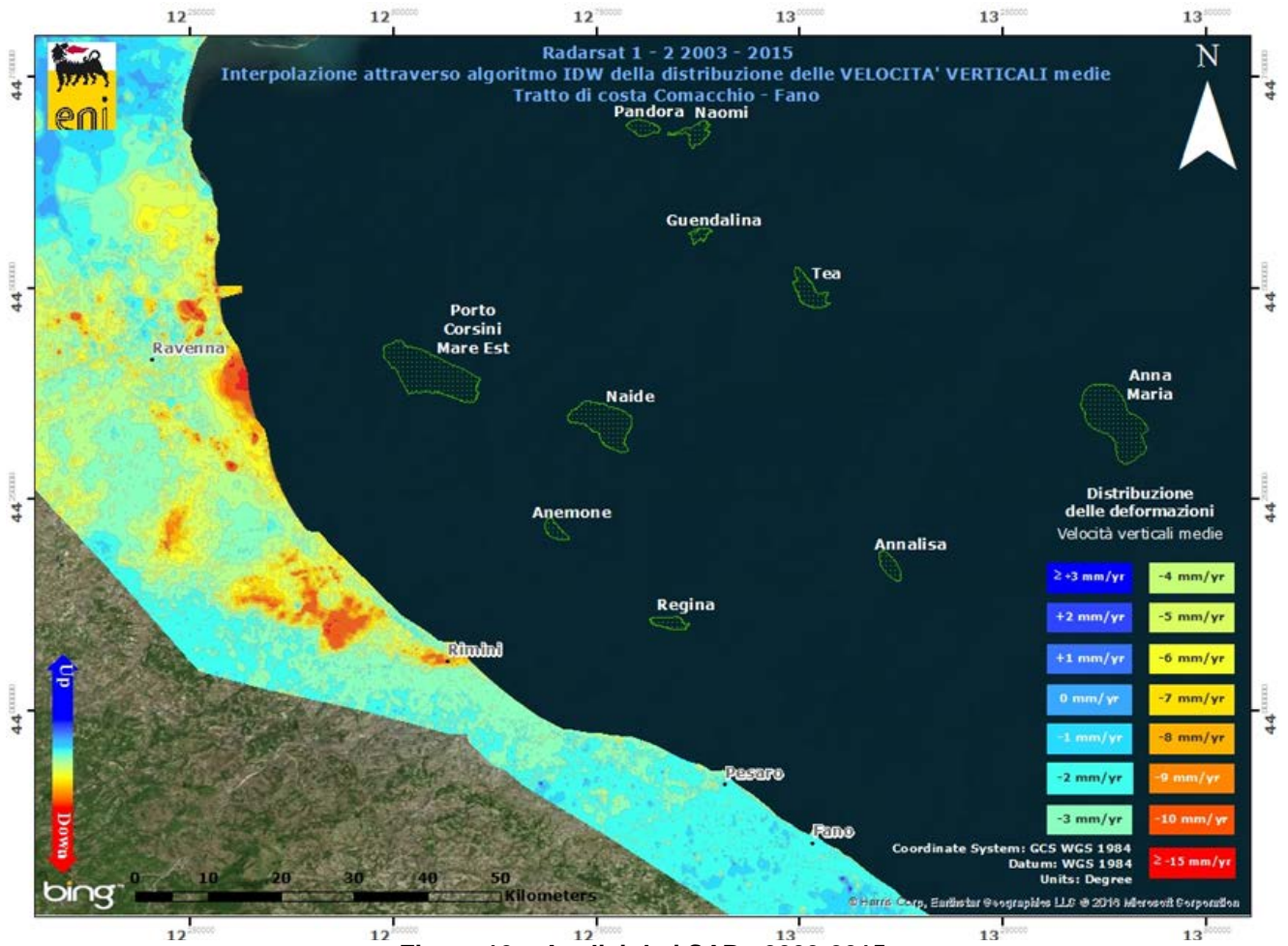


Figura 10 – Analisi dati SAR _2003-2015

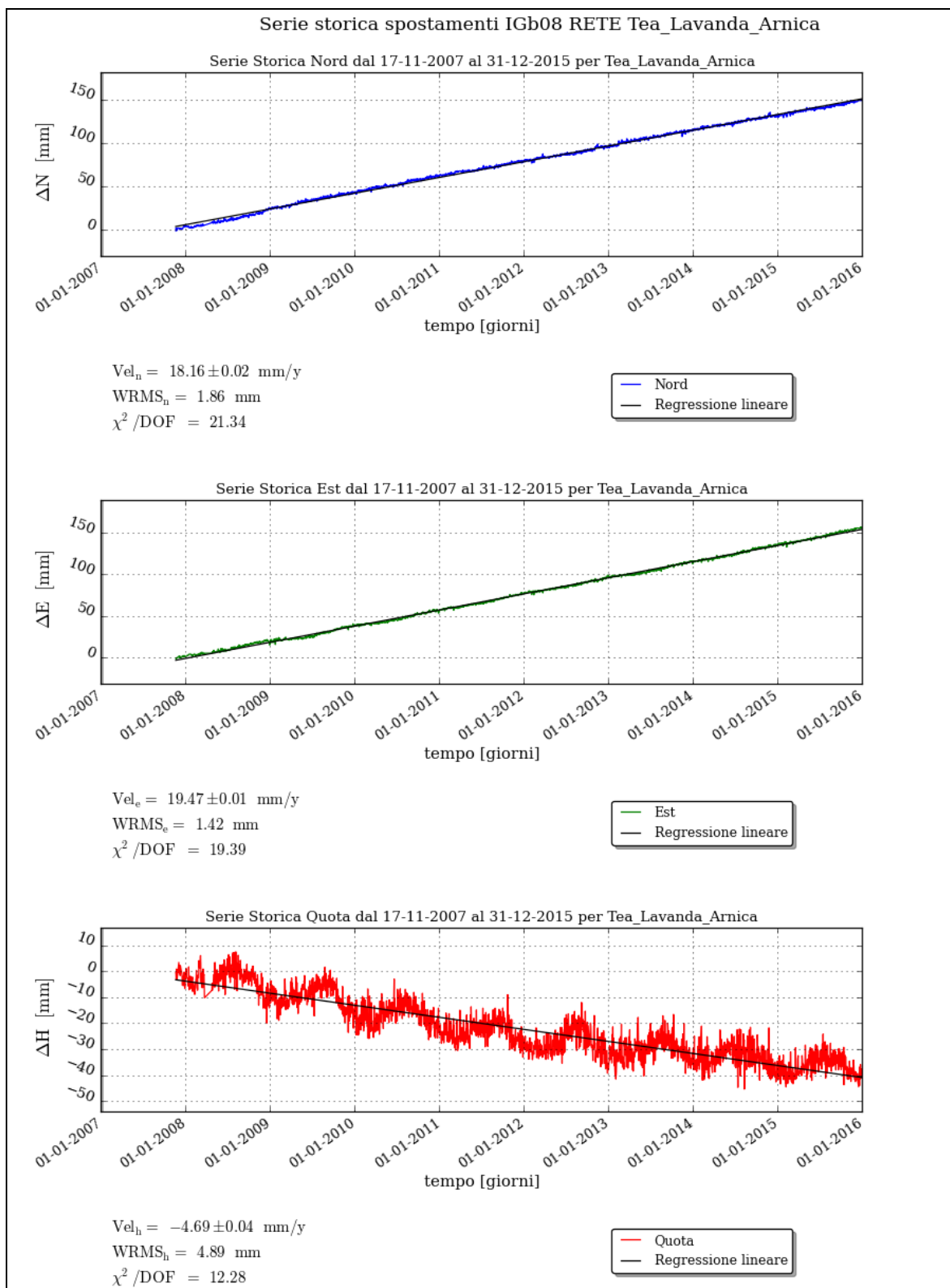
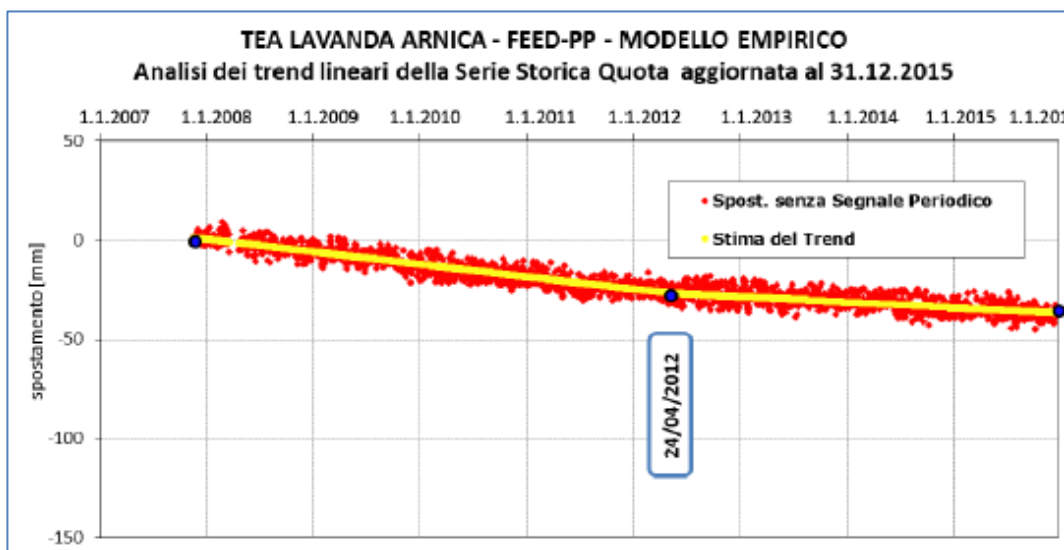


Figura 11 – Campo di TLA: serie storiche piano-altimetriche CGPS



FEED PP - MODELLO EMPIRICO		
Periodo	velocità [mm/y]	sigma [mm/y]
17/11/2007 - 24/04/2012	-6.3	0.1
24/04/2012 - 31/12/2015	-2.8	0.1

Figura 12 – Campo di TLA: analisi della serie storica plano-altimetrica CGPS

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

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

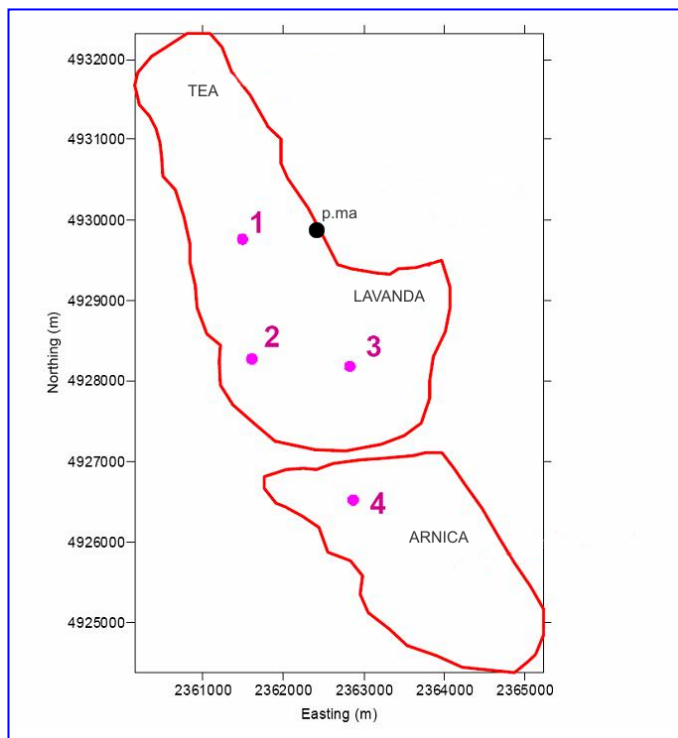


Figura 14 – Campo di TLA: posizione dei punti di controllo dello studio geomeccanico

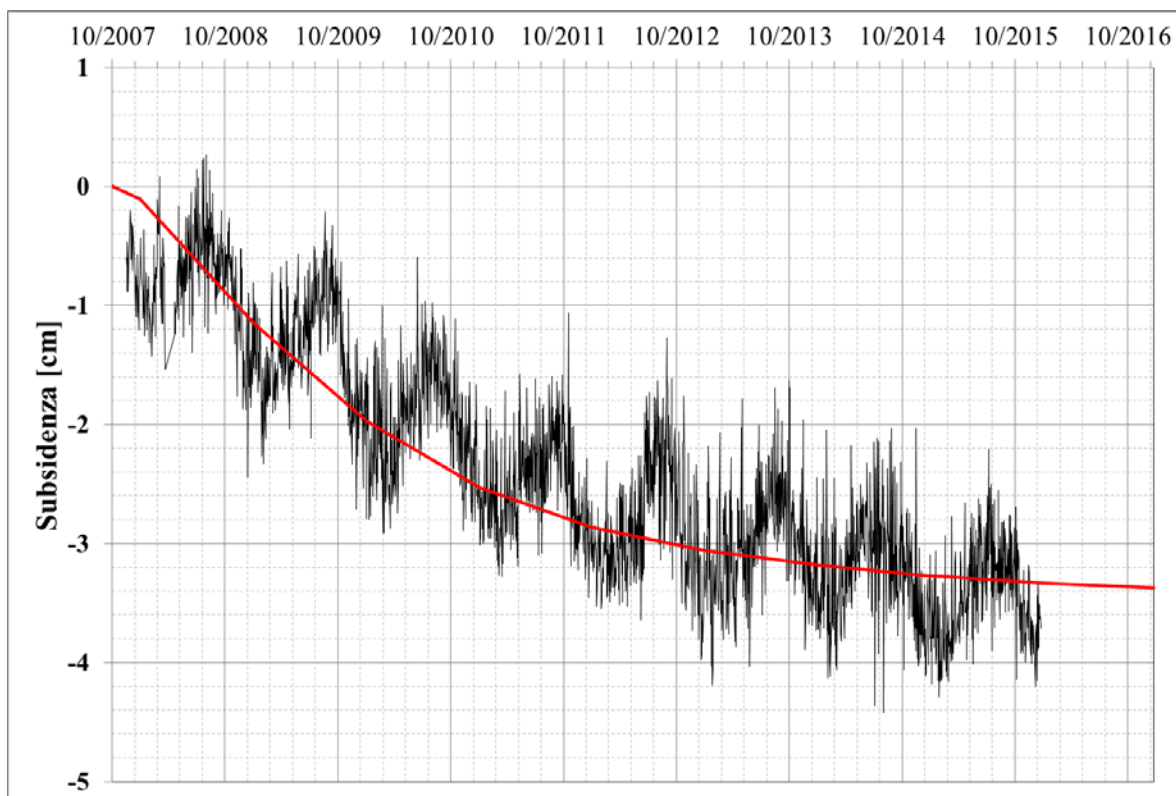


Figura 15 – Campo di TLA: confronto tra spostamento simulato (linea nera) e spostamento misurato (linea rossa), in corrispondenza della stazione CGPS di Tea.



campo TEA-LAVANDA-ARNICA (Eni 100%)																					
DATI DI CAMPO																					
UBICAZIONE		offshore - 58 Km E Marina di Ravenna																			
PROFONDITA' FONDALE		40 m																			
LITOLOGIA		terreni pliocenici sabbioso/argillosi																			
FORMAZIONE RESERVOIR		Porto Garibaldi																			
ZONA MINERARIA		PL3																			
PROFONDITA' RESERVOIR		2700 - 2840 (TVDS)																			
TIPO DI PIATTAFORMA		fissa - standard																			
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE		torbiditi sottili																			
CONCESSIONE		D.M @marzo '04 @ 31 dic 2015																			
DATA SCADENZA CONCESSIONE		19/06/2024																			
N. POZZI		4																			
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)		1536																			
START UP PRODUZIONE		ott-07																			
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2017																			
GAS PRODOTTO (MSm3)		1694																			
% RISERVE PRODOTTE		98%																			
<p>DECRETO VIA n. 00149 del 02 marzo 2004 (notifica DSA n. 0010973 del 13 aprile 2006)</p> <p>AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (TEA-LAVANDA ARNICA)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SIA</th> <th>ULTIMO AGGIORNAMENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>STUDIO DI GIACIMENTO</td> <td>MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '00"</td> <td>Agg. studio di giac. - Scheda riassuntiva, Rel. GISE-01/2015 (maggio 2015)</td> </tr> <tr> <td>RISERVE (MSm3)</td> <td>1536</td> <td>1723</td> </tr> <tr> <td>MOD. GEOMECCANICO</td> <td>GEERTSMA SEMIANALITICO (luglio 2001)</td> <td>ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ maggio 2015</td> </tr> <tr> <td>MAX SUBS AL CENTRO (cm)</td> <td>1,8 (dopo 7 anni)</td> <td>5 cm</td> </tr> <tr> <td>MAX DIST. DAL CULMINE (Km)</td> <td>limitata all'area complessiva dei tre giacimenti</td> <td>6 Km. Esaurimento del fenomeno a circa 51 Km dalla costa</td> </tr> </tbody> </table>					SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '00"	Agg. studio di giac. - Scheda riassuntiva, Rel. GISE-01/2015 (maggio 2015)	RISERVE (MSm3)	1536	1723	MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO (luglio 2001)	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ maggio 2015	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1,8 (dopo 7 anni)	5 cm	MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	limitata all'area complessiva dei tre giacimenti	6 Km. Esaurimento del fenomeno a circa 51 Km dalla costa
	SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO																			
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '00"	Agg. studio di giac. - Scheda riassuntiva, Rel. GISE-01/2015 (maggio 2015)																			
RISERVE (MSm3)	1536	1723																			
MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO (luglio 2001)	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ maggio 2015																			
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1,8 (dopo 7 anni)	5 cm																			
MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	limitata all'area complessiva dei tre giacimenti	6 Km. Esaurimento del fenomeno a circa 51 Km dalla costa																			
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI																					
LIVELLAZIONI		ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014. I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2011) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE ADRIATICA " SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI																			
MARKERS		NON PRESCRITTI																			
CGPS		OPERATIVO DAL 2007																			
SAR		ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2015 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DEI CAMPI DI TLA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO																			

Figura 16 – Campo di TLA: Scheda di sintesi dei dati del campo



Figura 17 – Particolare della rete di monitoraggio Eni

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- vedi 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.

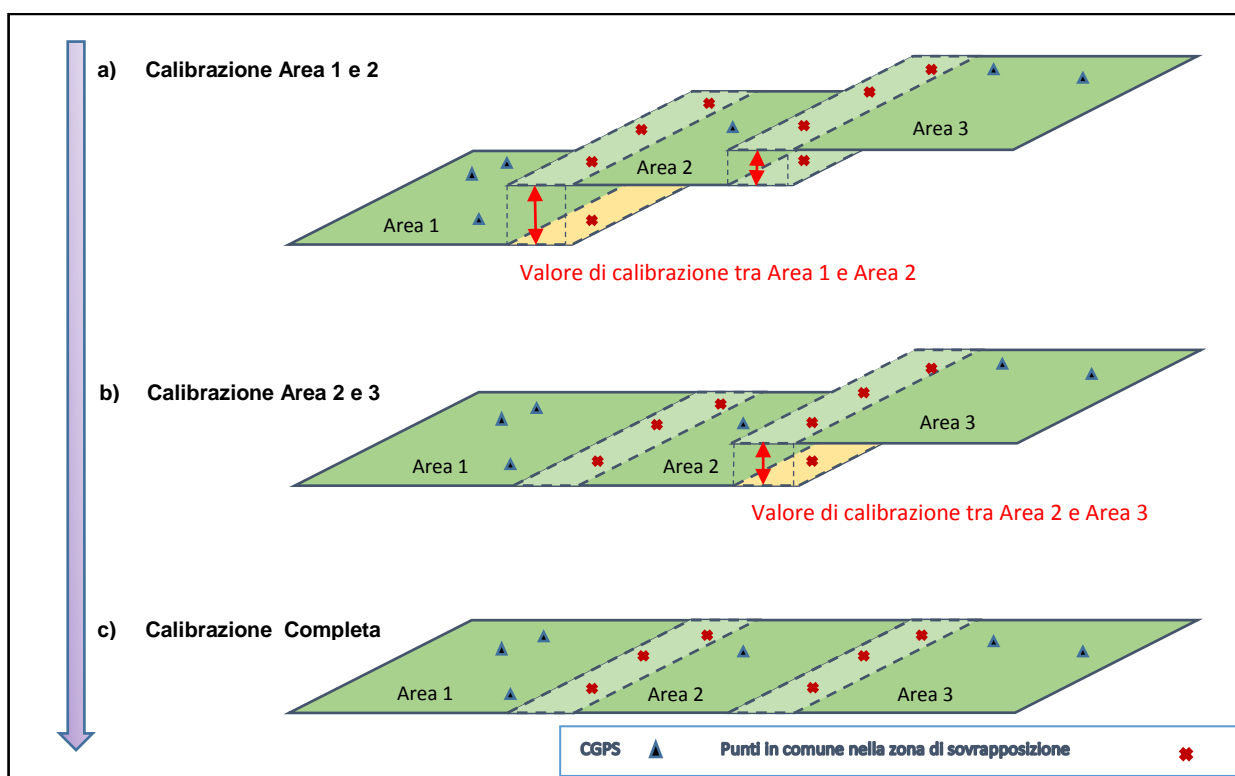


Fig. 2A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

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

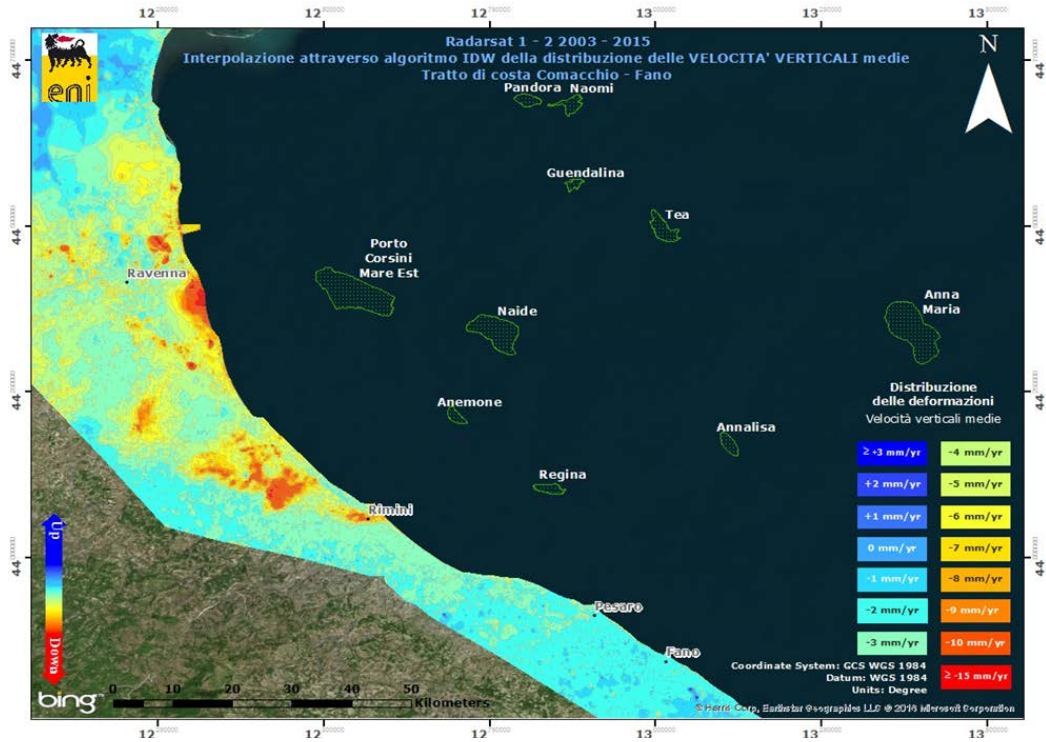


Fig. 3A – Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Comacchio a Fano: serie storica: 2003 – 2015

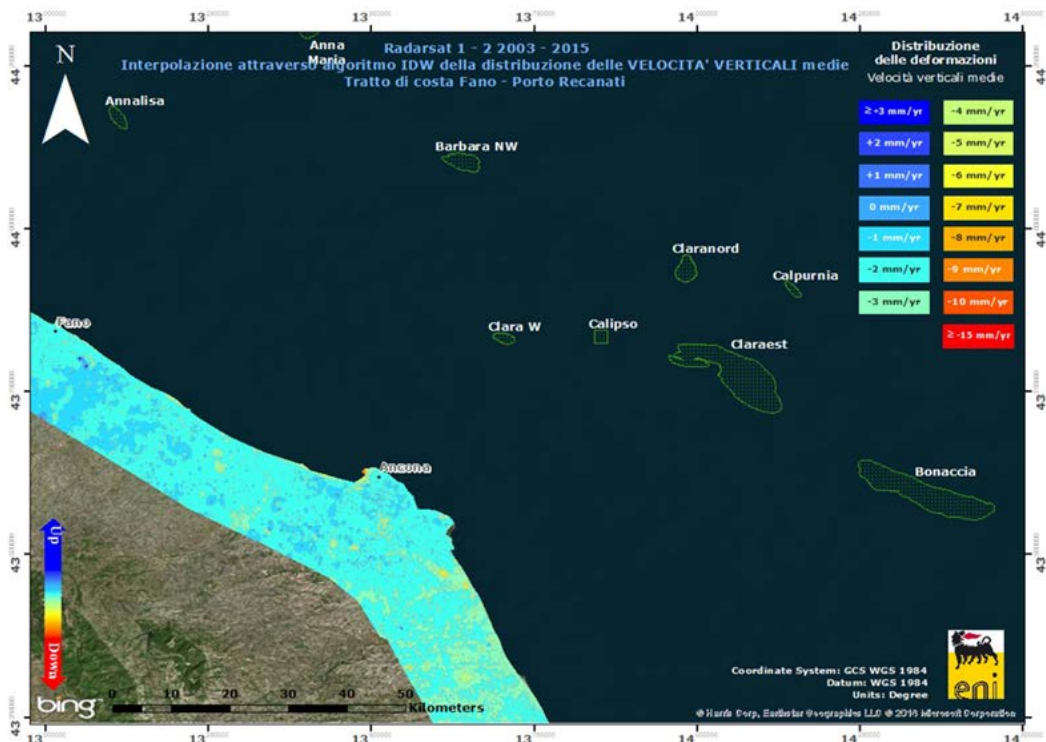


Fig. 4A - Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

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.

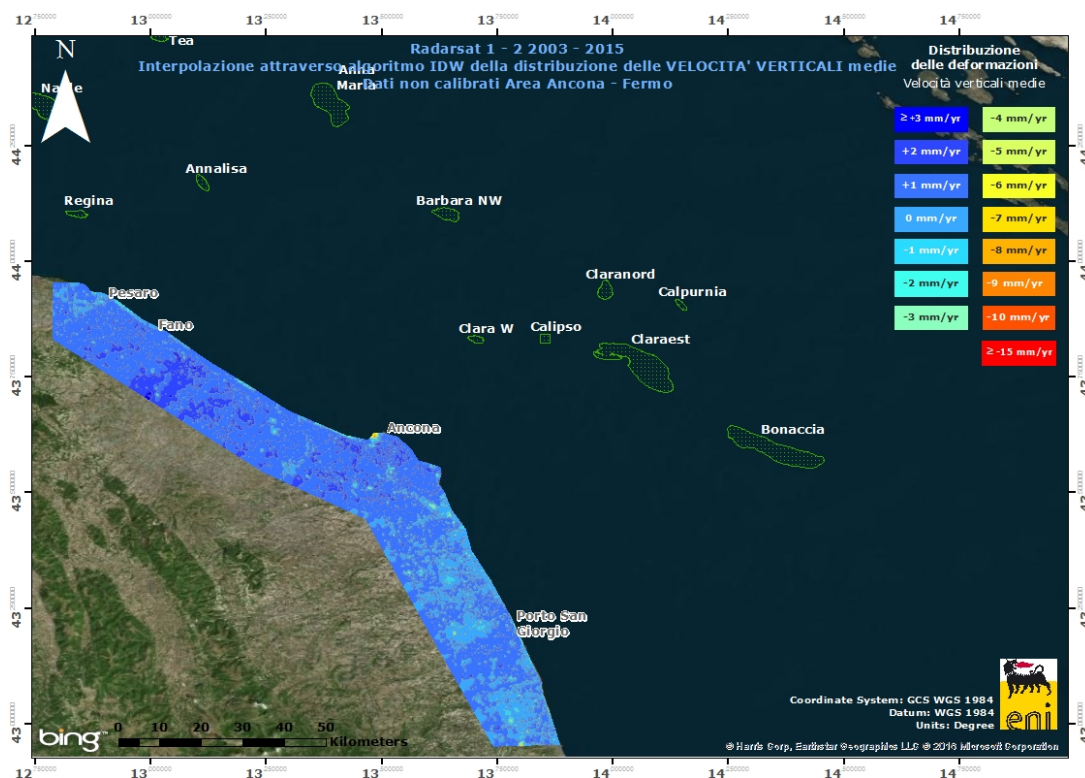


Fig. 5A- Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 non calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015



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.

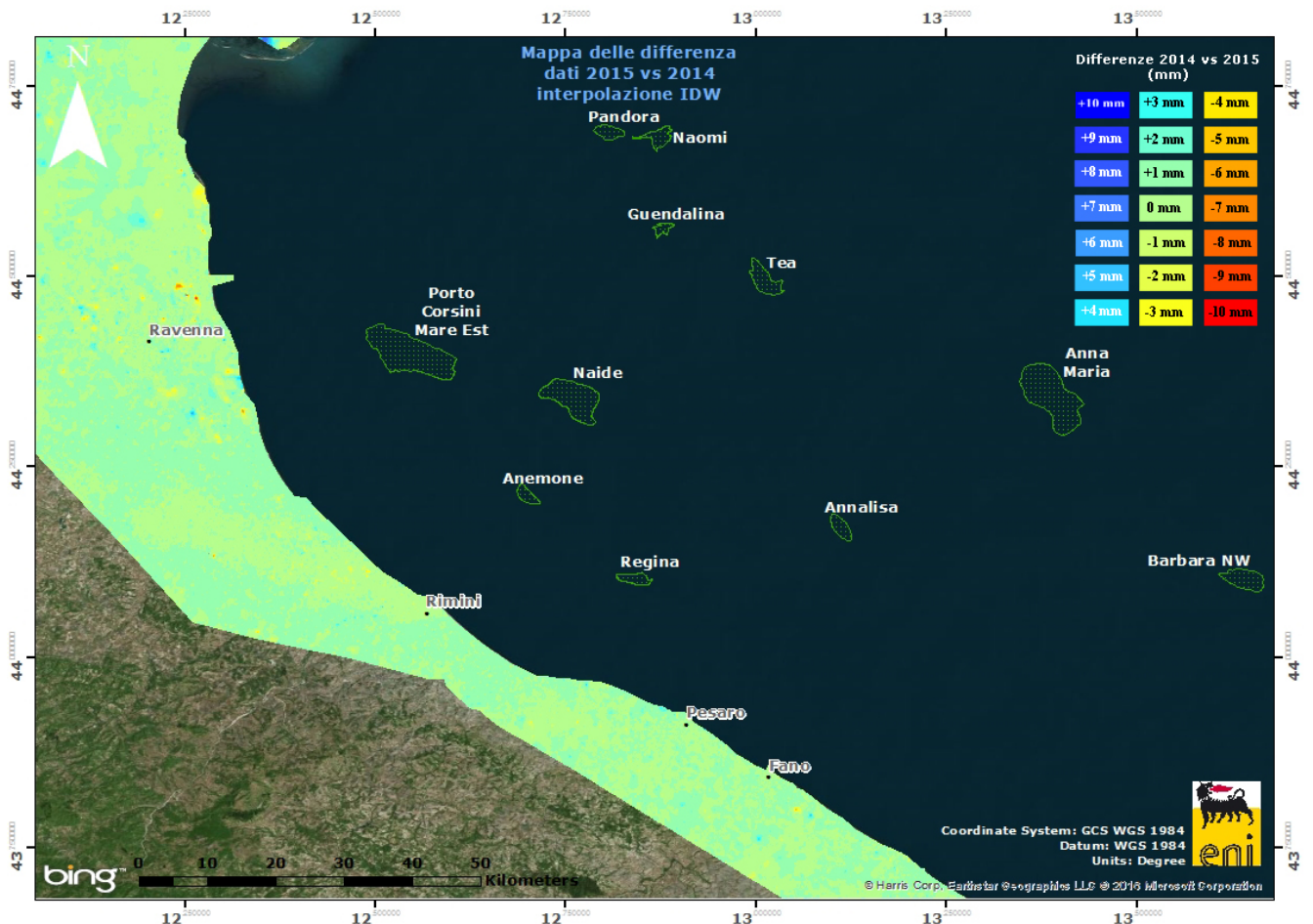


Fig. 6A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.

Tratto di costa da Comacchio a Fano

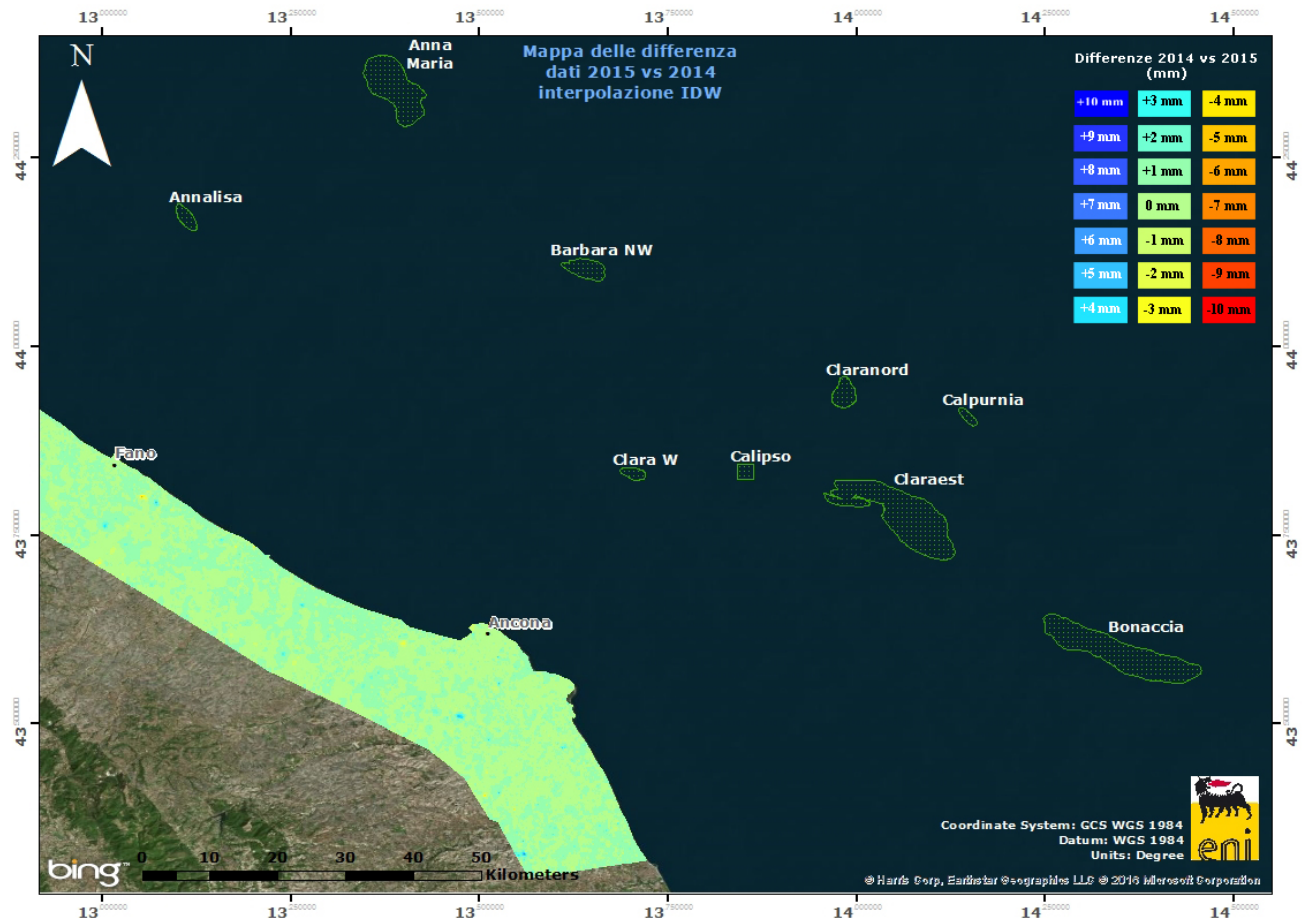


Fig Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.

Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

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

Il monitoraggio della compattazione superficiale, lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Comacchio e Cervia, è effettuato tramite 3 stazioni EPSU (Extensometric Piezometric Survey Unit) denominate: Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 1994 e il 1997, è riportata in figura 1B.

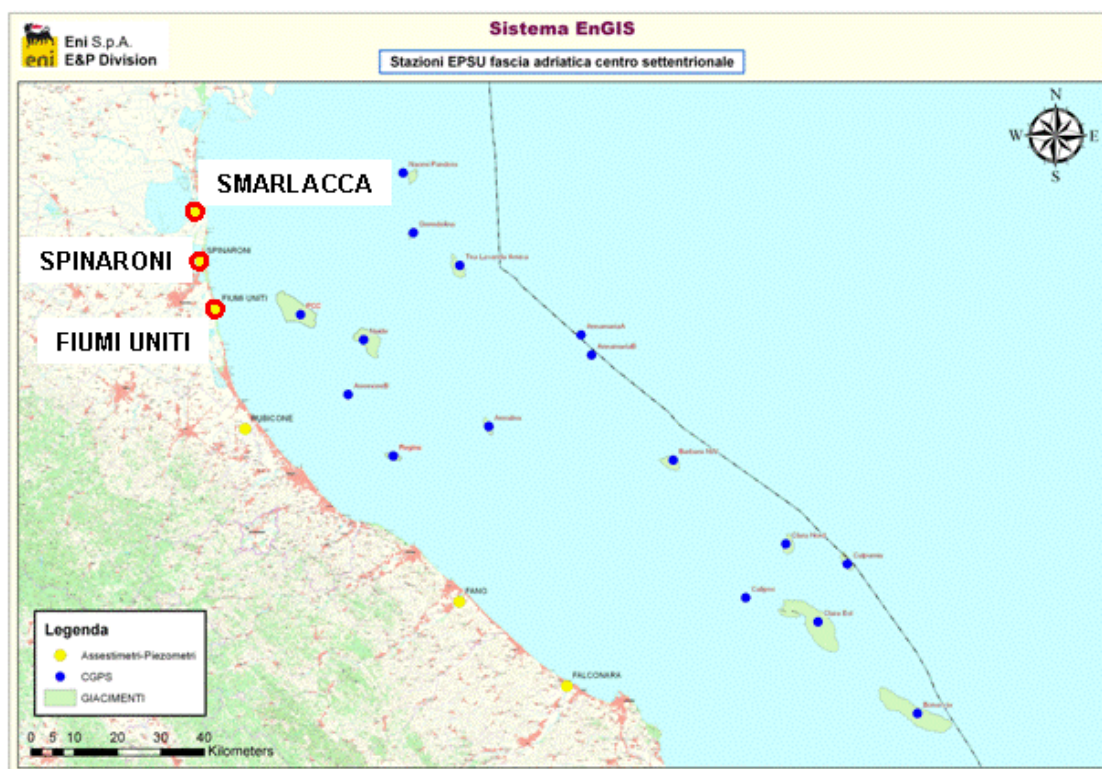


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

In generale una stazione EPSU è costituita da un assestimetro, associato a uno o più piezometri, con il corredo di strumentazione meteorologica per la misura della temperatura e della pressione atmosferica (termometri sia in foro che in superficie e un barometro in modo da compensare le misure assestimetriche per le variazioni della temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

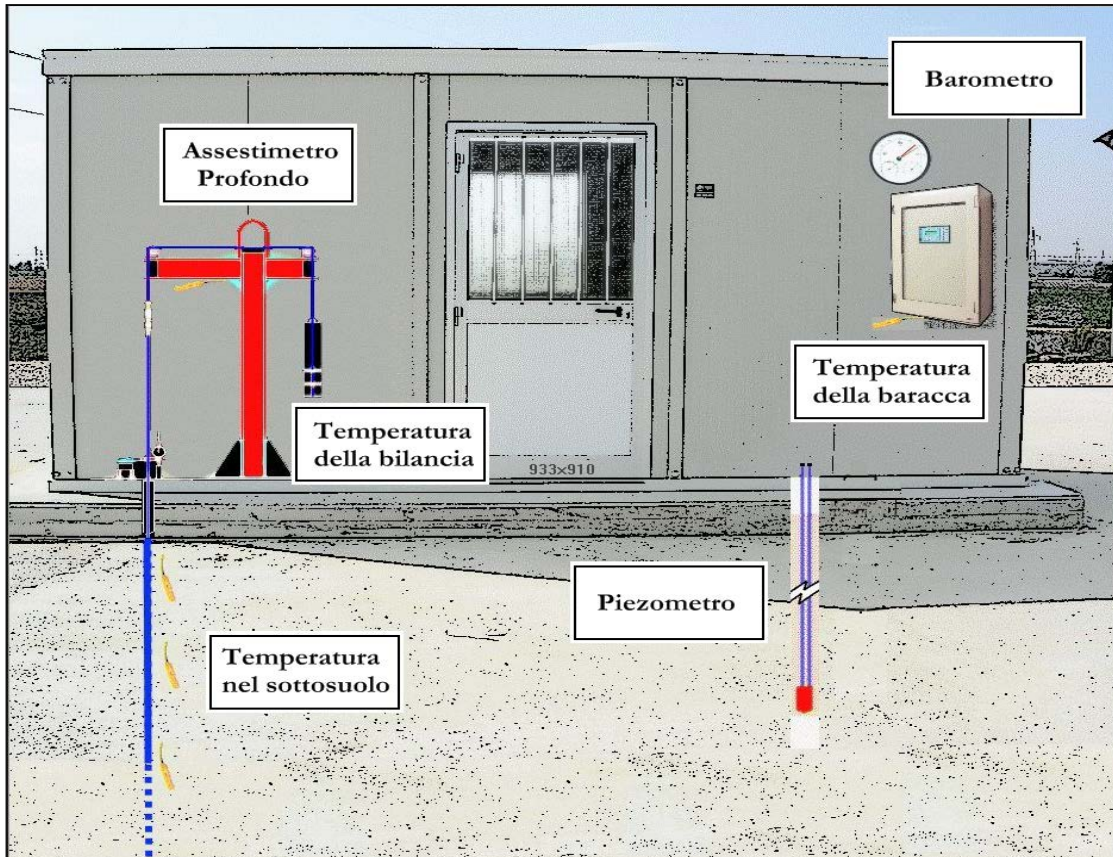


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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

Località'	Pozzo	Strumentazione	Profondità' (da P.C.)	Data d'installazione
Smarlacca		Assestimetro profondo	334 m	Nov.1997
		Assestimetro superficiale	30 m	Nov.1997
		Piezometro profondo	150,8 m	Nov.1997
Spinaroni		Assestimetro profondo	336 m	Nov.1997
		Piezometro profondo	150,8 m	Nov.1997
Fiumi Uniti		Assestimetro profondo	372,85 m	Set. 1994
		Assestimetro superficiale	224,2 m	Set. 1994
		Piezometro profondo	360 m (disattivato)	Set. 1994
		Piezometro intermedio	243 m (disattivato)	Set. 1994
		Piezometro superficiale	148 m (disattivato)	Set. 1994
	PS-1	Piezometro tubo aperto	10,5 m	Dic. 2011
	PS-2	Piezometro tubo aperto	30,5 m	Dic. 2011
	PP-1	Piezometro tubo aperto	373,5 m	Dic. 2011
	PP-2	Piezometro tubo aperto	257 m	Dic. 2011
	PP-3	Piezometro tubo aperto	163 m	Dic. 2011



Per ciascuna stazione EPSU si allegano:

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'assestimetro); al contrario i valori negativi costituiscono la componente dell'espansione (aumento dello spessore dello strato di sottosuolo attraversato dall'assestimetro).*

Stazione EPSU di Smarlacca (installata novembre 1997)

Strumentazione

- assestimetro profondo - quota bottom 334,1 m da p.c.
- assestimetro superficiale – quota bottom 29,5 m da p.c.
- piezometro- quota cella 150,8 m da p.c.

Questa stazione di misura è composta di una doppia verticale assestimetrica: un assestimetro profondo (334,15 metri d'asta di misura) e un assestimetro superficiale (29,5 metri d'asta di misura). L'installazione è stata fatta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 ottobre 1997; il sistema è stato completato nel mese di novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori di misura ("misura di zero").

All'interno del foro assestimetrico è stato installato un piezometro Casagrande con la cella porosa posta alla profondità di 150,80 m da p.c.

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Nel periodo settembre 2003 – ottobre 2003 si sono persi dei dati per un guasto all'apparecchiatura di misura.

A fine agosto del 2008 si è spurgato il piezometro che dopo l'intervento è stato ritenuto funzionante. Nell'ottobre del 2012, perdurando le registrazioni di valori anomali nei due tubi della cella Casagrande, si è fatto un nuovo intervento di pulizia al termine del quale lo strumento è stato giudicato non più in grado di fornire misure attendibili e, pertanto, non più funzionante. Sono in corso le attività per il suo ripristino.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 334,15 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna (p.c.); quello più superficiale a sua volta misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 29,5 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un con-

fronto. 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 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel periodo luglio - settembre 2003, si osserva nell'andamento del grafico dell'assestometro profondo un salto (corrispondente a una compattazione) di 2,7 mm in corrispondenza di un periodo di 72 giorni; tale evento compare, anche se in misura minore, nel grafico dell'assestometro superficiale. Anche se per tale periodo mancano i dati registrati per un guasto al sistema d'acquisizione, tale salto è confermato anche dalle misure effettuate con il comparatore meccanico durante i sopralluoghi per le manutenzioni ordinarie. Si tratta di un comportamento anomalo se rapportato con gli andamenti precedenti e successivi a detto periodo di osservazione. Il grafico storico mostra, infatti, una compattazione a velocità più o meno costante in tutti i periodi dell'anno, tranne che nel luglio-settembre 2003 in cui il fenomeno ha avuto un'accelerazione (l'estate del 2003 è stata caratterizzata da temperature atmosferiche molto elevate e assenza di precipitazioni piovose, condizioni che potrebbero aver favorito una compattazione superficiale maggiore).

Dopo questo periodo gli assestimetri sono tornati a registrare il solito trend a velocità costante.

Per quanto riguarda i termometri installati lungo la verticale assestimetrica, si segnala un guasto al sensore posto a quota -4 metri la cui misura si interrompe da marzo 2013.

Le misure registrate da entrambi gli assestimetri (superficiale e profondo) mostrano lo stesso trend di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti. Per entrambe le strumentazioni la velocità media di compattazione è, quindi, abbastanza simile, essendo risultata rispettivamente di ca. 0,3 mm/a (foro superficiale) e 1,1 mm/a (foro profondo). In prossimità della stazione assestimetrica è stato installato 4 anni più tardi anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare in quella zona una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a circa -6,5 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (GPS e assestimetrica), che si riferiscono



però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 334 m).

Si è fatto, inoltre, un confronto fra le misure assestimetriche (per comodità si sono riportate solo quelle registrate dalla strumentazione più profonda) e quelle GPS. Il grafico allegato mostra una buona correlazione tra entrambe le curve, che riflettono bene gli eventi stagionali.

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

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.

I dati piezometrici sono stati depurati dalla variazione barometrica dato che si è utilizzato un trasduttore assoluto per ragioni di maggiore affidabilità. La correzione è stata fatta misurando contemporaneamente quota piezometrica e pressione barometrica.

Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza.

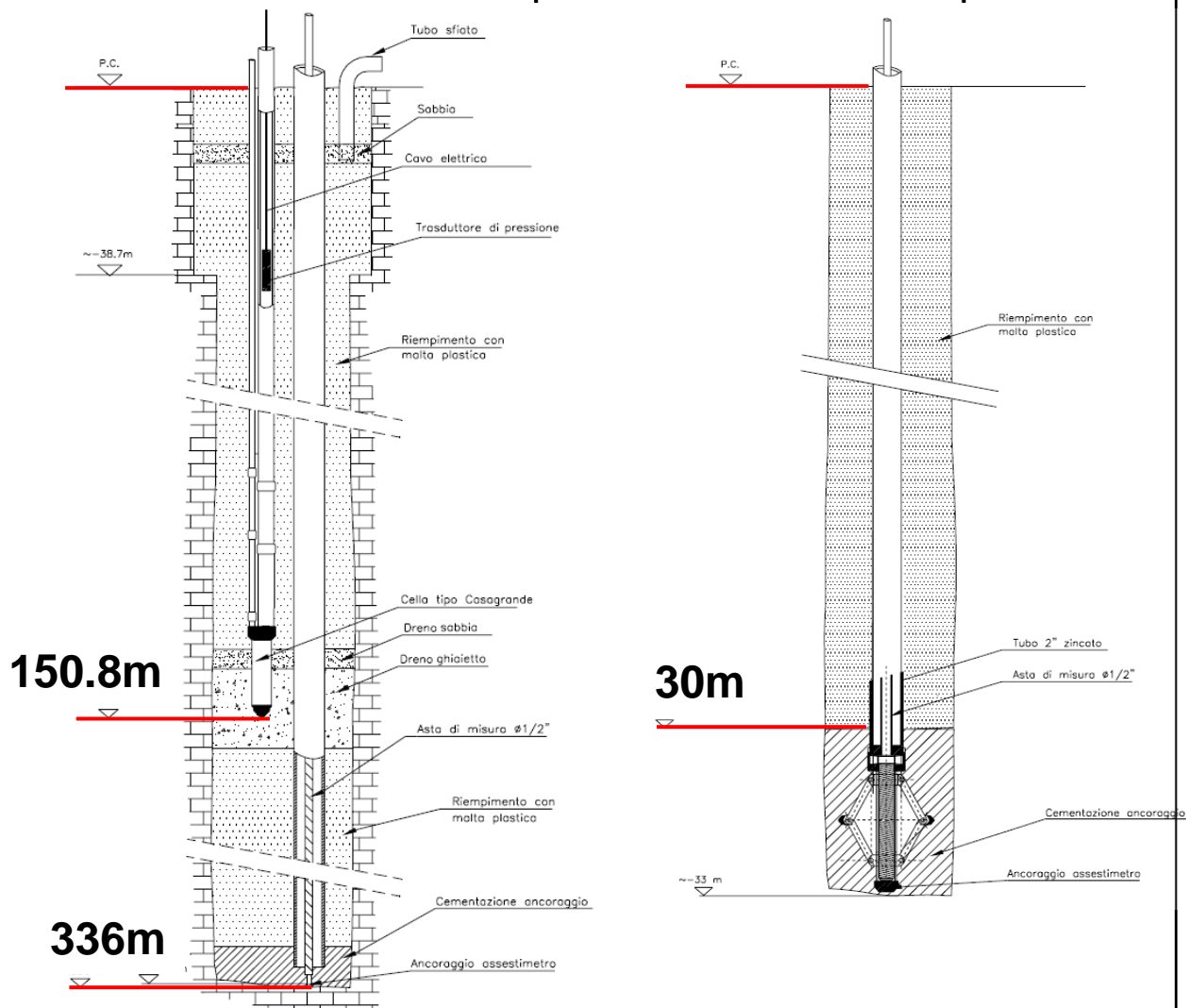


SMARLACCA

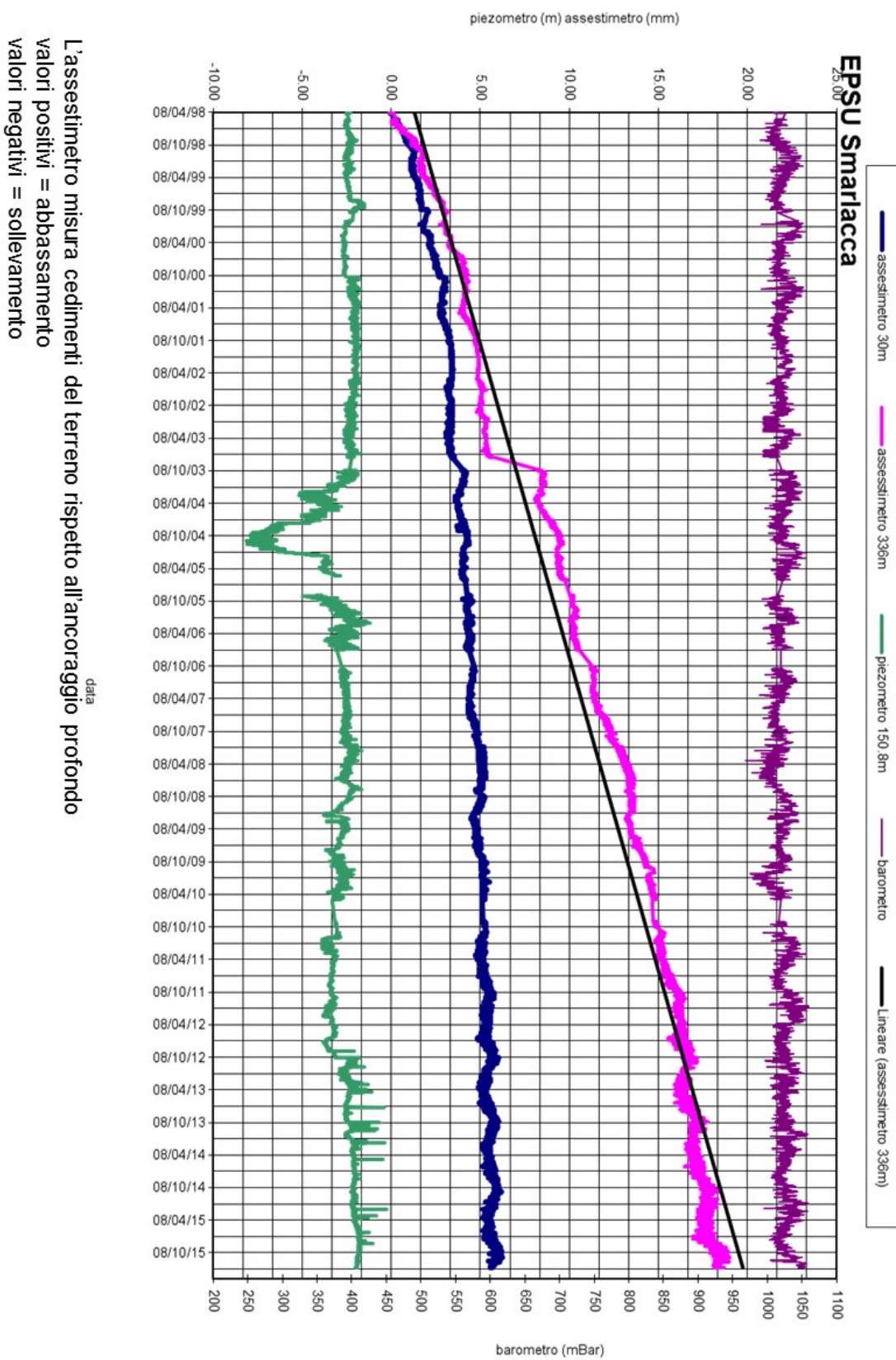
Piezometro

Assestimetro profondo

Assestimetro superficiale

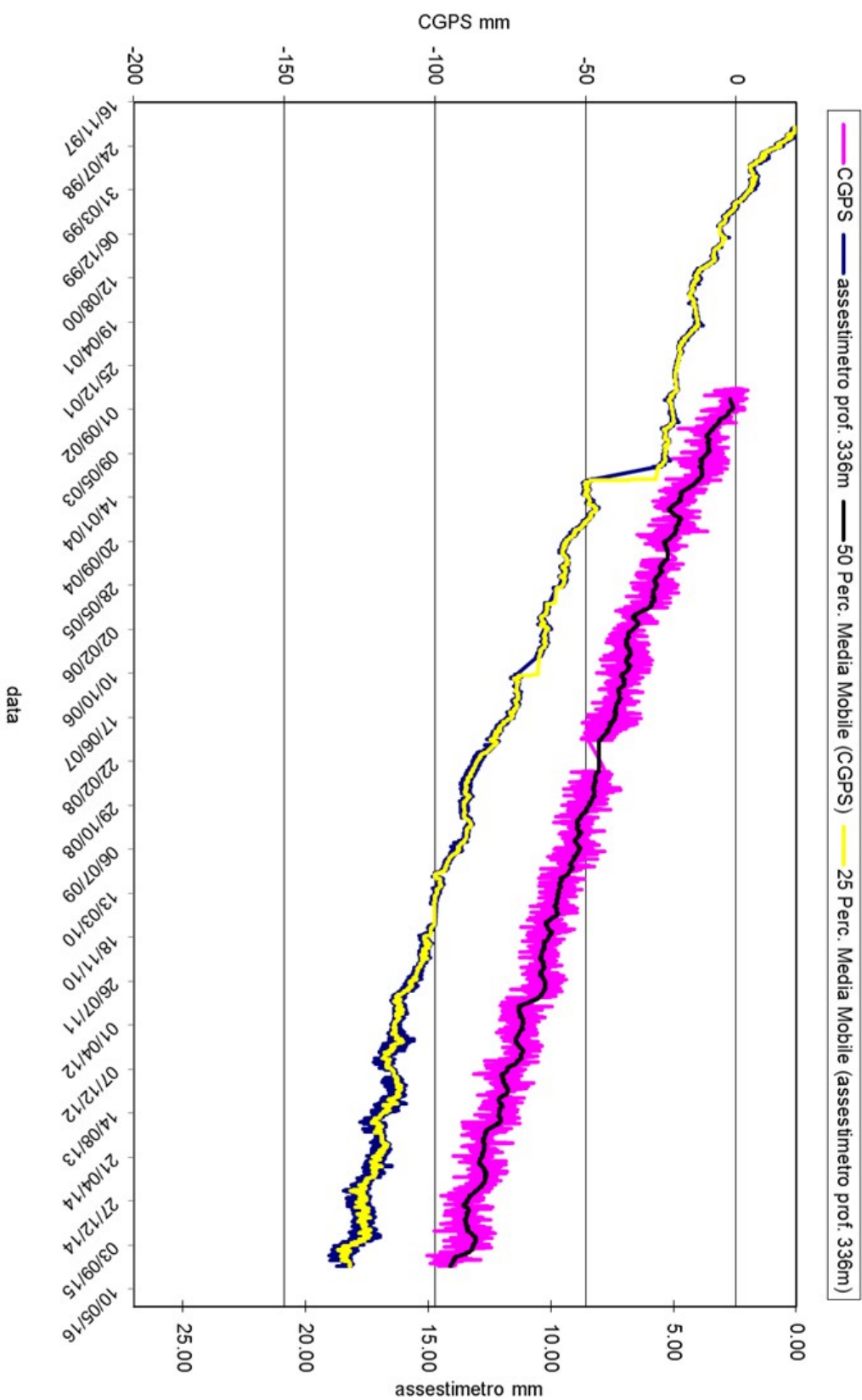


non in scala





SMARLACCA - Confronto GPS ed assettimetro 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 assettimetrica 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 Spinaroni - (installata novembre 1997)

Strumentazione

- assestimetro - quota bottom 336 m da p.c.
piezometro a cella singola - quota cella 150,8 m da p.c.

L'installazione della verticale assestimetrica è stata fatta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 settembre 1997; il sistema di misura è stato poi completato nel novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori ("misura di zero").

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di registrazione di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore.

Di questa stazione si sono persi alcuni mesi di dati (da settembre 2001 ad aprile 2002) a causa del furto del pannello solare installato per l'alimentazione del sistema. Il ripristino è stato fatto nel mese di aprile 2002.

Nel periodo gennaio 2003 – marzo 2003 si è avuto un black-out per un guasto all'apparecchiatura d'acquisizione dati. Nell'agosto 2007 si è di nuovo verificato il furto del pannello solare con la conseguente perdita delle misure nel periodo 14 agosto - 5 ottobre 2007.

A fine agosto 2008 si è spurgato il piezometro e al 30 settembre ne è stato fatto un controllo con sonda televisiva. A seguito di tale controllo lo strumento è stato considerato non affidabile per una probabile rottura del tubo di diametro più piccolo ($\varnothing 1/2"$).

Gli interventi sul piezometro hanno causato la perdita di 14 giorni di misure assestimetriche (dal 30 settembre al 14 ottobre 2008). Il giorno 14 ottobre si è ritarato il trasduttore di spostamento, posizionandolo a +1.8 mm rispetto alla misura del 30 settembre. Di questo riposizionamento si è tenuto conto nell'elaborazione dei dati.

A fine 2014 e nel periodo marzo - maggio 2015 si sono verificate diverse mancate registrazioni di dati per guasti dell'unità d'acquisizione, che è stata definitivamente sostituita nel maggio 2015. Si è, però, accertato che questa perdita di dati non ha influenza sulla significatività della serie storica registrata.



Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 336 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. 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 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

In data 28 luglio 2004 è stata ripresa di 25,0 mm la corsa del trasduttore di spostamento, poiché il sensore era troppo vicino al fondo scala. Nell'elaborazione delle misure è stato tenuto conto di tale variazione aggiungendo un offset della stessa entità alle misure. Come già detto, analogo intervento è stato poi fatto in data 14 ottobre 2008.

Nel grafico allegato si nota un comportamento alquanto anomalo dello strumento se rapportato alla sua storia precedente che ha sempre avuto un trend in crescita. Nell'ottobre 2003 l'assestimetro ha, infatti, registrato un repentino sollevamento del piano campagna rispetto al punto profondo (4 mm in 5 giorni), in concomitanza con un abbassamento della falda di circa 40 – 50 cm. Dopo tale periodo (ca. fine ottobre 2003) è ripresa la compattazione del terreno, anche se con un trend più veloce di quello del periodo precedente l'anomalia sopracitata. Dopo la metà 2004 il trend di compattazione è tornato ad avere lo stesso andamento registrato nel periodo antecedente al 10/2003. Non sono state chiarite le ragioni di tale anomalia.

Per questa stazione si hanno a disposizione poco più di 18 anni di osservazioni. In questi anni si è registrata una compattazione totale di 48,9 mm corrispondente a una velocità media annua di 2,7 mm/a, che mantiene, dopo il primo anno di assestamento, un andamento abbastanza regolare nel tempo a (parte l'anomalia sopra segnalata). Nella stazione EPSU è stato installato nel 2002 anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a circa -7,6 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (GPS e assestimetrica), che si riferiscono



però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 336 m).

La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica GPS e assestimetrica) non è molto elevata come mostrato nel grafico allegato; le misure GPS presentano un andamento più regolare con una dinamica legata alla stagionalità. Nel periodo tra inizio ottobre 2003 sino a oltre la metà del 2004, la curva GPS mostra, però, oscillazioni molto simili a quelle registrate dell'assestometro nello stesso periodo, avvalorando l'ipotesi che possano essere reali e non "artefatti strumentali" i movimenti "anomali" cui si è detto in precedenza.

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

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

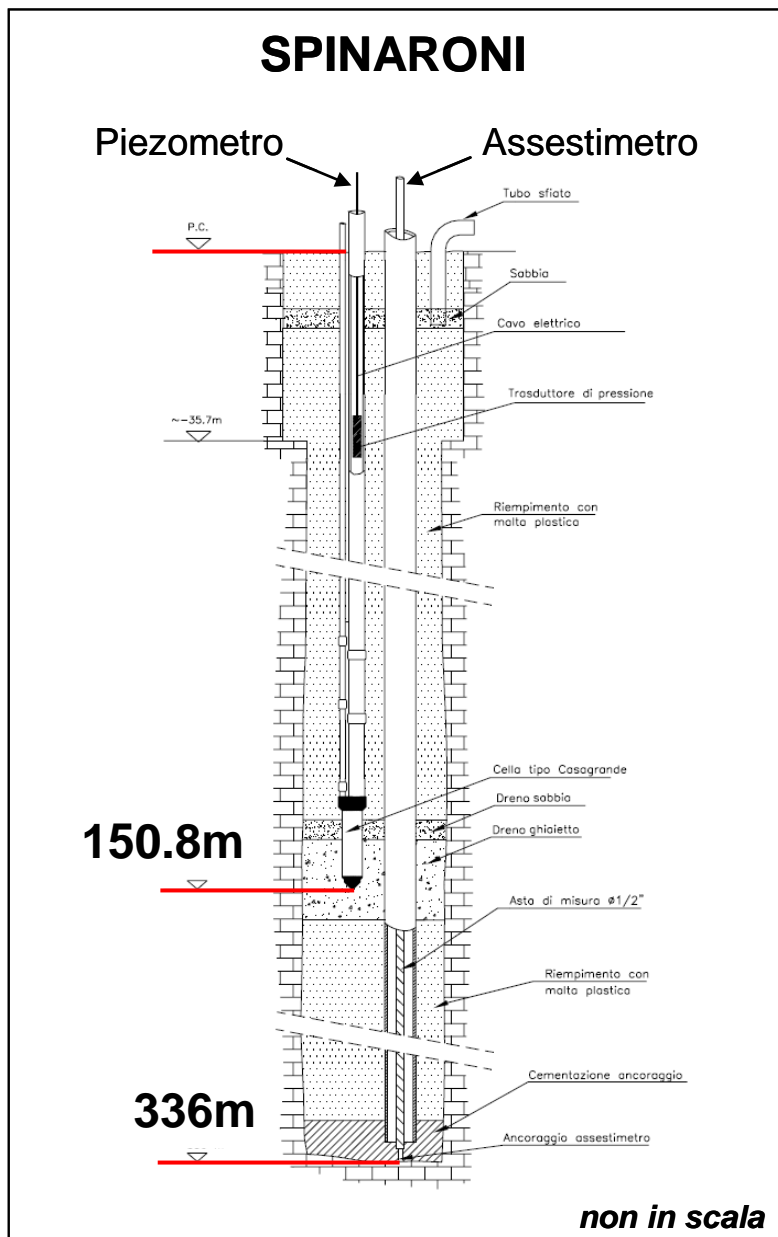
Analisi dei dati piezometrici

Il grafico con la curva piezometrica riporta, in ordinata a sinistra, la quota piezometrica riferita alla profondità di posa della cella Casagrande. I dati piezometrici diagrammati sono già depurati dalla variazione barometrica.

Dall'inizio di dicembre 2005 il sensore di pressione ha iniziato a fornire valori anomali per cui si è deciso d'eseguire misure dirette del livello della falda. A tale scopo si è impiegato un freatometro con il quale si è accertato che la quota raggiunta dall'acqua all'interno del tubo piezometrico era pari a -5,22 m dal piano campagna.

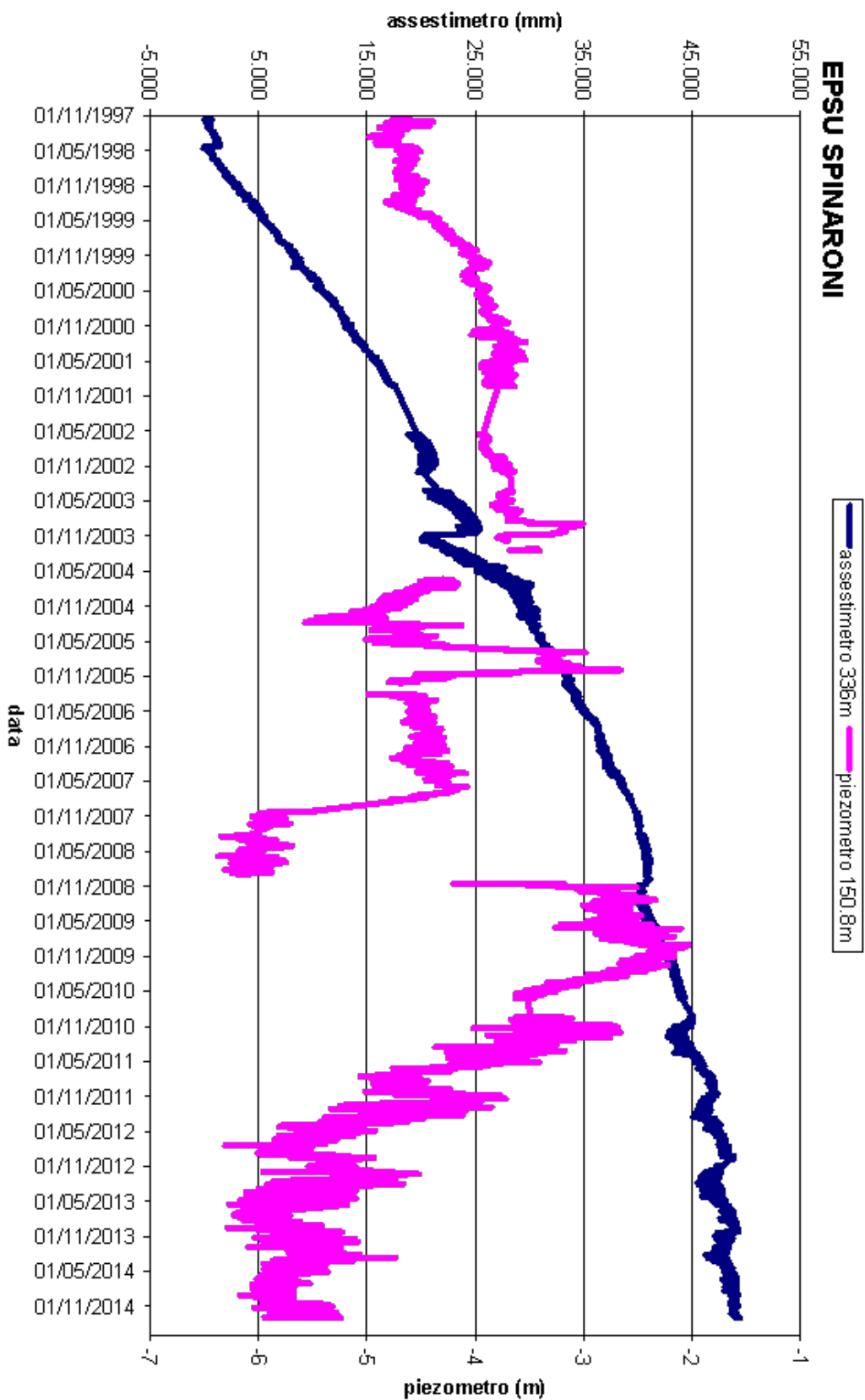
In data 31 gennaio 2006 è stato sostituito definitivamente il trasduttore di pressione nel tubo piezometrico, ponendolo alla profondità di 20 metri rispetto al piano della baracca.

A seguito di una verifica con attrezzatura di spurgo in data 26 agosto 2008, il piezometro è stato considerato non attendibile. Sono in corso le attività per il suo ripristino.



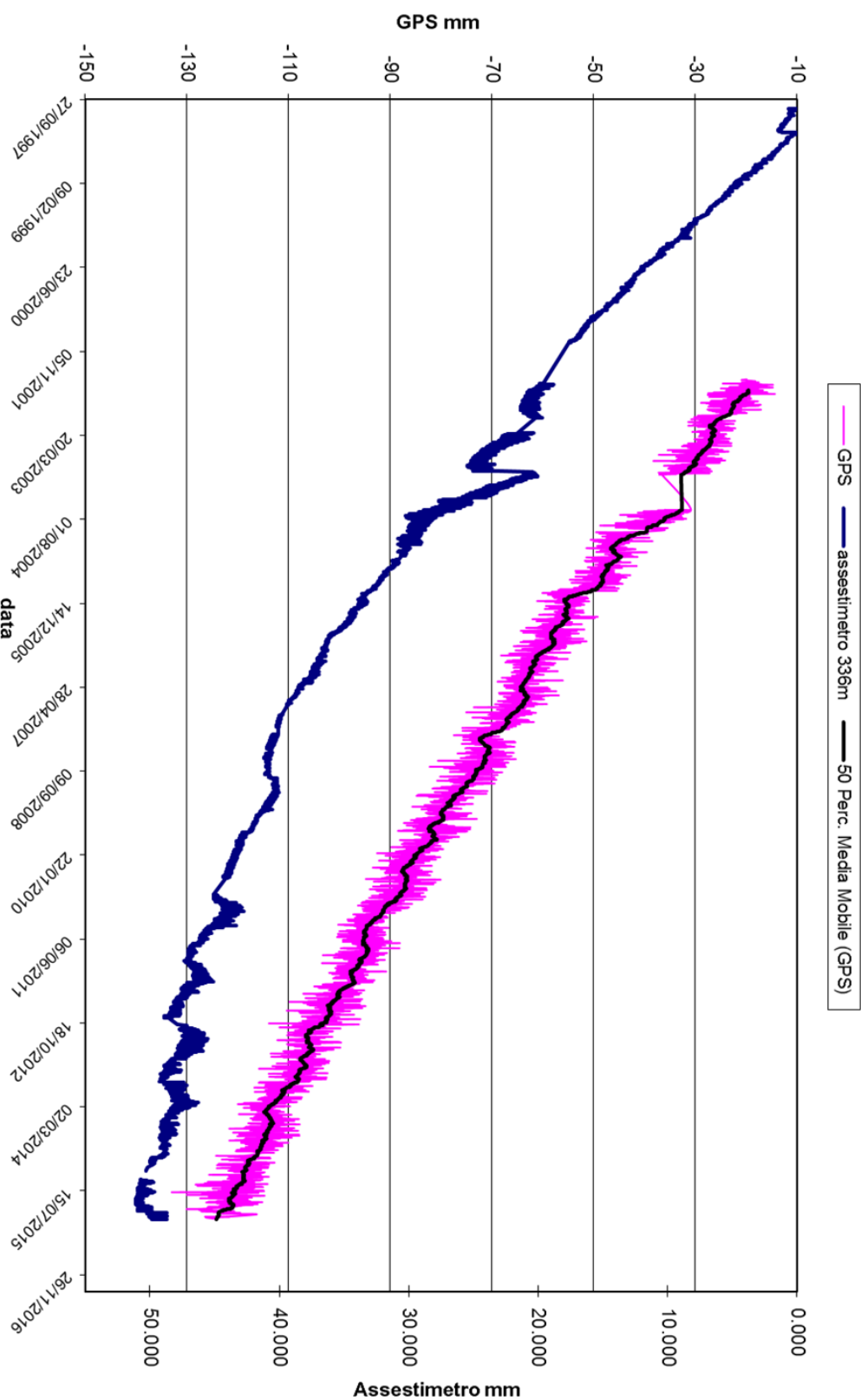


L'assestimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





SPINARONI - Confronto GPS ed assettimetro 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 assettimetrica 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 Fiumi Uniti (installata settembre 1994)

Strumentazione

- assestimetro profondo - quota bottom 372,85 m da p.c.
- assestimetro superficiale – quota bottom 224,2 m da p.c.
- Piezometro profondo a 360 m p.c. (disattivato da agosto/2011)
- Piezometro intermedio a 243 m p.c. (disattivato da agosto/2011)
- Piezometro superficiale a 148 m p.c.(disattivato da agosto/2011)

Nel dicembre 2011 presso l'area Fiumi Uniti sono stati aggiunti i seguenti nuovi piezometri:

Sigla	Profondità (da p.c.)	Tipo Piezometro	Tratto Filtrante
PS-1	10,50	Tubo aperto	da 6,40 a 9,50 m da p.c.
PS-2	30,50	Tubo aperto	da 25,40 a 29,50 m da p.c.
PP-1	373,50	Tubo aperto	da 361,00 a 365,00 m da p.c. da 366,50 a 372,50 m da p.c.
PP-2	257,00	Tubo aperto	da 241,00 a 245,00 m da p.c. da 250,00 a 256,00 m da p.c.
PP-3	163,00	Tubo aperto	da 141,10 a 153,20 m da p.c. da 156,00 a 162,00 m da p.c.

Questa stazione assestimetrica è stata completata nel settembre 1994.

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di registrazione di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore.

Nel luglio 2003 si è avuto il furto dei pannelli solari installati per l'alimentazione del sistema di misura, con conseguente perdita di 2 mesi di registrazioni (7 agosto 2003 - 2 ottobre 2003). Nel giugno 2004 è stata sostituita integralmente la baracca di protezione del sistema; in tale occasione è stato fatto l'allacciamento alla rete elettrica, eliminando, così, il ricorso ai pannelli solari.

Nel marzo 2008 sono stati spurgati i 3 piezometri. L'operazione ha consentito d'accertare che il piezometro superficiale e quello intermedio non erano di fatto funzionanti, poiché in comunicazione idraulica tra di loro e con i filtri intasati.

Molto dubbio era anche il funzionamento del piezometro profondo.

Nel periodo 9 agosto 2010 - 8 settembre 2010 si sono perse le misure per un guasto alle apparecchiature. Analogo problema si è verificato nell'ottobre 2010.

A seguito dei lavori di ripristino dei pozzetti piezometrici, a partire da metà dal luglio 2011 sono stati definitivamente sigillati i 3 vecchi tubi piezometrici. Nel dicembre 2011 sono entrati in funzione i tre nuovi pozzi piezometrici descritti nella precedente tabella.

Da circa fine giugno 2012 sino a fine febbraio 2013 il trasduttore di pressione del piezometro superficiale a 30 m non ha funzionato correttamente registrando valori non attendibili; detto sensore è stato poi correttamente ri-scalato dopo il ripristino dell'alimentazione elettrica a ottobre 2013.

Si segnala la mancanza di dati di questa stazione dal 28 febbraio 2013 al 17 ottobre 2013 per un guasto alle apparecchiature di alimentazione elettrica del sistema d'acquisizione.

Fino a dicembre 2015 la registrazione dei dati è stata poi regolare.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 372,85 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna; quello più superficiale a sua volta misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 224,2 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. 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 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

L'assenza delle misure nel periodo compreso fra settembre 1997 e aprile 1998 è da collegare al fatto che inizialmente non era ancora in funzione il sistema di teletrasmissione dei dati. Le misure sono state fatte con continuità a partire dall'8 aprile 1998.

In data 17/10/2006 è stata ripresa la corsa dei traduttori di spostamento, precisamente di 16,3 mm per l'assestimetro profondo e di 14,4 mm per quello più superficiale.

Nell'elaborazione dei dati si è tenuto in conto di queste variazioni, così da non rappresentare il "salto" nelle misure per effetto di un cambiamento di fondo scala e non di una reale variazione assestimetrica.

Per tutti circa i 21,3 anni di misure fatte, le due curve assestimetriche mostrano andamenti molto simili, con minimi scostamenti tra loro e con un trend costante di compattazione del terreno. Ciò sembrerebbe indicare una compattazione prevalentemente superficiale, che interessa grosso modo i primi 220 m di terreno. La velocità di compattazione è di circa $2,1 \div 2$ mm/a per entrambi gli assestimetri e per tutto l'intervallo di tempo considerato.

Presso la stazione EPSU è stato installato nel 2002 anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a -14,5 mm/a. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (GPS e assestimetrica), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 220 m).

L'esame delle curve GPS e assestimetrica profonda non rivela, poi, particolari tratti di somiglianza fra le stesse, come si può osservare nel grafico allegato.

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

- il confronto delle due curve, è stato fatto per lo stesso periodo di osservazione (2002-2015), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestimetro di circa 8 anni più lunga;
- 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).

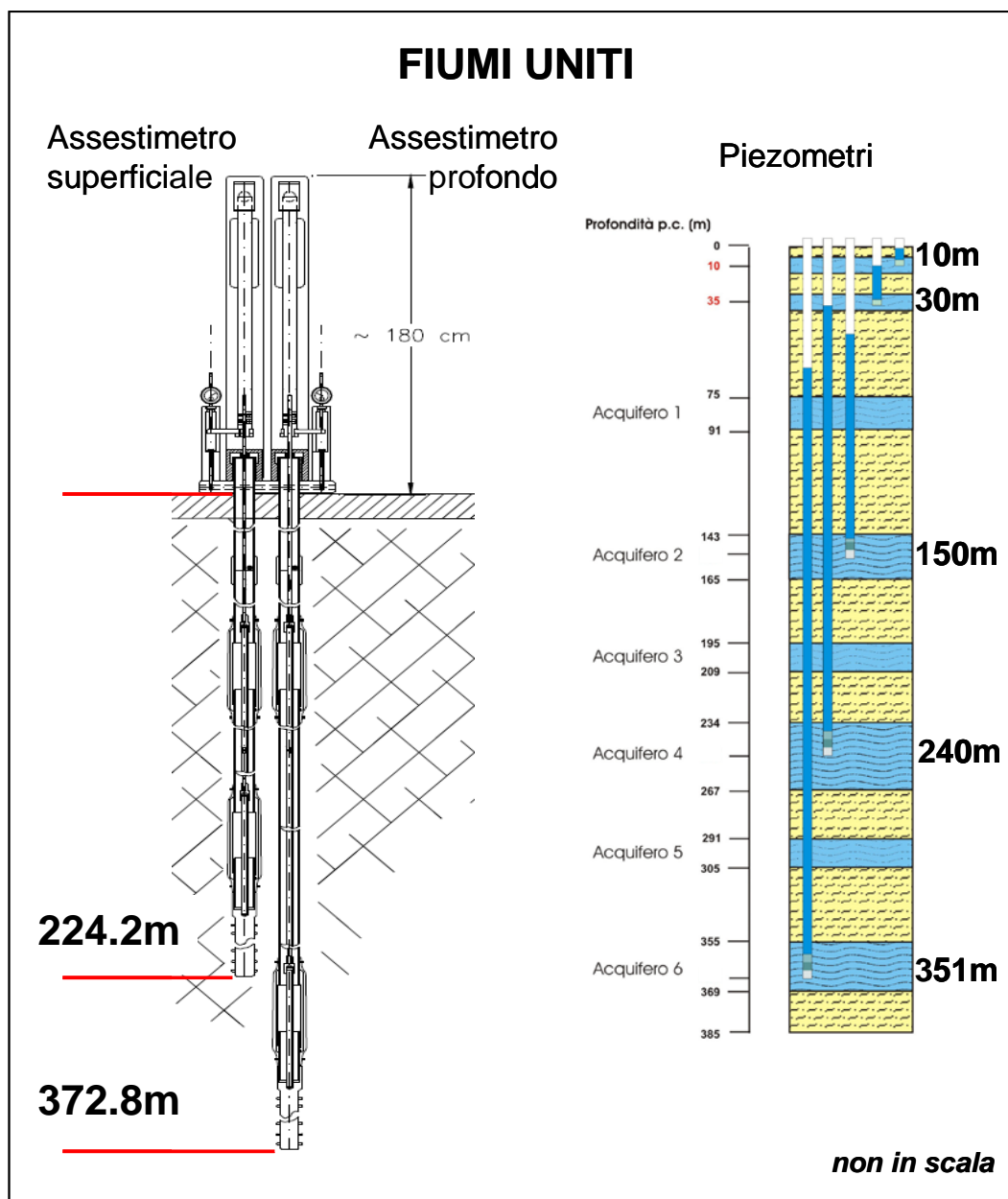
Analisi dei dati piezometrici

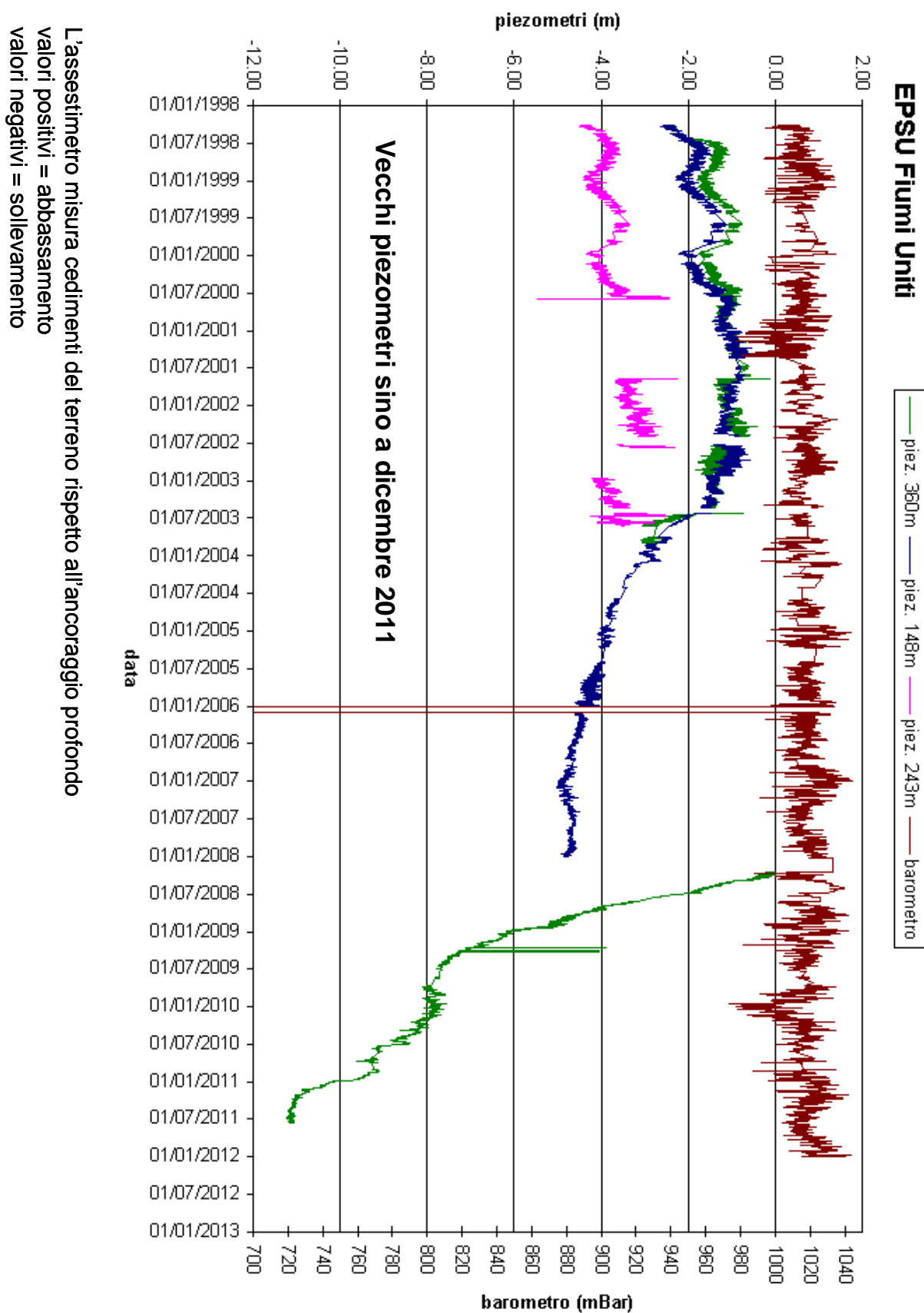
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre verticali piezometriche che, però, nel corso del tempo si sono guastate. Per un lungo periodo di tempo, quindi, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezome-



tro più profondo, ritenuto più attendibile.

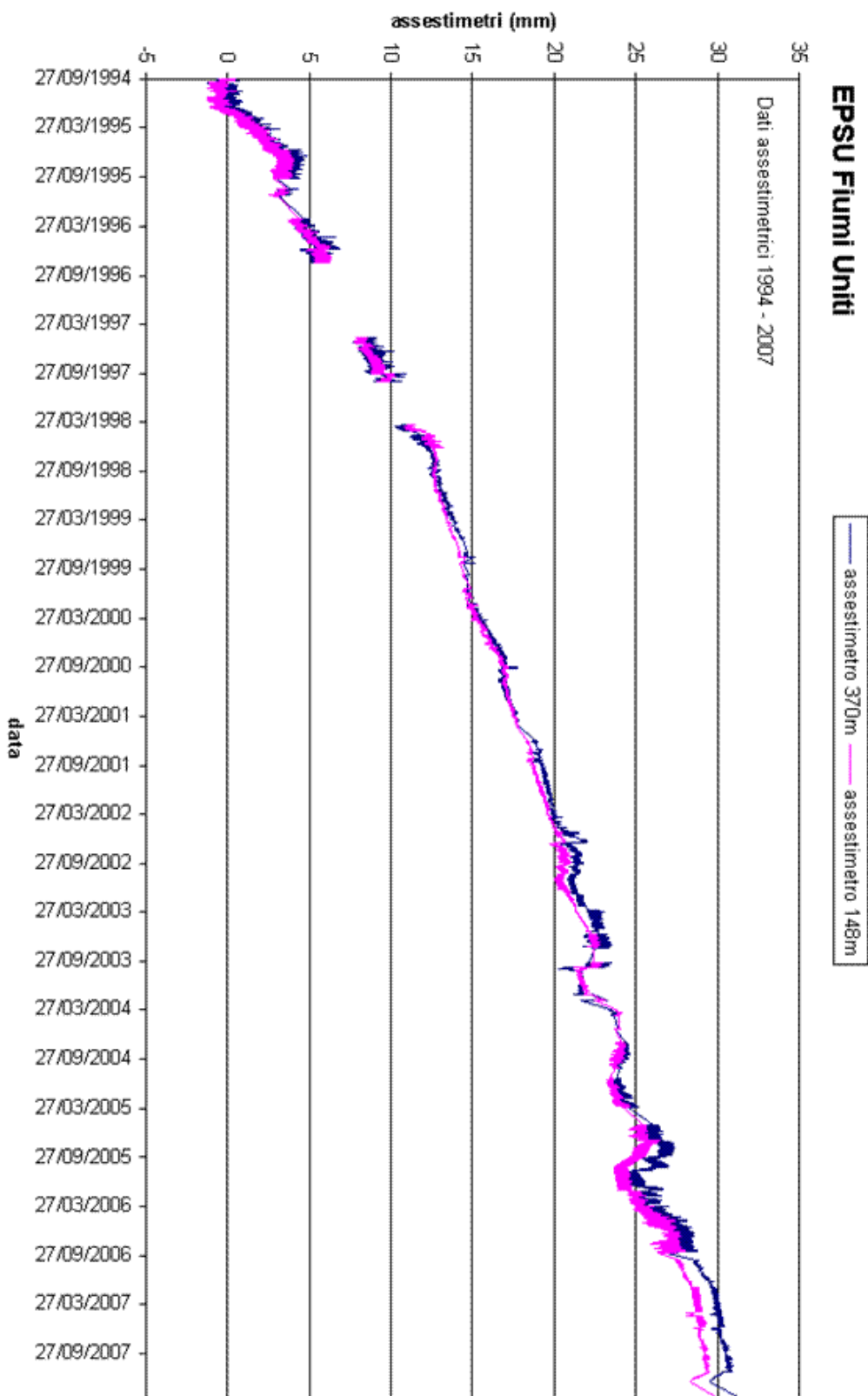
Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici.

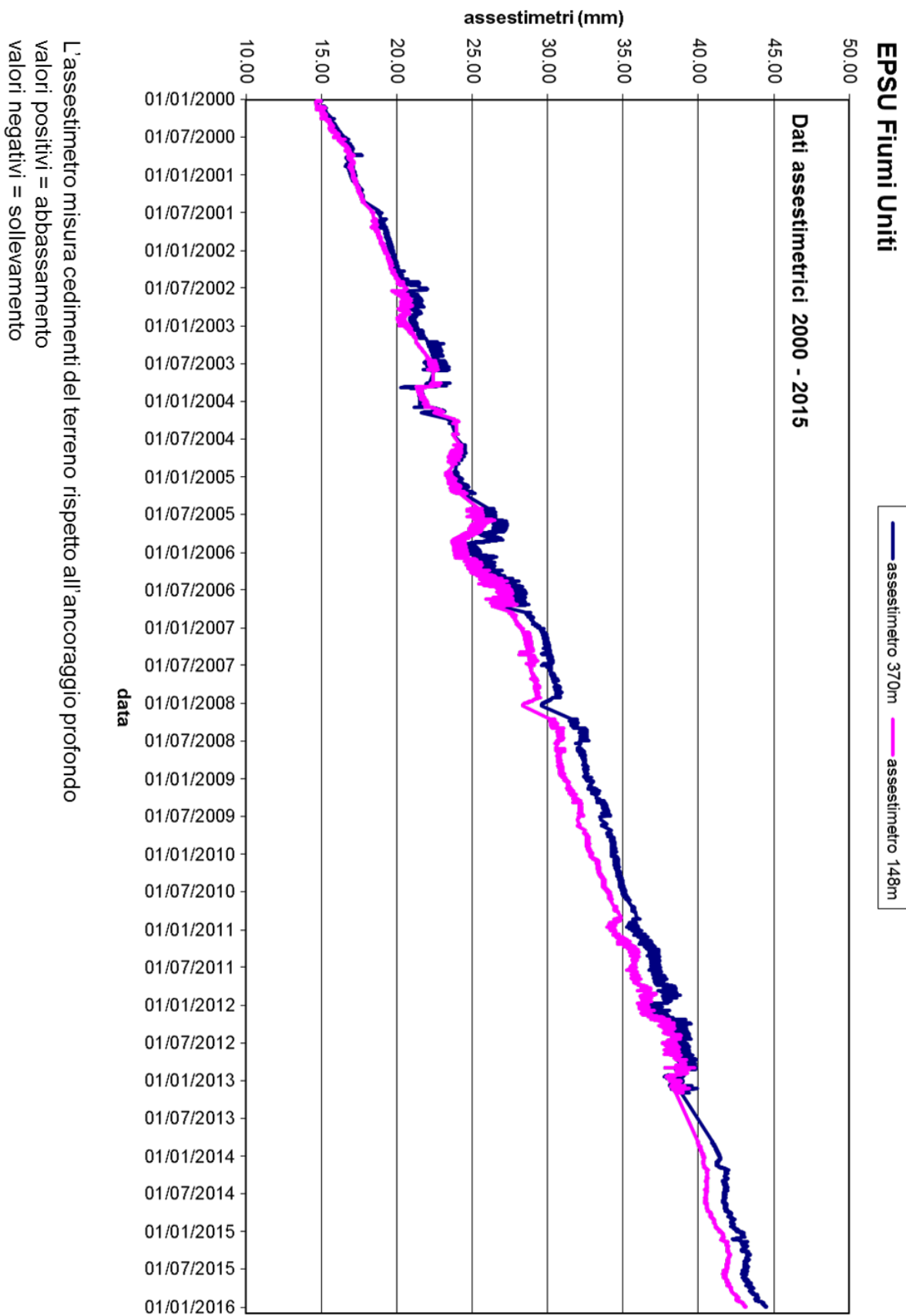


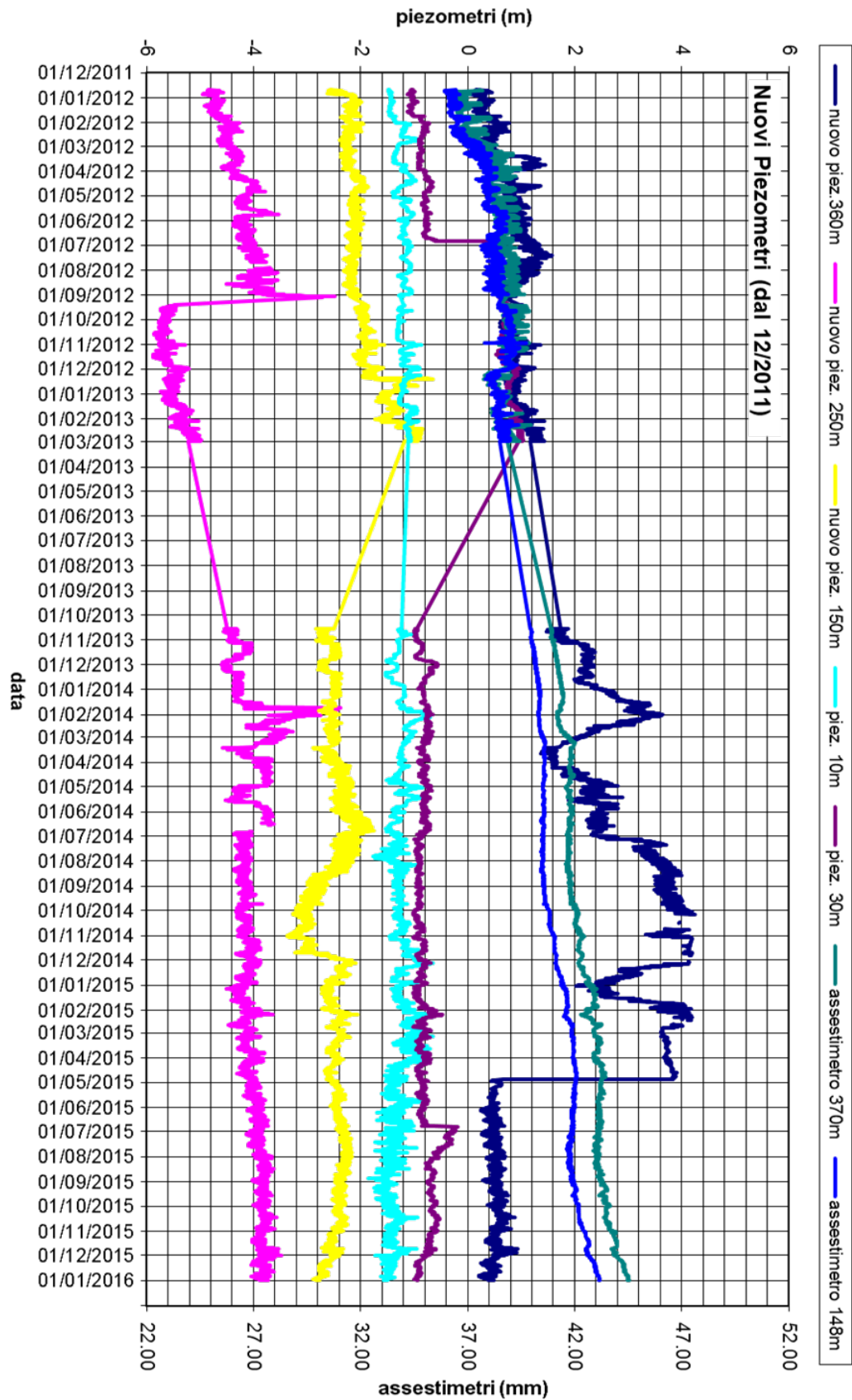


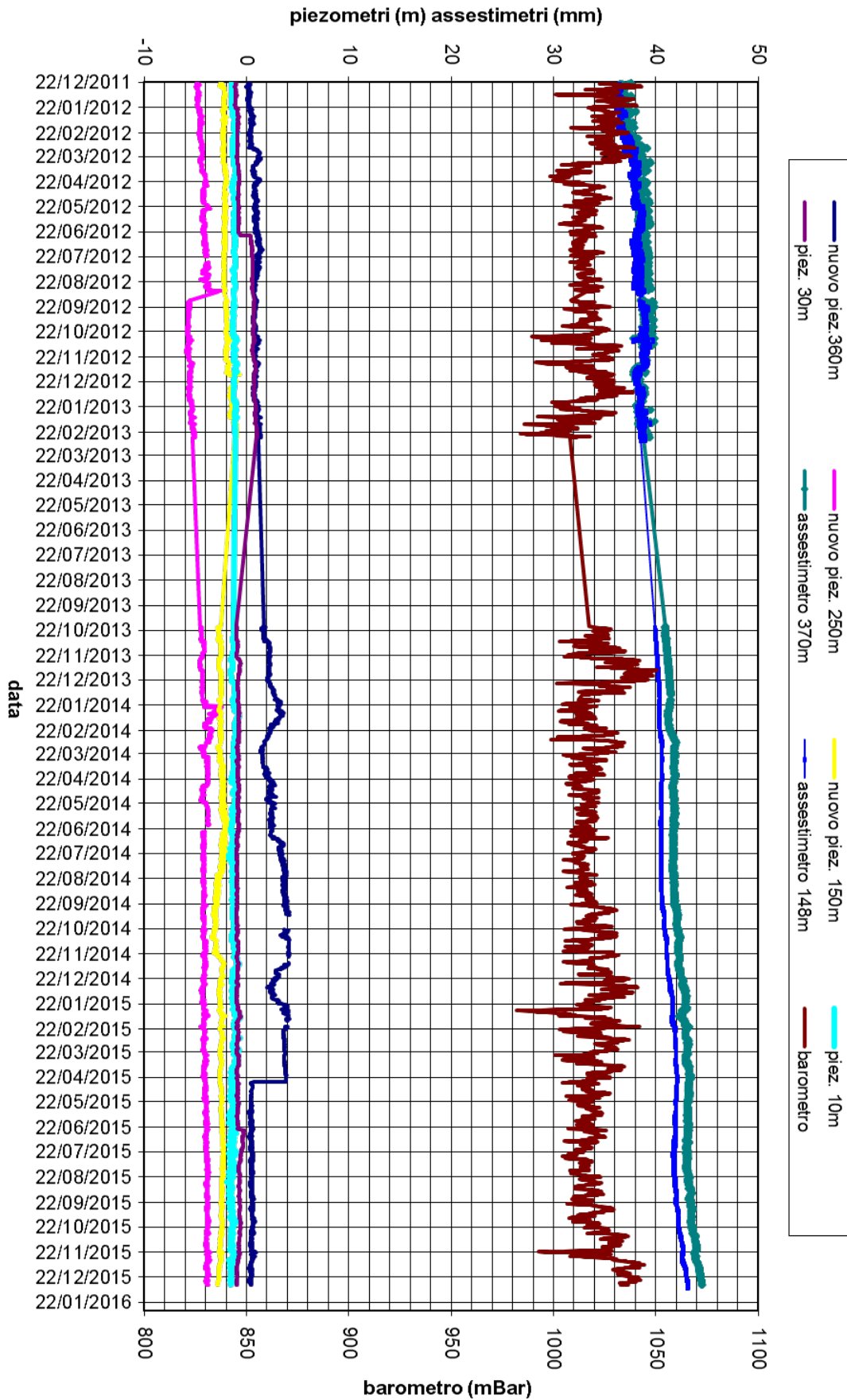


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento



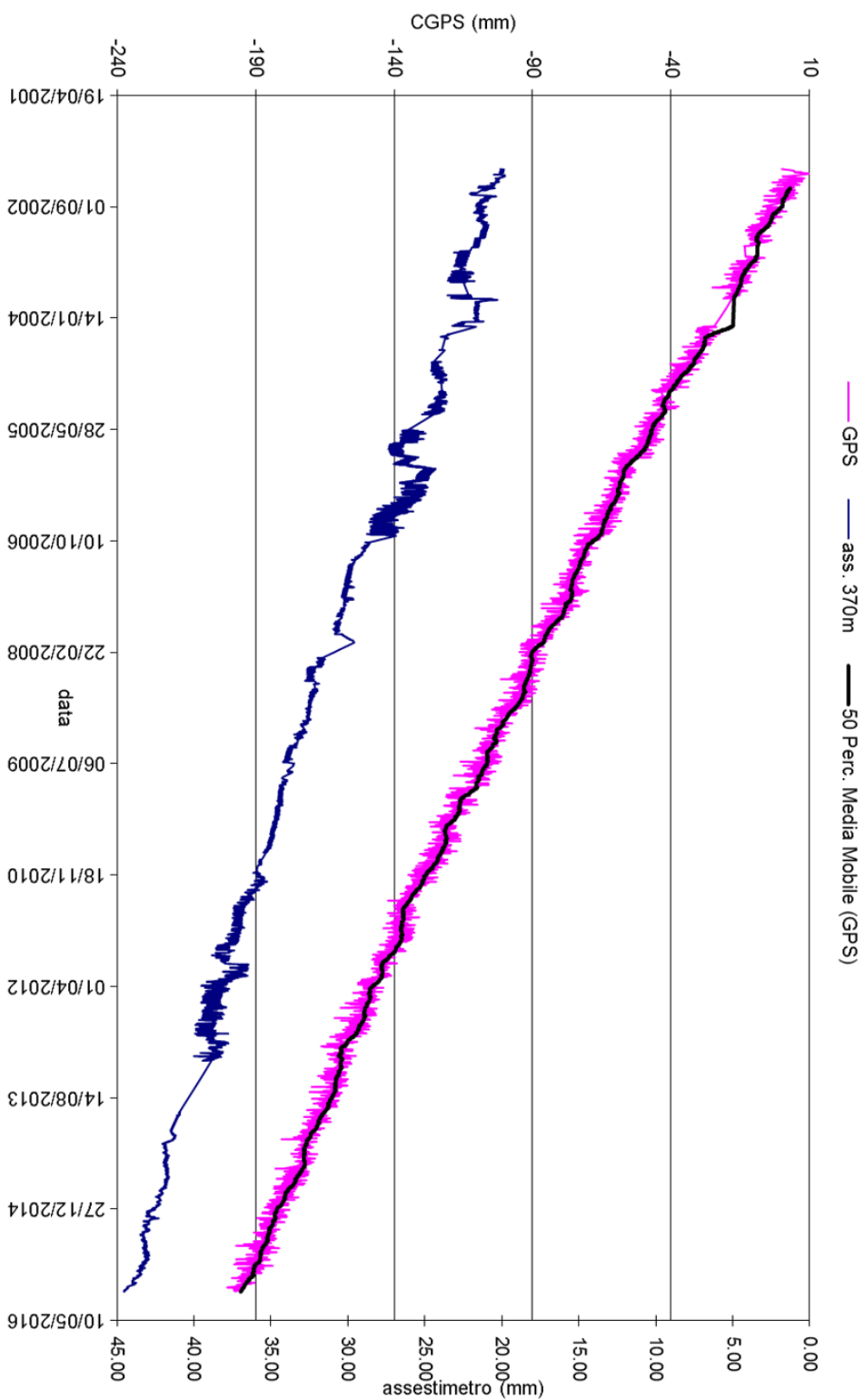








FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assestimetro profondo



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)



Conclusioni

In generale, i grafici allegati mostrano come per tutte e tre le stazioni EPSU si siano ottenuti dati di buona qualità, pur tenendo conto delle difficoltà operative incontrate in fase d'acquisizione. La sensibilità e la qualità dei sensori utilizzati, infatti, sono tali da consentire di valutare con buona precisione l'abbassamento del piano campagna rispetto al punto di ancoraggio degli strumenti (compattazione superficiale).

Anche se le misure assestometriche risentono delle escursioni - giornaliere e stagionali - di temperatura, tale fenomeno si attenua e praticamente scompare per lunghi periodi di osservazione, quali quelli disponibili per le 3 EPSU considerate.

Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di circa 17,7 anni, durante i quali l'assestometro più profondo ha registrato una compactazione regolare, anche se meno marcata rispetto a quanto misurato nelle stazioni di Spinaroni e di Fiumi Uniti. L'andamento delle misure è stato, infatti, più o meno costante nel tempo, tranne che per l'abbassamento registrato nel periodo luglio-settembre 2003: la compactazione totale è stata pari a 18,7 mm (ca. 1,1 mm/a).

Un analogo trend nelle misure si rileva anche per l'assestometro più superficiale, che, però, ha registrato una compactazione totale nettamente più ridotta (5,7 mm complessivi, corrispondenti a circa 0,3 mm/a).

Buona è la correlazione tra la curva assestometrica e quella del GPS.

Spinaroni

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 18,1 anni di osservazioni durante i quali si è registrata una compactazione di 48,9 mm (circa 2,7 mm/a) con un andamento, dopo il primo periodo di assestamento, piuttosto regolare, tranne che per la brusca variazione (sollevamento del piano campagna) dell'ottobre 2003 di cui si è detto in precedenza.

La correlazione dell'andamento nel tempo delle curve GPS e assestometrica non è molto elevata; il GPS sembra mostrare un trend d'abbassamento abbastanza regolare anche se influenzato dalla stagionalità.

I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.



Fiumi Uniti

Per la stazione Fiumi Uniti si hanno a disposizione dati fin dal settembre 1994; è, quindi, possibile seguire l'evolversi della compattazione per un arco di tempo più lungo che non nelle due stazioni sopracitate.

Il valore attuale – dicembre 2015 - della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 44,5 mm, mentre per quello superficiale detto valore è di ca. 43,2 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 21,3 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione praticamente simili e dell'ordine di circa 2,1÷2 mm/a.

Le registrazioni delle curve GPS e assestimetrica profonda mostrano poi andamenti dei cicli di compattazione ed espansione del terreno abbastanza disuguali tra loro.

Nella seguente tabella riportano sono riportati i dati complessivi delle compattazioni nelle 3 stazioni, unitamente ai valori medi annuali delle relative velocità..

Sito	Anni d'osservazione	Assestometro profondo		Assestometro superficiale	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
Smarlacca	17,7	18,7	1,1	5,7	0,3
Spinaroni	18,1	48,9	2,7	-	-
Fiumi Uniti	21,3	44,5	2,1	43,2	2,0