

Campo di TEA-LAVANDA-ARNICA

Aggiornamento al 31/12/2014

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 2).

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 si presentano come più o meno siltose, talora con sottili livelli argillosi, di genesi torbiditica; tali sabbie 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 dir A. 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 3), 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 2 dir 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 4, 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

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.

misure in situ con marker fatte nel pozzo Naomi 4D.

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 effettuate 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 meri-

to 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'involuppo 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'involuppo 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 di giacimento è stato fatto nell'ottobre del 2013 (*rel. GISE n° 19/13 del 20/10/2013*). I risultati hanno incrementato del 4% del valore del GOIP (da 2737 MSm³ stimati al 12/2010 a 2839 MSm³ stimati al 10/2013) e ridotto le ri-

serve a vita intera dell'8% (da 1751 MSm³ valutati al 12/2010 a 1617 MSm³ valutati al 10/2013).

Il nuovo profilo di produzione prevede, infatti, il recupero di 1617 MSm³ entro il 2015 (Figura 5) con una graduale chiusura dei pozzi per elevata produzione d'acqua.

La portata di picco giornaliera di gas è stata stimata in circa 920 kSm³/g.

In Figura 6 sono riportati gli andamenti storici delle portate di gas, d'acqua e la produzione cumulativa aggiornata al 31/12/14 che è stata di 1635 MSm³, ovvero un quantitativo superiore al volume di riserve valutato nello studio dell'ottobre 2013. Per tale motivo nel corso del 2015 si aggiornerà nuovamente il modello di giacimento cui seguirà la realizzazione di un nuovo modello geomeccanico.

In Figura 7 e Figura 8 sono presentati i confronti tra i profili di pressione calcolati dal modello Eclipse 2013 e le pressioni statiche misurate per i livelli ritenuti più rappresentativi del campo. Tali confronti evidenziano come la previsione modellistica sia più conservativa rispetto comportamento reale di detti livelli.

Sulla base dei risultati dello studio di giacimento del gennaio 2010 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*).

Tali previsioni sono state fatte con un modello geomeccanico elasto-plastico a elementi finiti (FEM Isamgeo). Nel corso dello studio si è fatta un'analisi di sensitività considerando 3 possibili scenari di compressibilità, che sono stati scelti con riferimento alla legge di variazione del coefficiente C_m con lo sforzo efficace proposta da Hueckel *et al.*² per le formazioni del Nord Adriatico. Lo scenario più probabile corrisponde al valore C_{mMed} ottenuto da tale relazione, gli altri due ai valori estremi di C_m corrispondenti ai quantili al 2.5% (lower) e al 97.5% (upper) della relazione stessa.

Sulla base delle simulazioni effettuate è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- 1) la subsidenza massima prevista nel caso considerato più probabile è pari a 3 cm sulla verticale dei giacimenti a fine produzione (2020), mentre a fine simulazione (2040)

² T. Hueckel, G. Cassiani, J. H. Prévost, and D. A. Walters, Field derived compressibility of deep sediments of the northern Adriatic, in Land Subsidence – Special Volume, Proc. of the 7th Int. Symp. on Land Subsidence, P. R. China, 23-28 Oct. 2005



tale valore si attesta a 2,8 cm. L'estensione areale del fenomeno, corrispondente alla linea d'isosubsidenza di 2 cm³, è di circa 3 km dal centro del complesso dei giacimenti;

- 2) la subsidenza massima prevista nel caso più cautelativo è pari a 7 cm (al 2040) sulla verticale dei giacimenti. In questo caso l'estensione areale del fenomeno, corrispondente alla linea d'isosubsidenza dei 2 cm, è di circa 5 km dal centro del complesso dei giacimenti;
- 3) la subsidenza massima prevista nel caso più favorevole è pari a 1,2 cm sulla verticale dei giacimenti.

In conclusione, la subsidenza massima prevedibile sulla verticale dei giacimenti è di 7 cm; la corrispondente estensione del relativo cono (curva d'isosubsidenza di 2 cm) è di circa 5 km dal centro del complesso dei giacimenti, ovvero a più di 50 km dalla costa (Figura 9).

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

Quest'ultimo modello conferma ancora che, per tutti gli scenari geomeccanici e idraulici considerati, il rischio di subsidenza indotto dalla produzione di gas dal complesso dei campi Tea, Lavanda e Arnica è del tutto trascurabile nella zona dei giacimenti stessi e totalmente nullo sulla 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 li-

³ 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) – 23-38 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.

vellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle “*Linee Guida per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell’Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas*” emesse dal Dip. DMMMSA dell’Università di Padova nel 2007.

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

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

La rete di livellazione, rilevata nel 2014, è suddivisa nelle seguenti aree di attività:

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

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

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

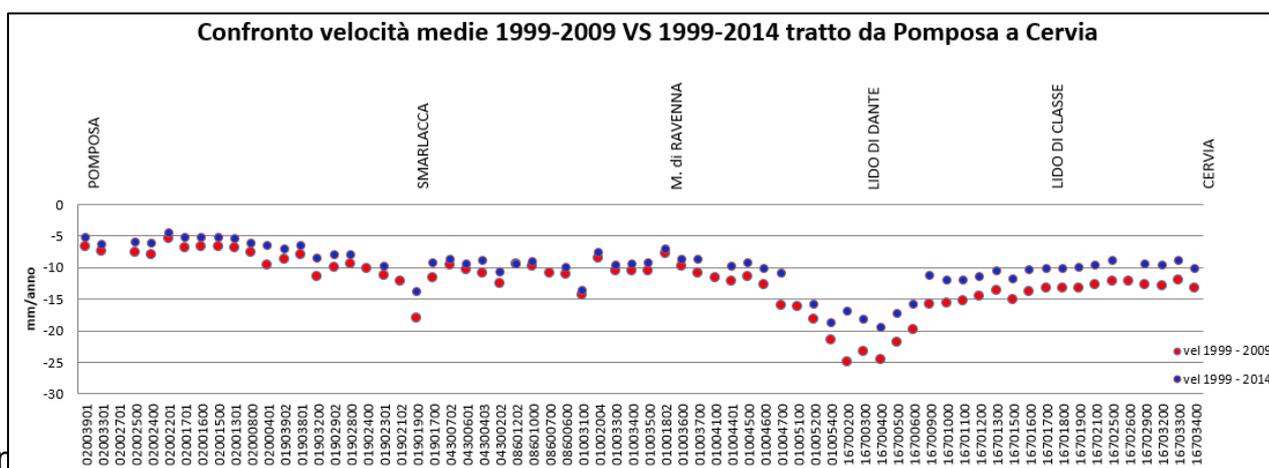
Per il tratto di costa compreso tra la zona di Pomposa e il centro abitato di Cervia - prospiciente i campi di Naomi-Pandora, Guendalina e Tea-Lavanda-Arnica - sono disponibili livellazioni non completamente omogenee tra loro poiché le misure su alcuni capisaldi sono iniziate solo a partire dal 2003. Di conseguenza si sono valutate con regressione lineare 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 1: 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 1 – 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 sul manufatto su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine d'ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori, come si dirà nel seguito.

Per tratto di costa da Pomposa a Cervia si sono di nuovo considerati solo i capisaldi con una serie storica ininterrotta di misure. Le relative velocità medie di abbassamento del suolo⁴ (V_a), stimate con regressione lineare, sono state raggruppate nelle seguenti 5 classi:

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

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2014 mostra 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 sufficiente per un confronto puntuale con i dati GPS, le velocità medie d'abbassamento del suolo stimate con le misure di livellazione 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 aggiornarne la copertura SAR (settembre 2014) per un'analisi integrata con i dati della campagna di livellazione del 2014 (Appendice 1). Il confronto mostra come i profili altimetrici (Figura 10), pur se ottenuti con sistemi di monitoraggio molto diversi, abbiano un andamento del tutto comparabile, anche se la diversa origine non consente confronti in valore assoluto (vedi shift tra i diversi profili).

⁴ Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e. di abbassamento della superficie) sono rappresentate con valori negativi. Per comodità d'interpretazione, però, nell'elenco che segue, come pure nel paragrafo successivo, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

Si è, quindi, proceduto all'integrazione dei dati SAR e di livellazione con i dati altimetrici forniti dalle stazioni CGPS installate nei siti onshore del tratto di costa antistante alle piattaforme.

Le attività di monitoraggio sono state integrate negli ultimi anni con le misure di un numero crescente di stazioni CGPS installate 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); 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 la cui serie storica è troppo breve per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la realizzazione lungo la costa nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate 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 sono certificati fino al 2013 e in fase di certificazione per il 2014; tali dati sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2014 (Figura 10), 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 31/12/2013

Stazione	1 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
Tea-Lavanda-Arnica	18,68	18,99	-5,14	18,47	18,88	-5,86	0,21	0,11	0,72

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 5.0, 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 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 totale⁵ misurata dal CGPS pari a -5.0 mm/a (Figura 11), in leggera diminuzione rispetto al valore (-5,4 mm/a al 2013) riportato nella precedente relazione d'aggiornamento.

⁵ 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.

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 2014 una velocità media pari a circa -2,6 mm/a.

L'andamento tendenziale del secondo periodo può essere messo in relazione con l'attuale fase di declino della produzione evidenziata in Figura 5.

Si segnala che la serie storica di misure del secondo periodo è relativa a un intervallo di tempo (32 mesi) non ancora in linea con quello ritenuto necessario per fare un'analisi completamente attendibile del dato CGPS (36 mesi).

Le misure CGPS sono state, poi, confrontata con i risultati calcolati dal modello geomeccanico per il "punto di controllo 1", (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 per lo scenario più probabile (C_{mMed}).

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.

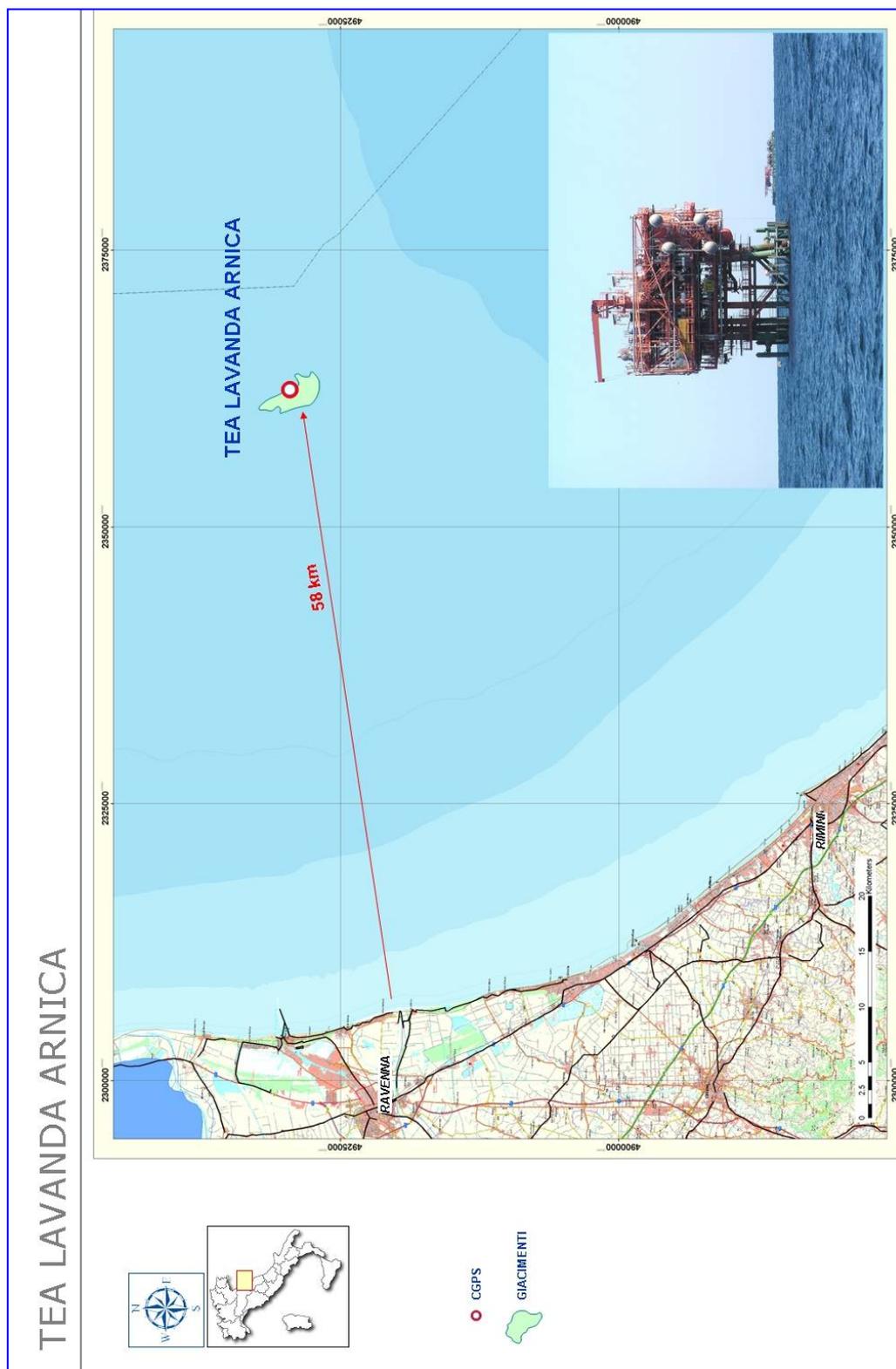
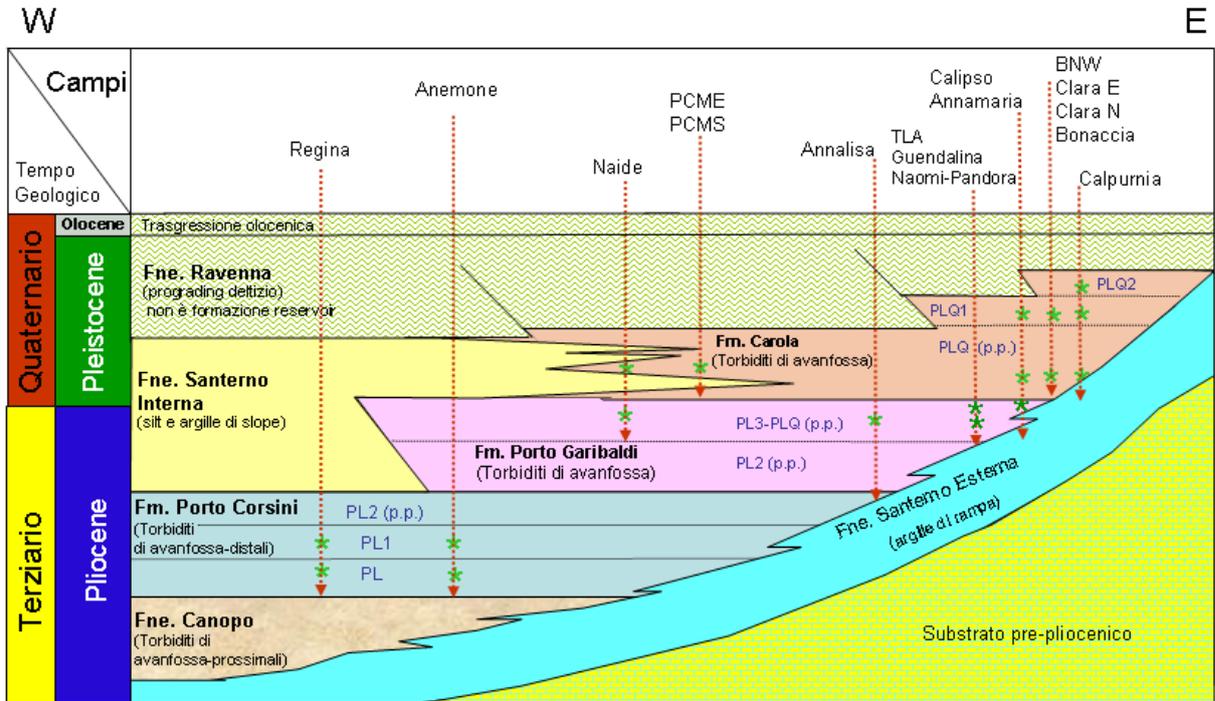


Figura 2 - Posizione del campo di TLA



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

Figura 3 - Schema dei rapporti stratigrafici

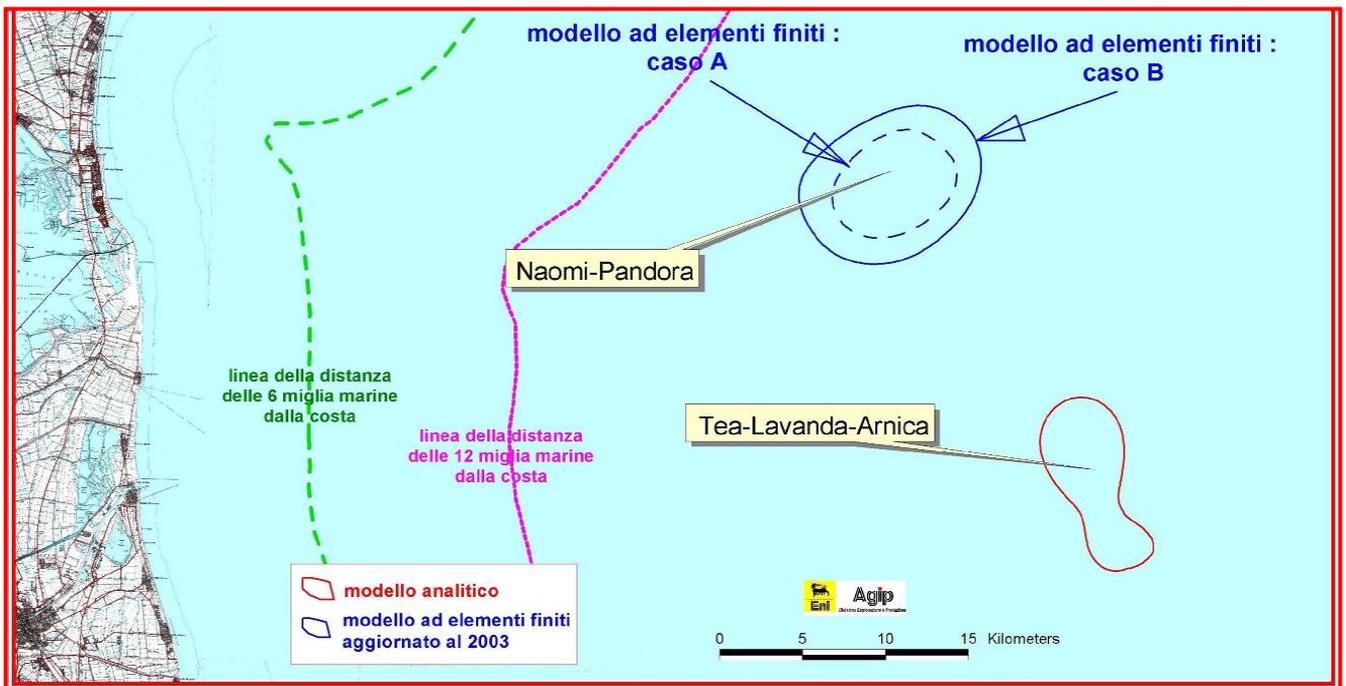


Figura 4 – Verifica dell'interazione geomeccanica fra i campi di TLA ed Naomi-Pandora



CAMPO DI TEA-LAVANDA-ARNICA	Profilo di produzione da modello 3D ECLIPSE 10/2013	Profilo di produzione da modello 3D ECLIPSE 01/2010	Gas Prodotto al 31-12-2014	Profilo di produzione da modello 3D ECLIPSE 10/2013	Profilo di produzione da modello 3D ECLIPSE 01/2010	Gas Prodotto al 31-12-2014	Gas prodotto vs Recupero finale stimato
	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(%)
2007	53	53	53	53	53	53	3%
2008	474	475	474	422	422	422	29%
2009	853	854	853	379	379	379	53%
2010	1154	1188	1154	300	334	300	71%
2011	1353	1443	1353	199	255	199	84%
2012	1467	1582	1467	114	139	114	91%
2013	1554	1645	1554	87	63	87	96%
2014	1602	1674	1635	48	29	81	101%
2015	1617	1697		15	23		
2016		1715			18		
2017		1730			15		
2018		1743			13		
2019		1751			8		
2020							
2021							
2022							
2023							

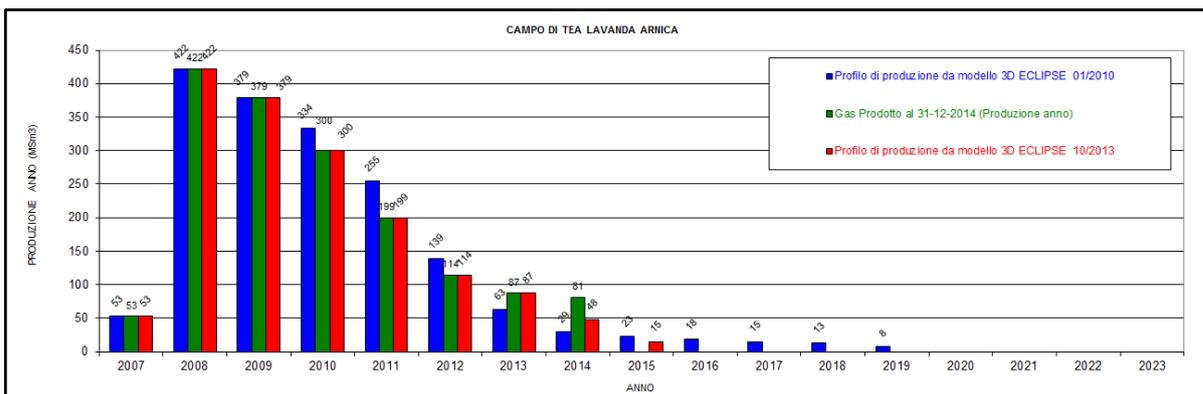
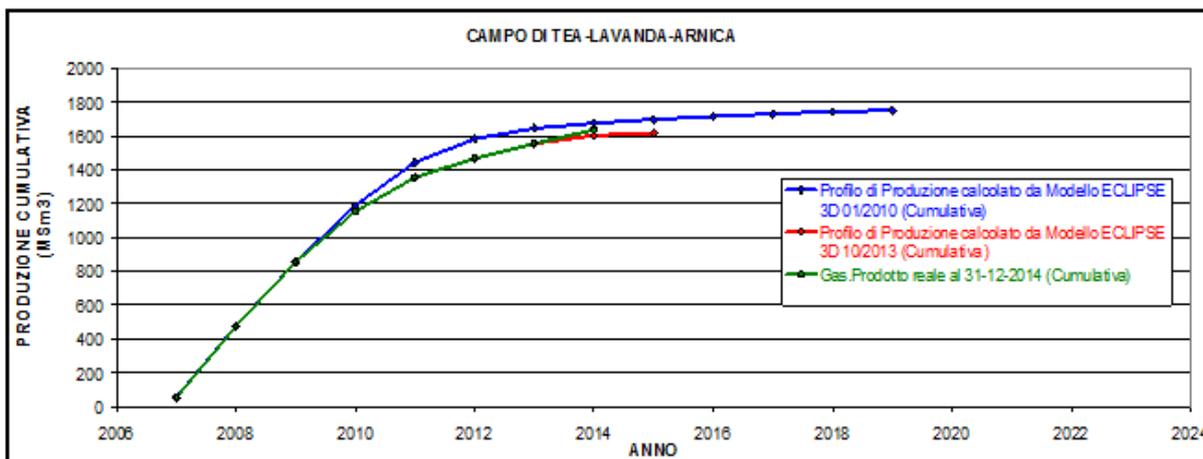


Figura 5 – Campo di TLA: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse

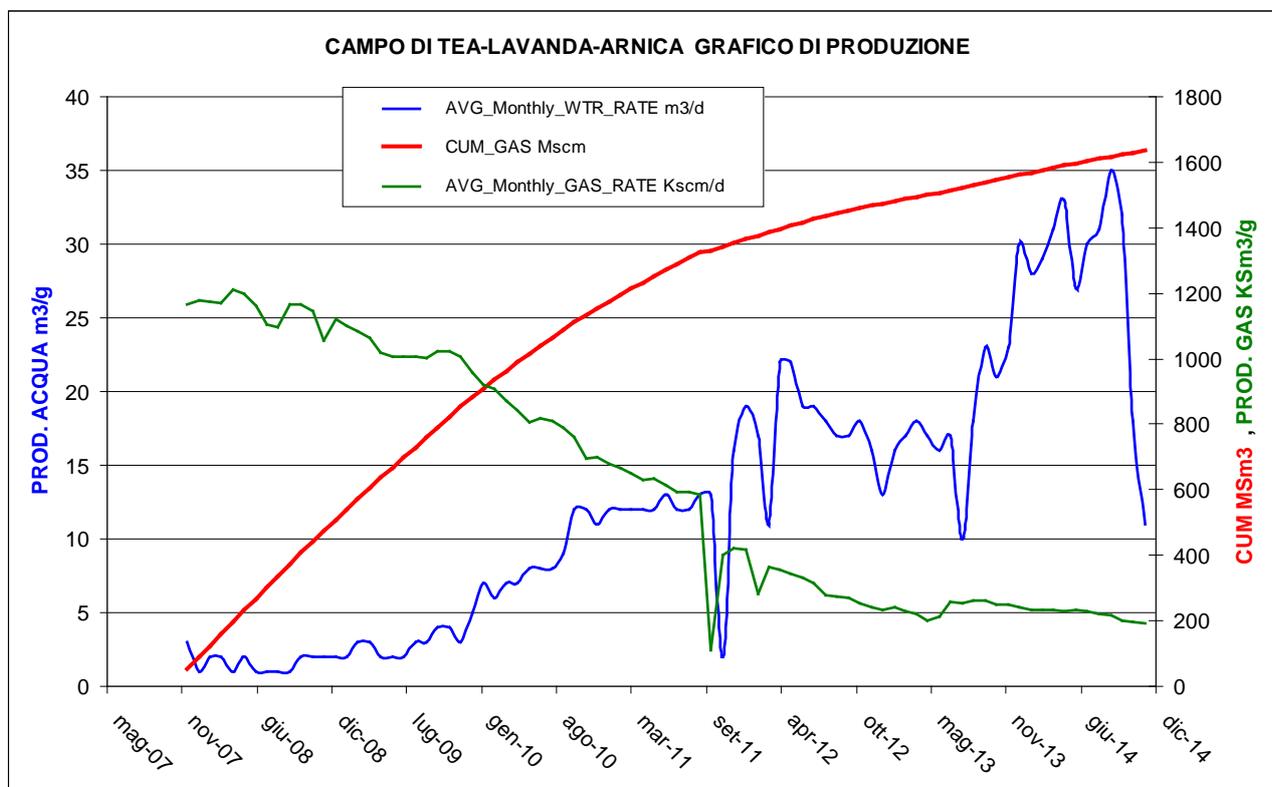


Figura 6 – Campo di TLA: grafico di produzione storica



DATA	Profilo di produzione calcolata da modello ECLIPSE 10/2010	SBHP calcolata da modello ECLIPSE 10/2010	SBHP (LAVANDA) Misurata da profilo statico	SBHP (TEA) Misurata da profilo statico
	PL3-HH1 MSm3	PL3-HH1 Barsa	LAVANDA 1 Barsa	TEA 2 Barsa
1-NOV-2007	0	304	304	304
1-DEC-2007	7	300		
1-JAN-2008	23	293		
1-FEB-2008	40	288		
1-MAR-2008	56	284		
1-APR-2008	72	280		
1-MAY-2008	90	275		
1-JUN-2008	107	271		
1-JUL-2008	124	268	253	264
1-AUG-2008	141	264		
1-SEP-2008	157	261		
1-OCT-2008	174	257		
1-NOV-2008	192	253		
1-DEC-2008	209	249		
1-JAN-2009	226	246		
1-FEB-2009	244	242		
1-MAR-2009	260	239		
31-mar-09	276	236		
1-APR-2009	277	236		
30-apr-09	293	233	217	235
1-MAY-2009	293	233		
6-MAY-2009	296	232		
31-MAY-2009	309	230		
1-DEC-2009	404	212		
1-JAN-2010	420	208		
1-JAN-2011	609	164	160	183
1-JAN-2012	784	118		
1-JAN-2013	888	111		
1-JAN-2014	934	135		144
1-JAN-2015	962	155		
1-JAN-2016	984	169		
1-JAN-2017	1002	182		
1-JAN-2018	1018	194		
1-JAN-2019	1030	205		
1-JAN-2020	1037	214		

DATA	SBHP Misurata da profilo statico	SBHP Misurata da profilo statico
	LAVANDA 1 Barsa	TEA 2 Barsa
01/11/2007	304,0	304
01/07/2008	253,0	264
01/05/2009	217,0	235
01/06/2011	164,6	
01/10/2011		183
13/12/2013	144,1	
01/10/2014		142,0

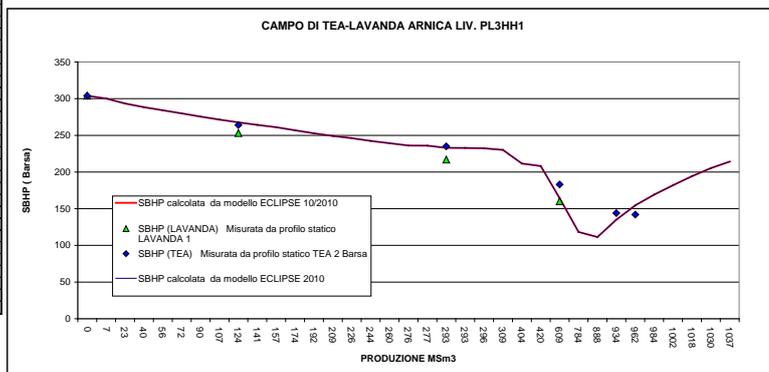


Figura 7 – Campo di TLA: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2013 (livello PL3-F1)

Profilo di produzione calcolata da modello ECLIPSE 10/2013	SBHP calcolata da modello ECLIPSE 10/2013	SBHP (LAVANDA) Misurata da profilo statico	SBHP (TEA) Misurata da profilo statico
	PL3-HH1 MSm3	PL3-HH1 Barsa	LAVANDA 1 Barsa
0	304	304	304
7	300		
23	293		
40	288		
56	284		
72	280		
90	275		
107	271		
124	268	253	264
141	264		
157	261		
174	257		
192	253		
209	249		
226	246		
244	242		
260	239		
276	236		
277	236		
293	233	217	235
293	233		
296	232		
309	230		
404	212		
420	208		
609	164	160	183
784	118		
888	111		
934	135		144
962	155		
984	169		
1002	182		
1018	194		
1030	205		
1037	214		

DATA	SBHP Misurata da profilo statico	SBHP Misurata da profilo statico
	LAVANDA 1 Barsa	TEA 2 Barsa
01/11/2007	304,0	304
01/07/2008	253,0	264
01/05/2009	217,0	235
01/06/2011	164,6	
01/10/2011		183
13/12/2013	144,1	

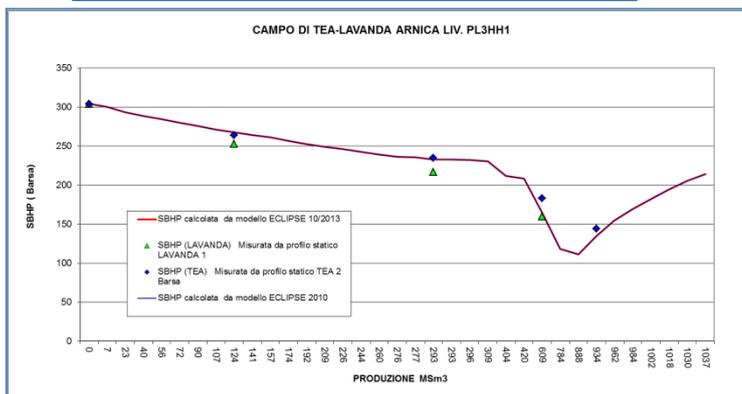


Figura 8 – Campo di TLA: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2013 (livello PL3-HH1)

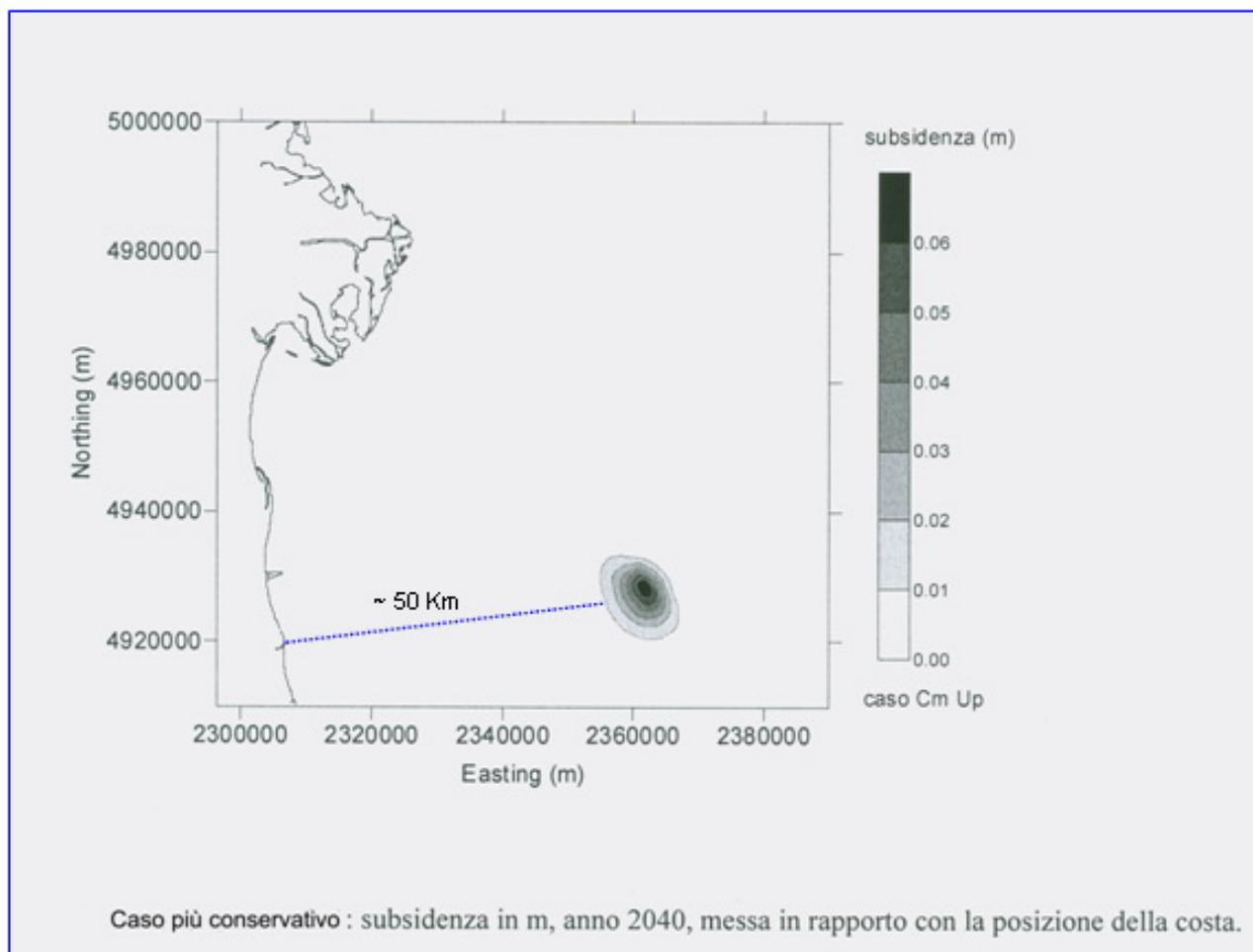


Figura 9 – Campo di TLA: curve di isosubsidenza (mod. geomeccanico 2011)

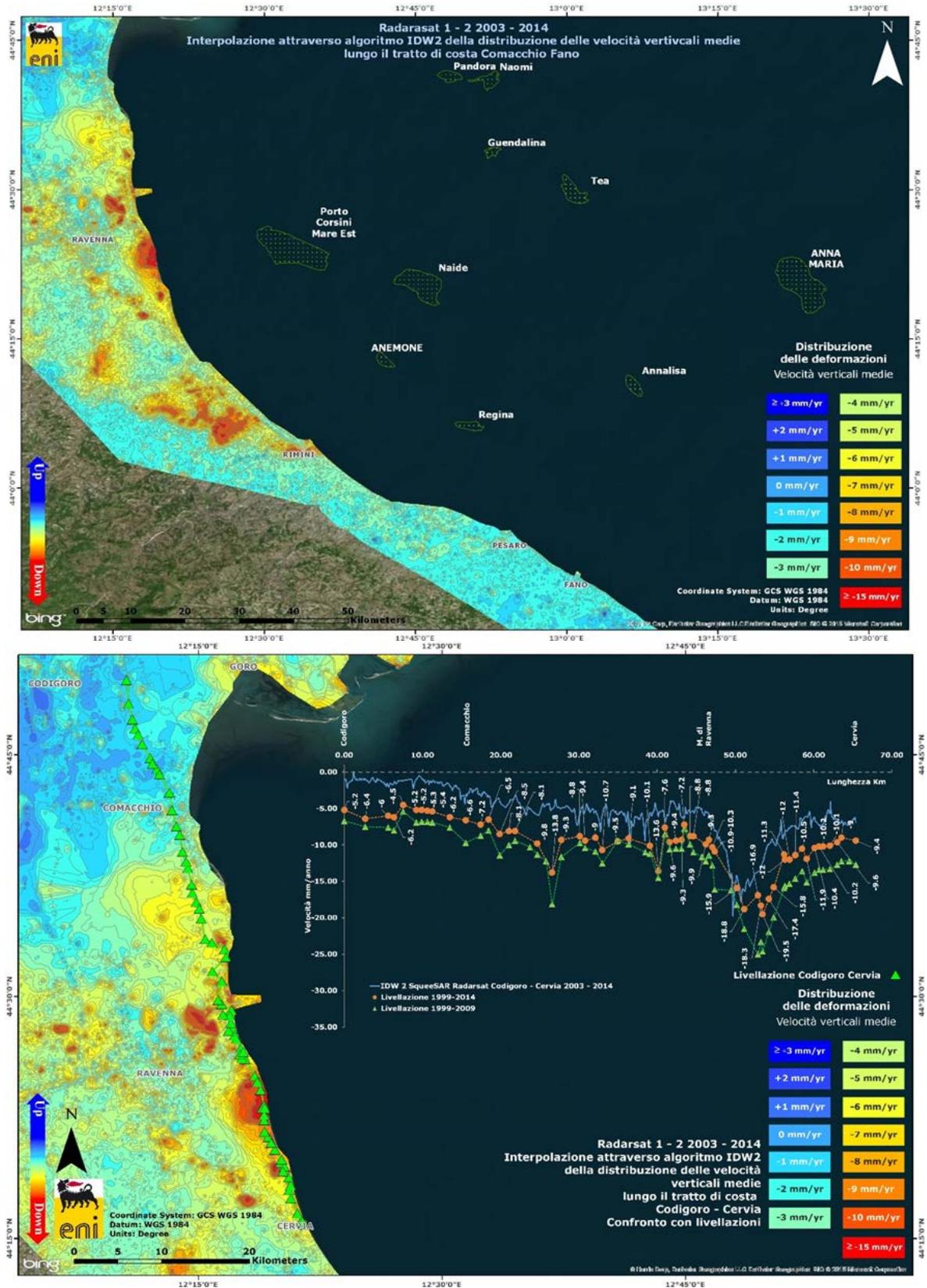
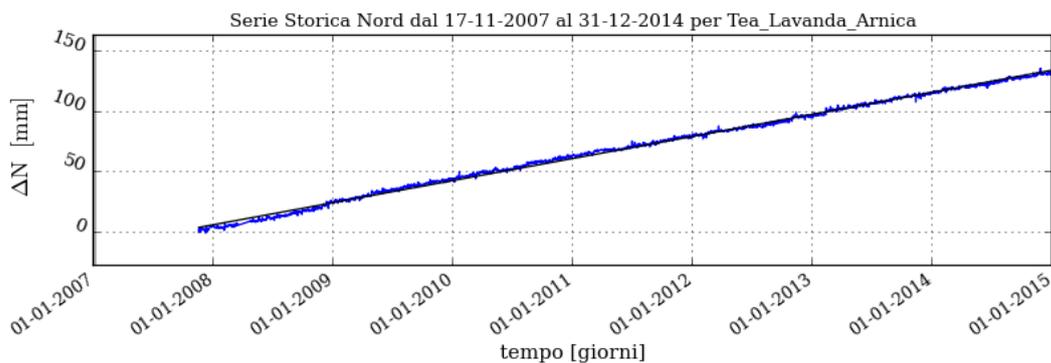


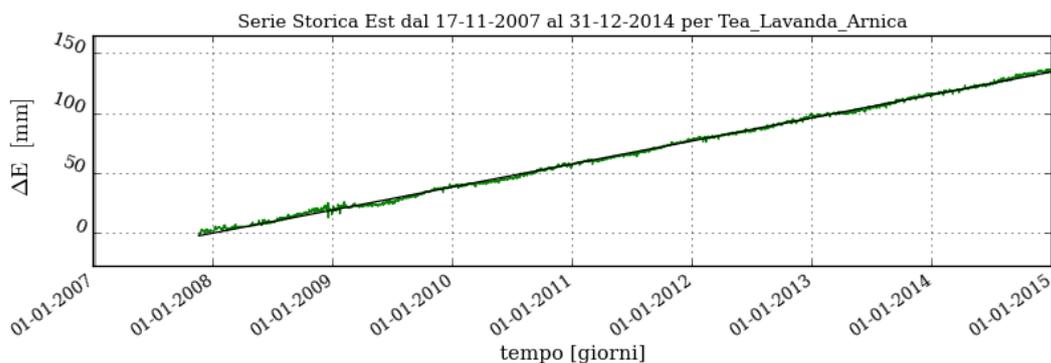
Figura 10 – Analisi dati SAR _2003-2014



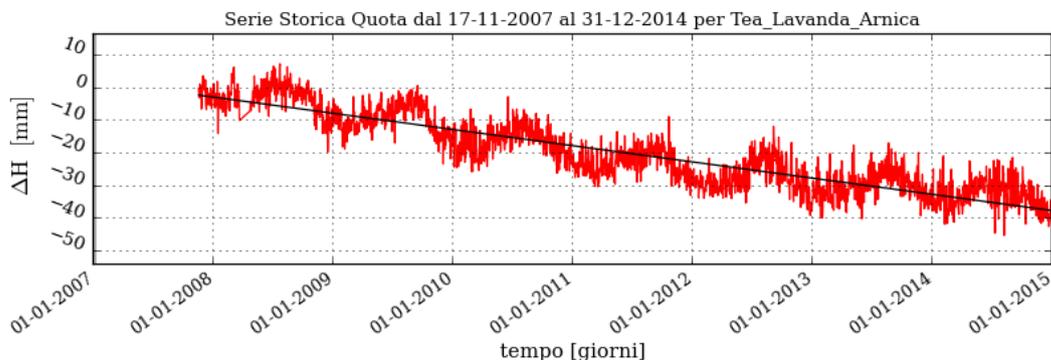
Serie storica spostamenti IGb08 RETE Tea_Lavanda_Arnica



$Vel_n = 18.4 \pm 0.02$ mm/y
 $WRMS_n = 1.83$ mm
 $\chi^2 / DOF = 21.1$



$Vel_e = 19.25 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_e = 1.46$ mm
 $\chi^2 / DOF = 20.72$



$Vel_h = -5.02 \pm 0.05$ mm/y
 $WRMS_h = 4.79$ mm
 $\chi^2 / DOF = 11.93$

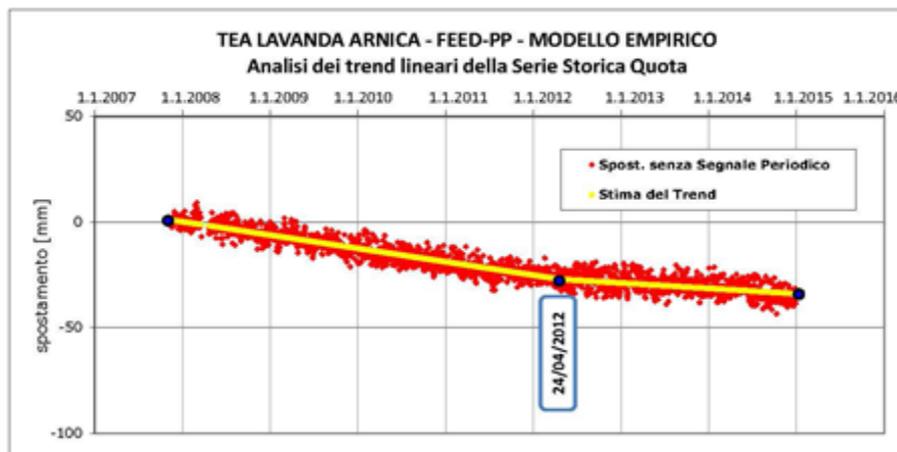
Figura 1 – Campo di TLA: Serie storiche piano-altimetriche CGPS



TEA LAVANDA ARNICA

FEED-PP – MODELLO EMPIRICO

Il modello empirico relativo alla stazione CGPS Tea Lavanda Arnica è stato stimato considerando un solo nodo di discontinuità.



FEED PP - MODELLO EMPIRICO		
Periodo	velocità [mm/y]	sigma [mm/y]
17/11/2007 - 24/04/2012	-6.3	0.1
24/04/2012 - 31/12/2014	-2.6	0.1

Note: Non si hanno informazioni relative ad attività di work-over sulla piattaforma Tea Lavanda.

Figura 2 – Campo di TLA: analisi della serie storica plano-altimetrica CGPS



CAMPO	Inizio produzione	Fine Produzione	Riserve prodotte @ dic.2014	Subsidenza prevista a fine produzione (scenario di riferimento)	CGPS		
					inizio registrazione	velocità media (mm/a) @ fine 2014;	mesi di registrazione
NAIDE	2005	2022	81%	-8cm al 2023	giu-05	-3,8	114
PCM	2001	2016	94%	-6,8cm al 2017	lug-05	-3,9	113
REGINA	1997	2016	91%	-135cm al 2014	giu-07	-29,4	90
CALPURNIA	2000	2020	95%	-50cm al 2035	giu-07	-4,5	90
ANEMONE	1978	2026	95%	-33cm al 2020	giu-07	-4,9	90
ANNALISA	2000	2023	83%	-10cm al 2027	ott-07	-4,7	87
CLARA EST	2000	2034	35%	-55cm al 2035	nov-07	-13,5	86
CLARA NORD	2000	2020	80%	-65cm al 2035	nov-07	-22,5	86
BARBARA-NW	1999	2029	70%	-76cm al 2030	gen-08	-28,7	84
CALIPSO	2002	2020	87%	-32cm al 2035	nov-07	-17,8	86
ANNAMARIA "B"	2009	2039	32.6%	-51cm al 2040	gen-10	-81,0	60
BONACCIA	1999	2035	57%	-421cm al 2036	dic-07	-87,2	85
GUENDALINA	2011	2023	55%	-3cm al 2023	ago-11	-6,4	40
NAOMI-PANDORA	2001	2037	31%	-2cm al 2038	giu-02	-1,4	150
TEA-LAVANDA-ARNICA	2007	2019	93%	-3cm al 2020	nov-07	-5,0	86
FAUZIA	2014	2027	3%	-9cm al 2030	set-14	nd	3
ELETTRA	2014	2025	12%	-16cm al 2035	lug-14	nd	5

Figura 3 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. modelli

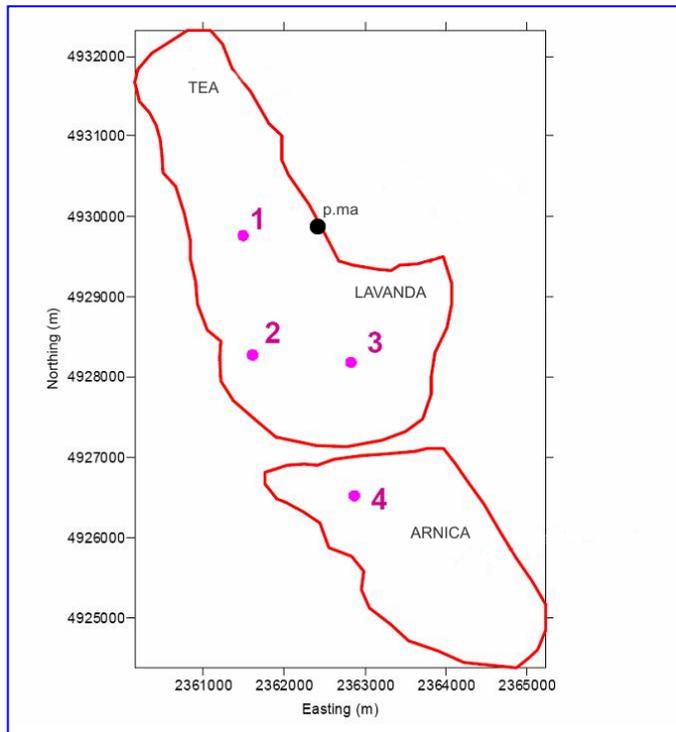


Figura 4 – Campo di TLA: posizione dei punti di controllo dello studio geomeccanico

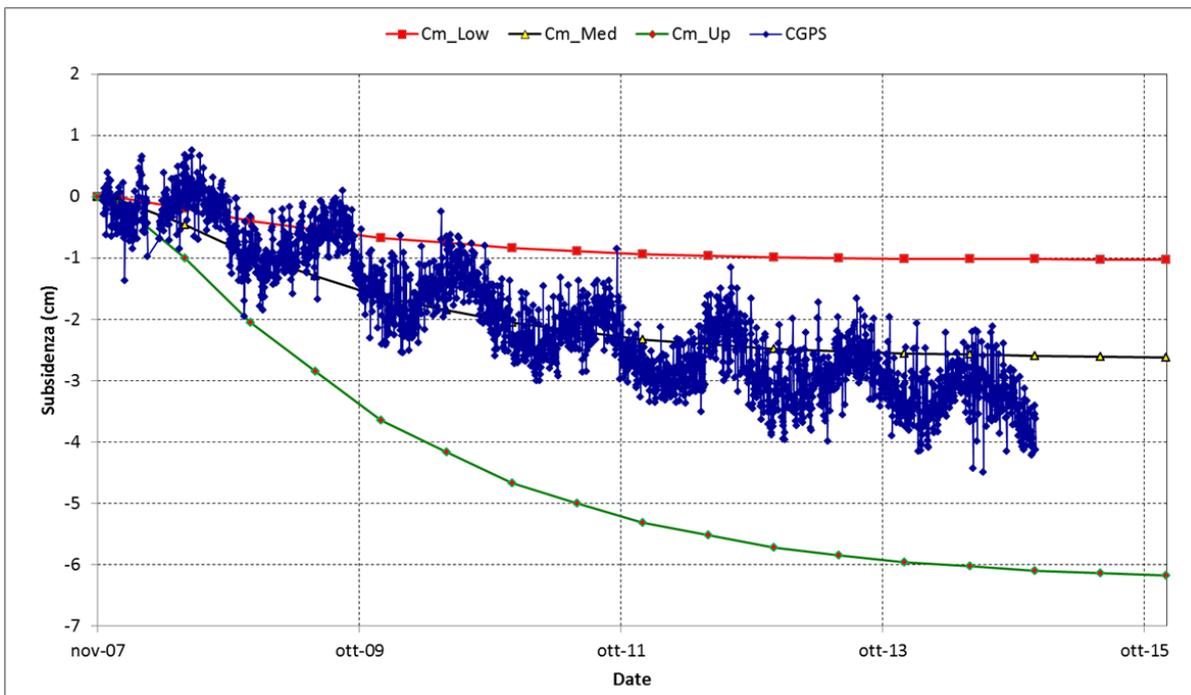


Figura 5 – Campo di TLA: confronto tra il dato misurato CGPS (linea blu) e quello calcolato della subsidenza, per gli scenari C_{m_Low} (linea rossa), C_{m_Med} (linea nera) e C_{m_Up} (linea verde)

campo TEA-LAVANDA-ARNICA (Eni 100%)																					
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA n. 00149 del 02 marzo 2004 (notifica DSA n. 0010973 del 13 aprile 2006)																			
UBICAZIONE	offshore - 58 Km E Marina di Ravenna	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (TEA-LAVANDA ARNICA)																			
PROFONDITA' FONDALE	40 m																				
LITOLOGIA	terreni pliocenici sabbioso/argillosi																				
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Garibaldi																				
ZONA MINERARIA	PL3																				
PROFONDITA' RESERVOIR	2700 - 2840 (TVDSS)																				
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa - standard																				
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">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>MOD. STAT. E DINAM. ECLIPSE 3D - ottobre 2013</td> </tr> <tr> <td>RISERVE (MSm3)</td> <td>1536</td> <td>1617</td> </tr> <tr> <td>MOD. GEOMECCANICO</td> <td>GEERTSMA SEMIANALITICO (luglio 2001)</td> <td>ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ ottobre 2011</td> </tr> <tr> <td>MAX SUBS AL CENTRO (cm)</td> <td>1.8 (dopo 7 anni)</td> <td>3 (nel 2020 a fine prod.) per lo scenario di riferimento (Cm Med)</td> </tr> <tr> <td>MAX DIST. DAL CULMINE (Km)</td> <td>limitata all'area complessiva dei tre giacimenti</td> <td>5 (nel 2040) nel caso più sfavorevole (Scenario Cm Up)</td> </tr> </tbody> </table>		SIA		ULTIMO AGGIORNAMENTO	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '00"	MOD. STAT. E DINAM. ECLIPSE 3D - ottobre 2013	RISERVE (MSm3)	1536	1617	MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO (luglio 2001)	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ ottobre 2011	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1.8 (dopo 7 anni)	3 (nel 2020 a fine prod.) per lo scenario di riferimento (Cm Med)	MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	limitata all'area complessiva dei tre giacimenti	5 (nel 2040) nel caso più sfavorevole (Scenario Cm Up)
SIA		ULTIMO AGGIORNAMENTO																			
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '00"	MOD. STAT. E DINAM. ECLIPSE 3D - ottobre 2013																			
RISERVE (MSm3)	1536	1617																			
MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO (luglio 2001)	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ ottobre 2011																			
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1.8 (dopo 7 anni)	3 (nel 2020 a fine prod.) per lo scenario di riferimento (Cm Med)																			
MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	limitata all'area complessiva dei tre giacimenti	5 (nel 2040) nel caso più sfavorevole (Scenario Cm Up)																			
		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI																			
CONCESSIONE	A.C34.AG	<p>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</p>																			
DATA SCADENZA CONCESSIONE	19/06/2024	<p>MARKERS NON PRESCRITTI</p>																			
N. POZZI	4	<p>CGPS OPERATIVO DAL 2007</p>																			
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)	1536	<p>SAR ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2014 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</p>																			
START UP PRODUZIONE	ott-07																				
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2017																				
GAS PRODOTTO (MSm3)																					
% RISERVE PRODOTTE																					
			101%																		

Figura 6 – Campo di TLA: Scheda di sintesi dei dati del campo



Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2014

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Fig.1A – Mappa calibrazione dati SAR

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



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

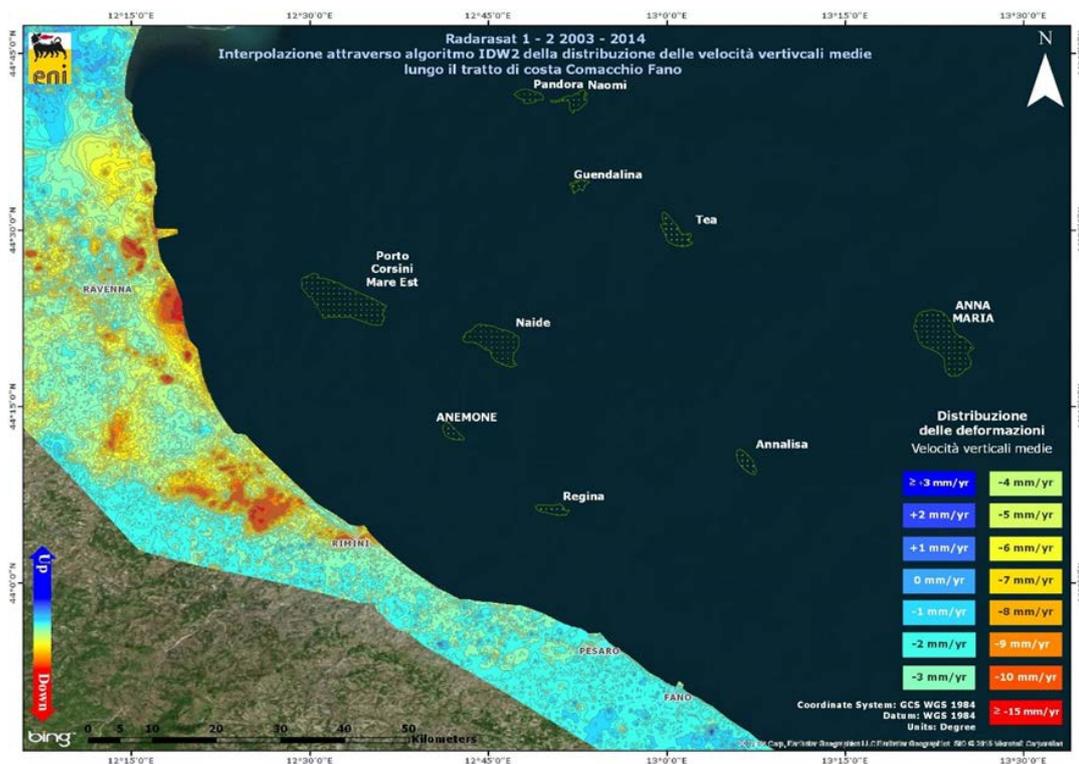


Fig. 2A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati RadarSat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

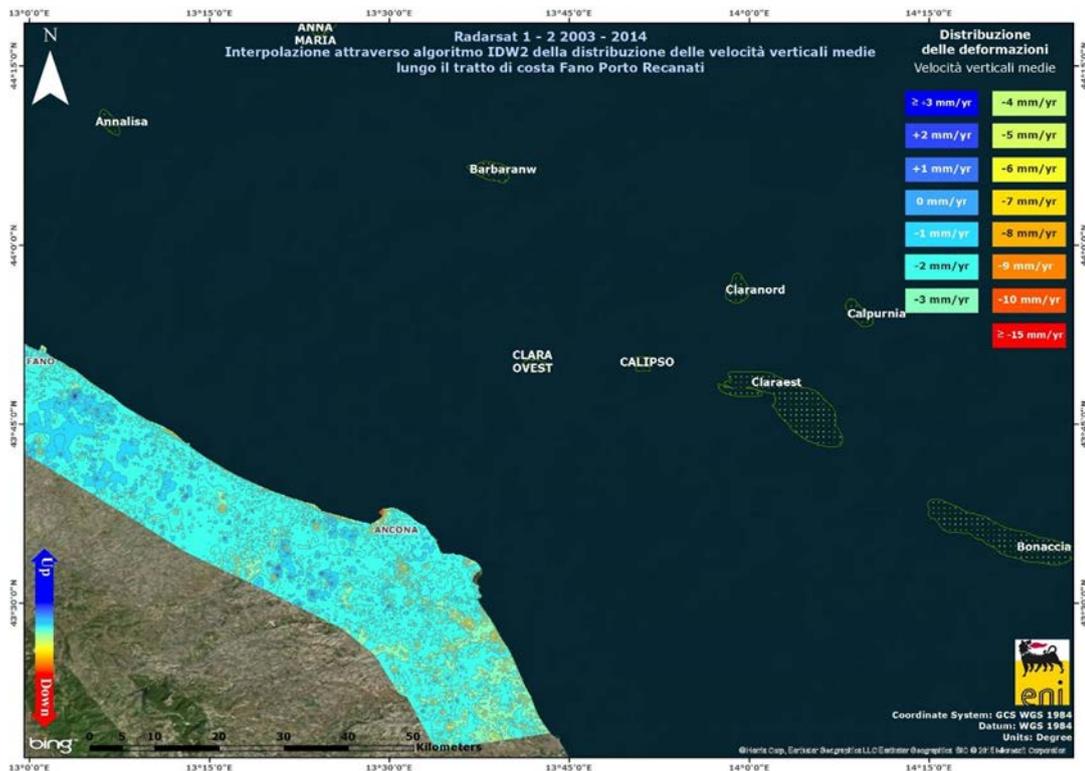


Fig. 3A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

Confronto dati SAR 2003 – 2013 vs. 2003 – 2014

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

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

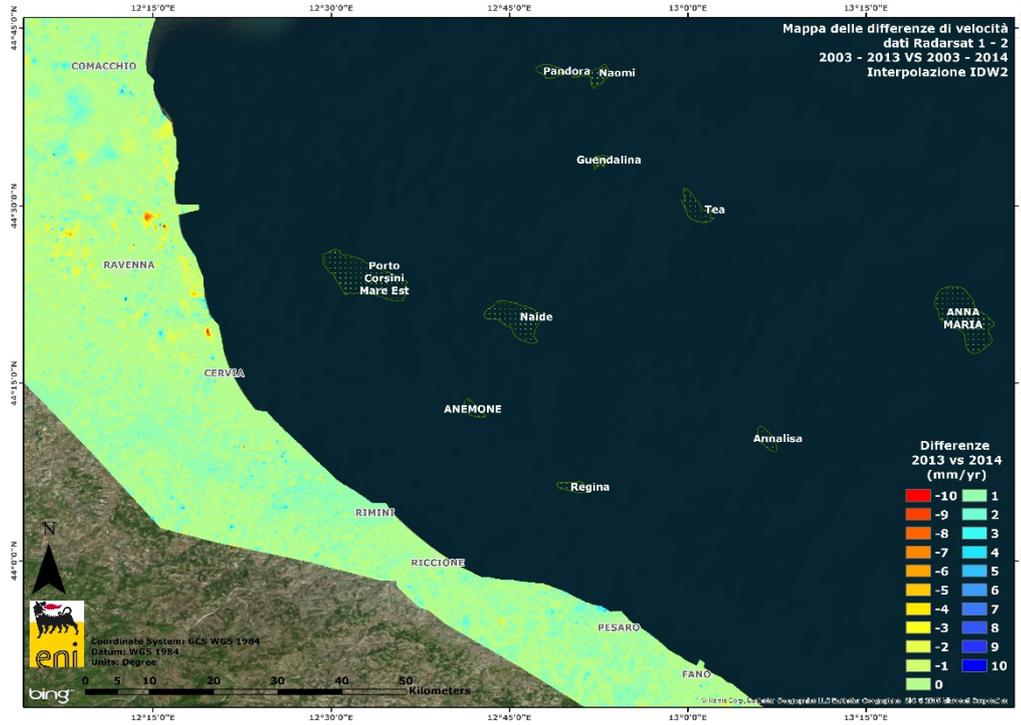


Fig. 4A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

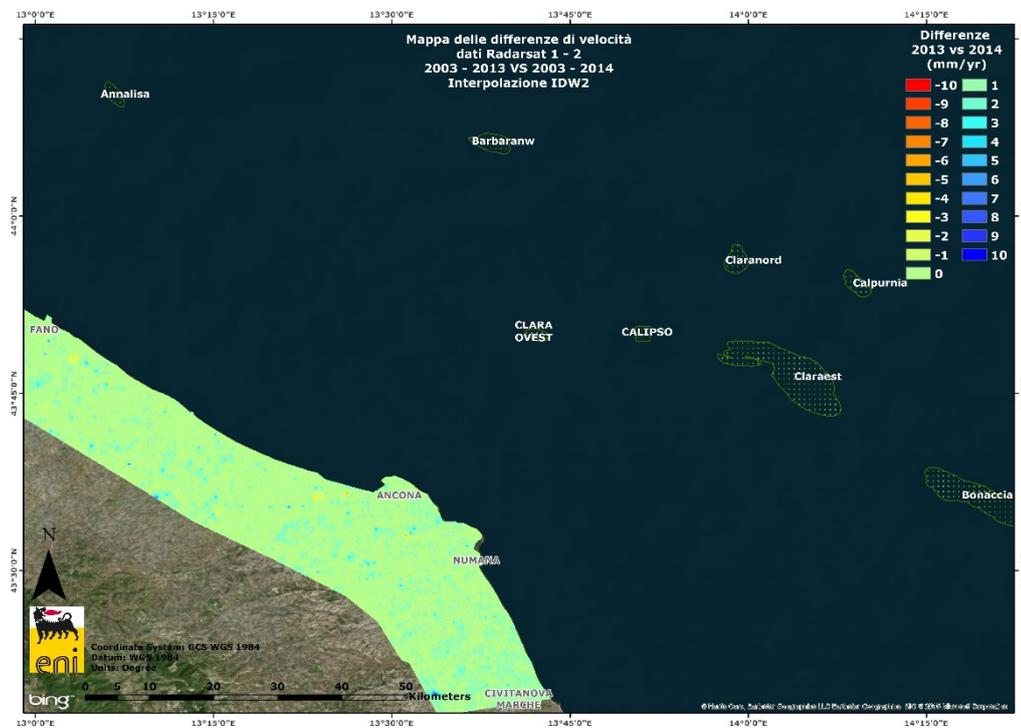


Fig. 5A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: mappa delle differenze tra i database 2003-2013 e 2003-2014, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS



Confronto dati SAR vs. Livellazione

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

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

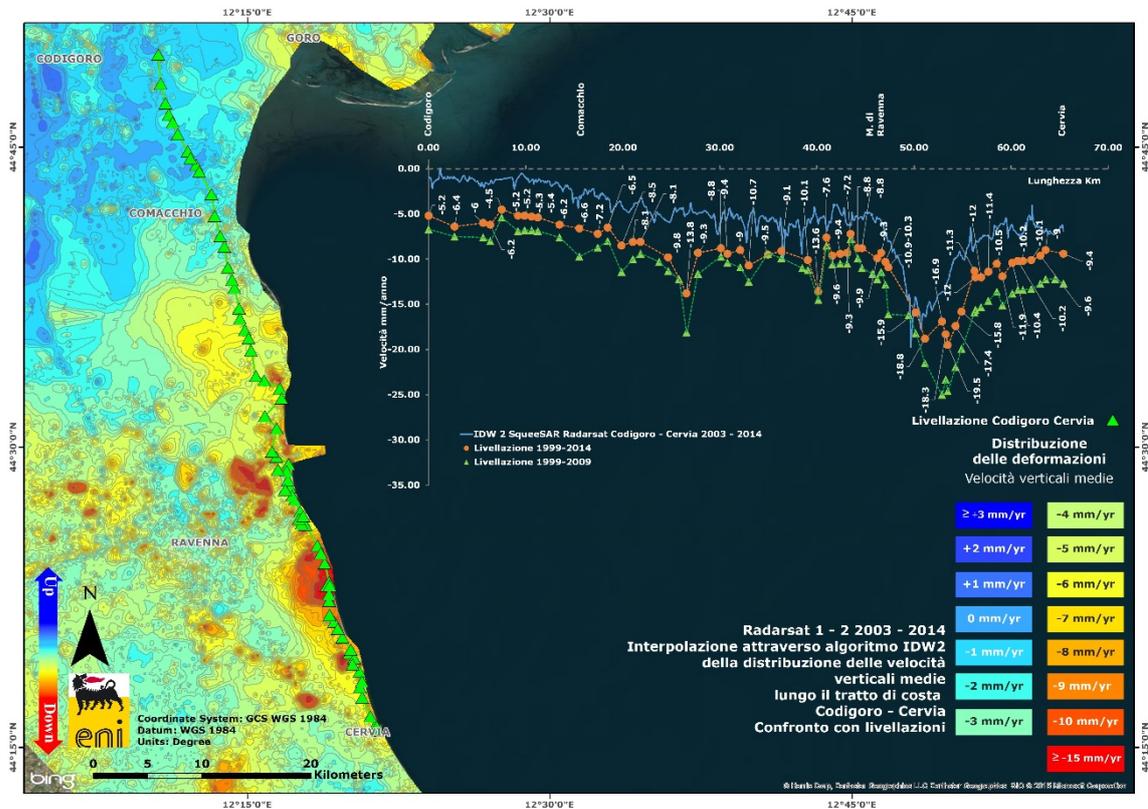


Fig. 6A – Tratto Codigoro – Cervia: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014e le campagne di livellazione 1999-2009 e 1999-2014

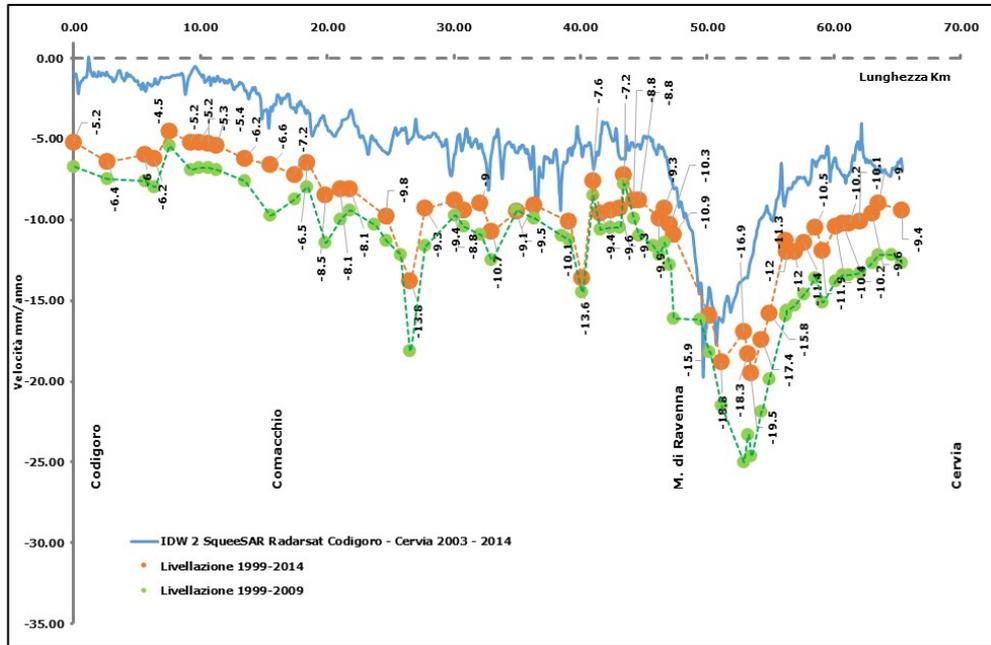


Fig. 7A – Tratto Codigoro – Cervia: dettaglio del grafico di confronto (Fig. 6A) tra il database Radarsat 1-2 (1999-2014) e le campagne di livellazione (1999-2014).
Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

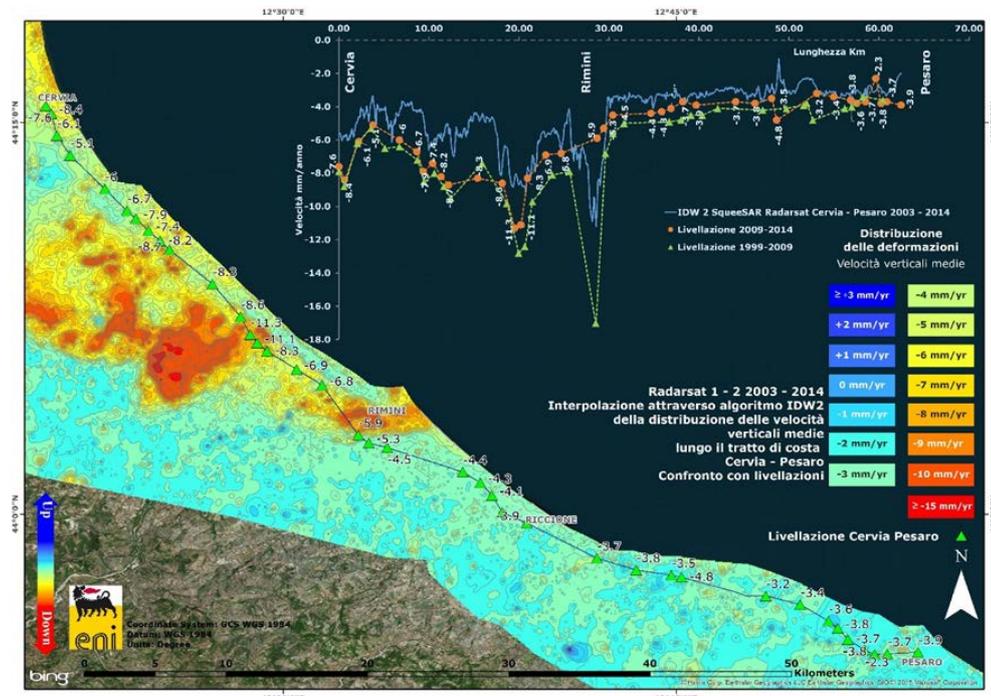


Fig. 8A – Tratto Cervia-Pesaro: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014

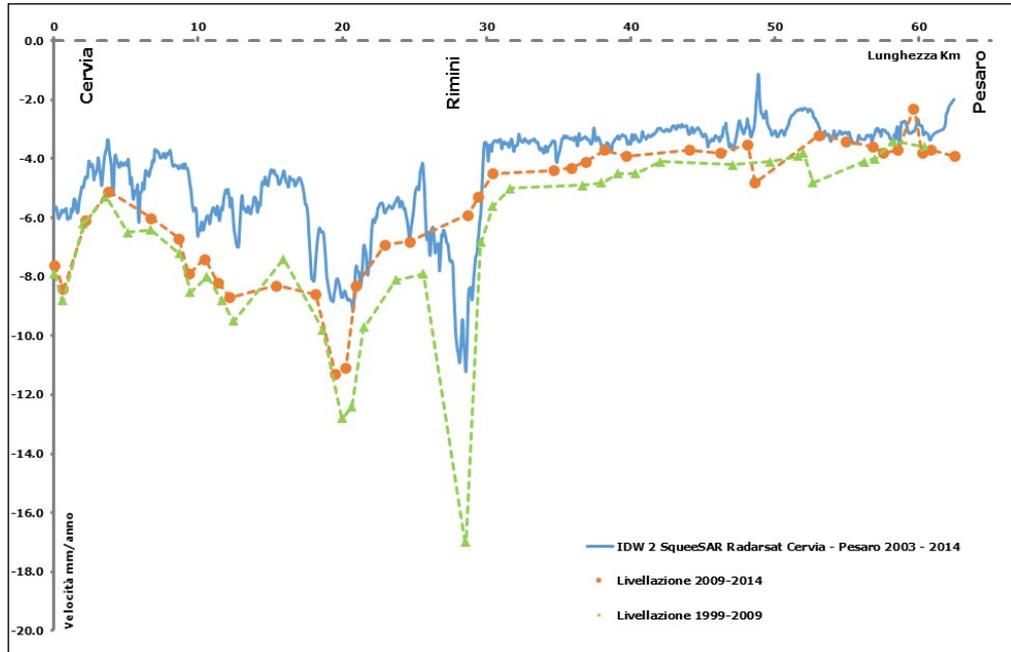


Fig. 9A – Tratto Cervia – Pesaro: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014.

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

Tale anomalia è da attribuirsi alla perdita del caposaldo 00305400

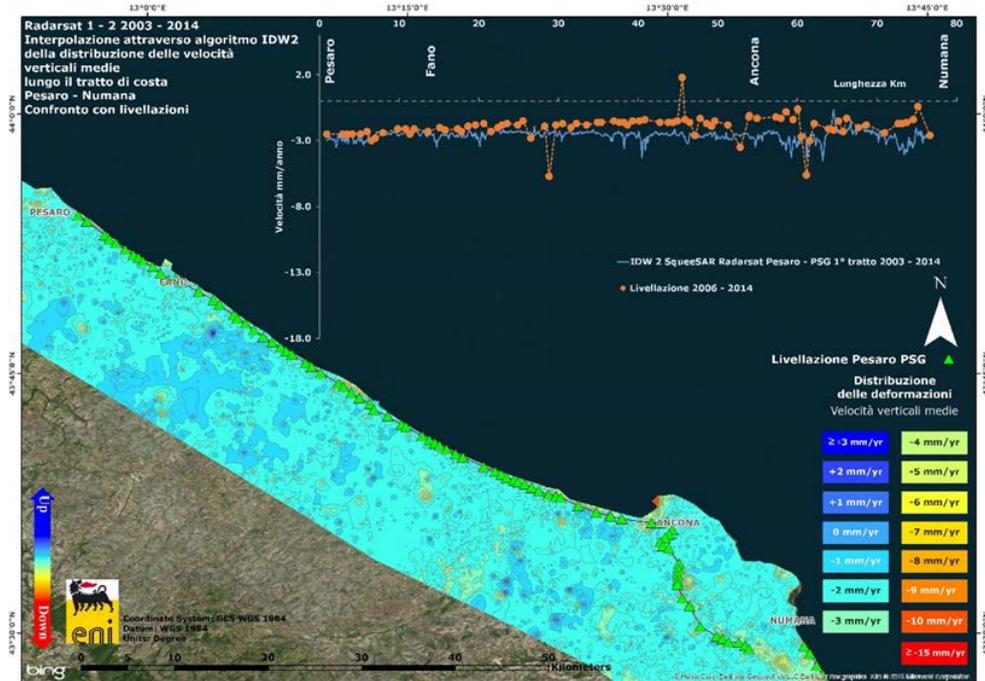


Fig. 10A – Tratto Pesaro – Numana: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

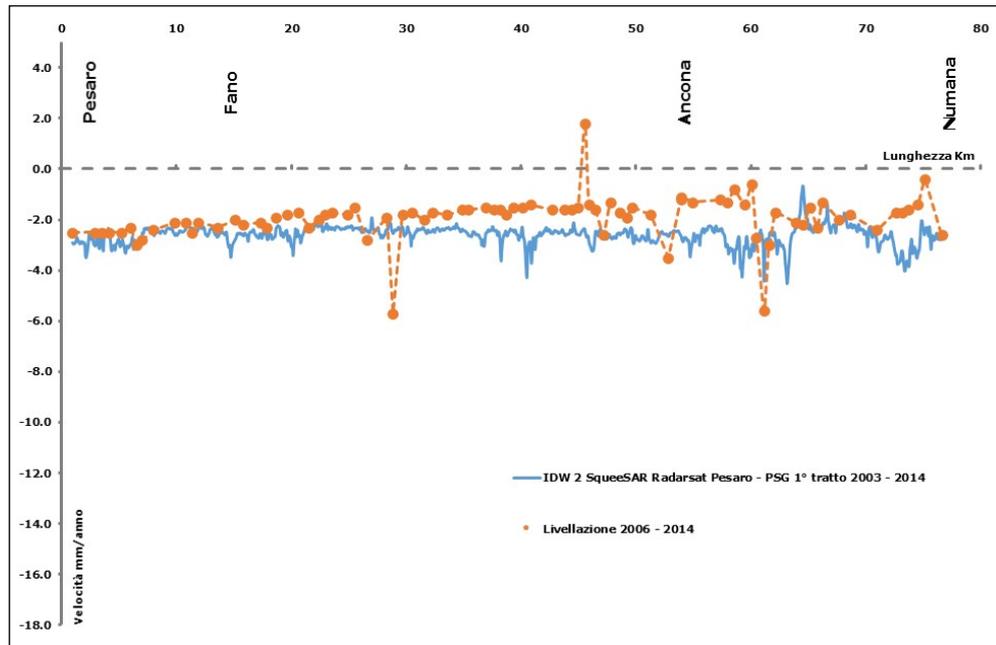


Fig. 11A – Tratto Pesaro – Numana: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

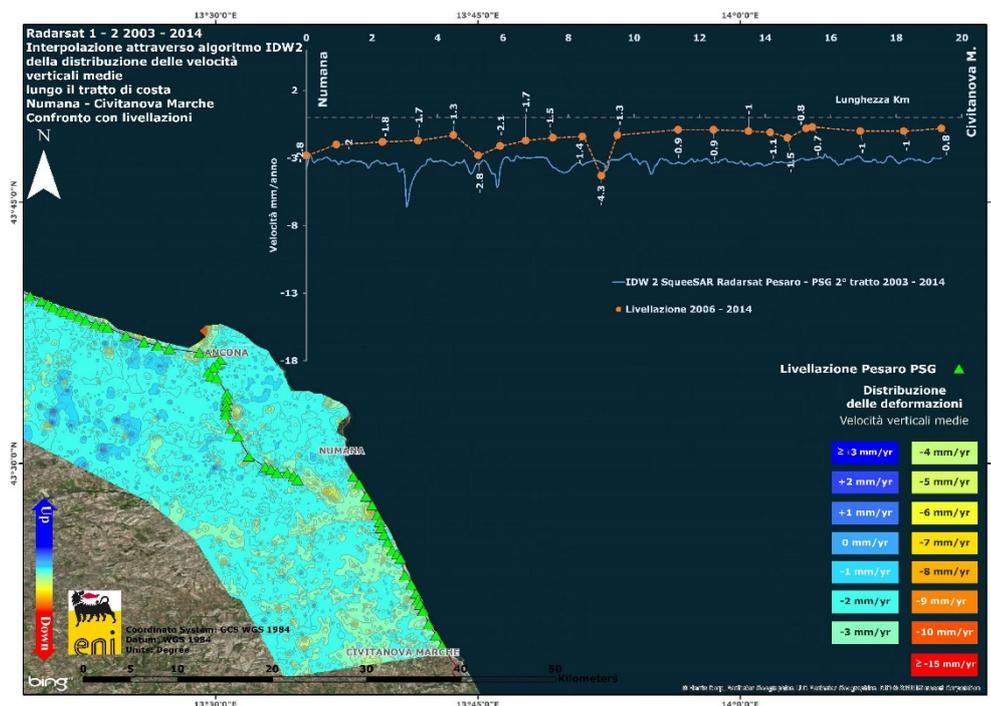


Fig. 12A – Tratto Numana – Civitanova Marche: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

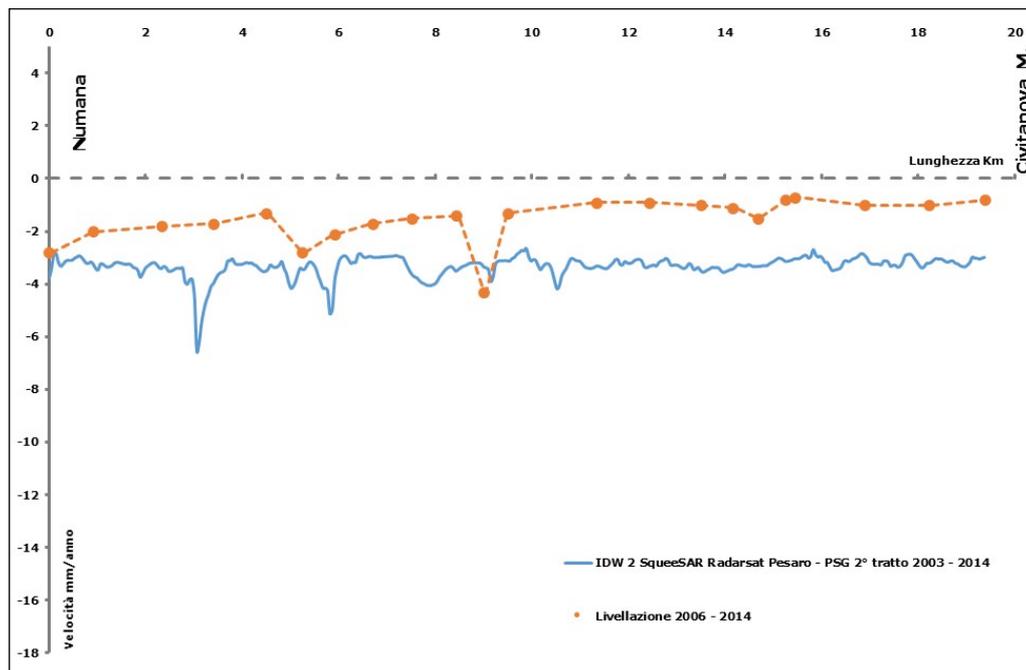


Fig. 13A – Tratto Numana – Civitanova Marche: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radar-sat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si notano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

Appendice 2: stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - aggiornamento dicembre 2014

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.

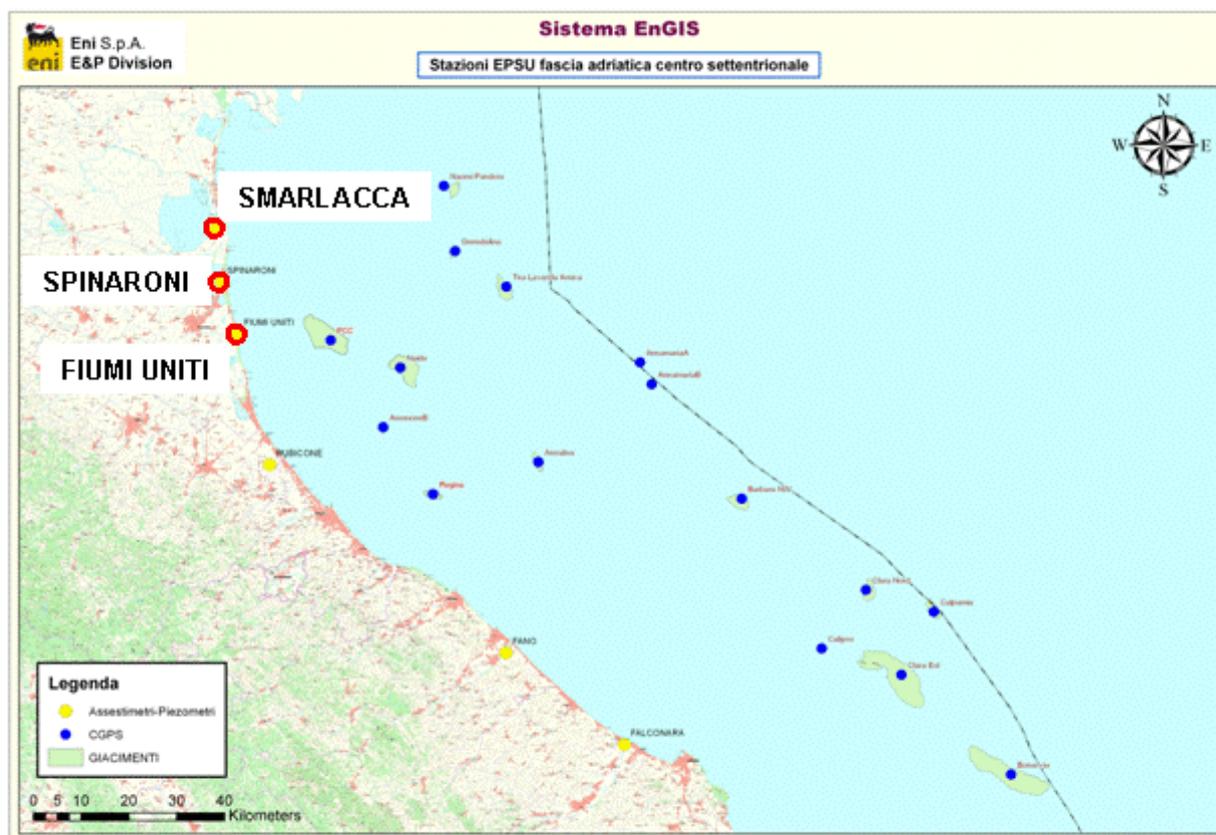


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU.

In generale una stazione EPSU è costituita da un assestometro, 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.

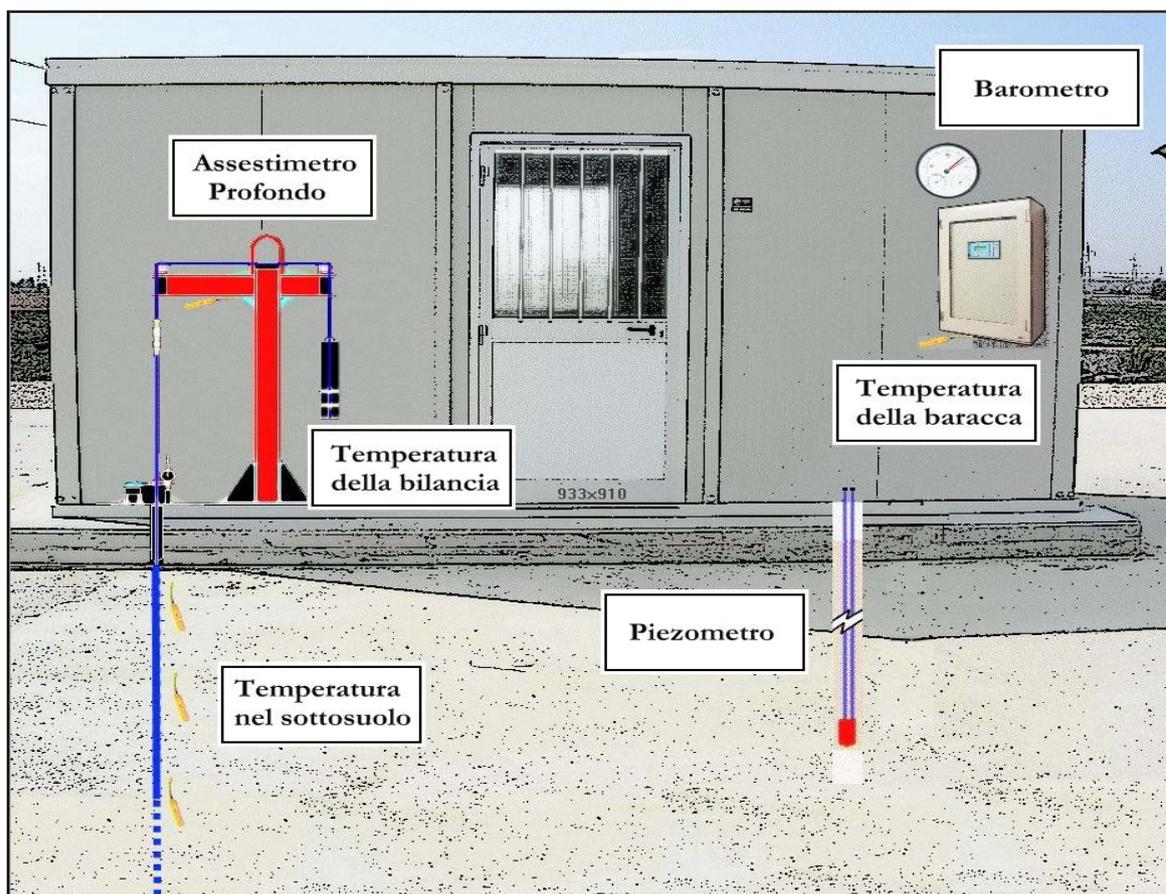


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Stazione EPSU di 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 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 un dato ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, la 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 confronto. 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. 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 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 per quella zona una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a circa 6,5 mm/a.

Un confronto fra i valori diversi 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 assestometriche (per comodità si sono riportate solo quelle registrate dalla strumentazione più profonda) e quelle geodetica 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 assestometrica 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.

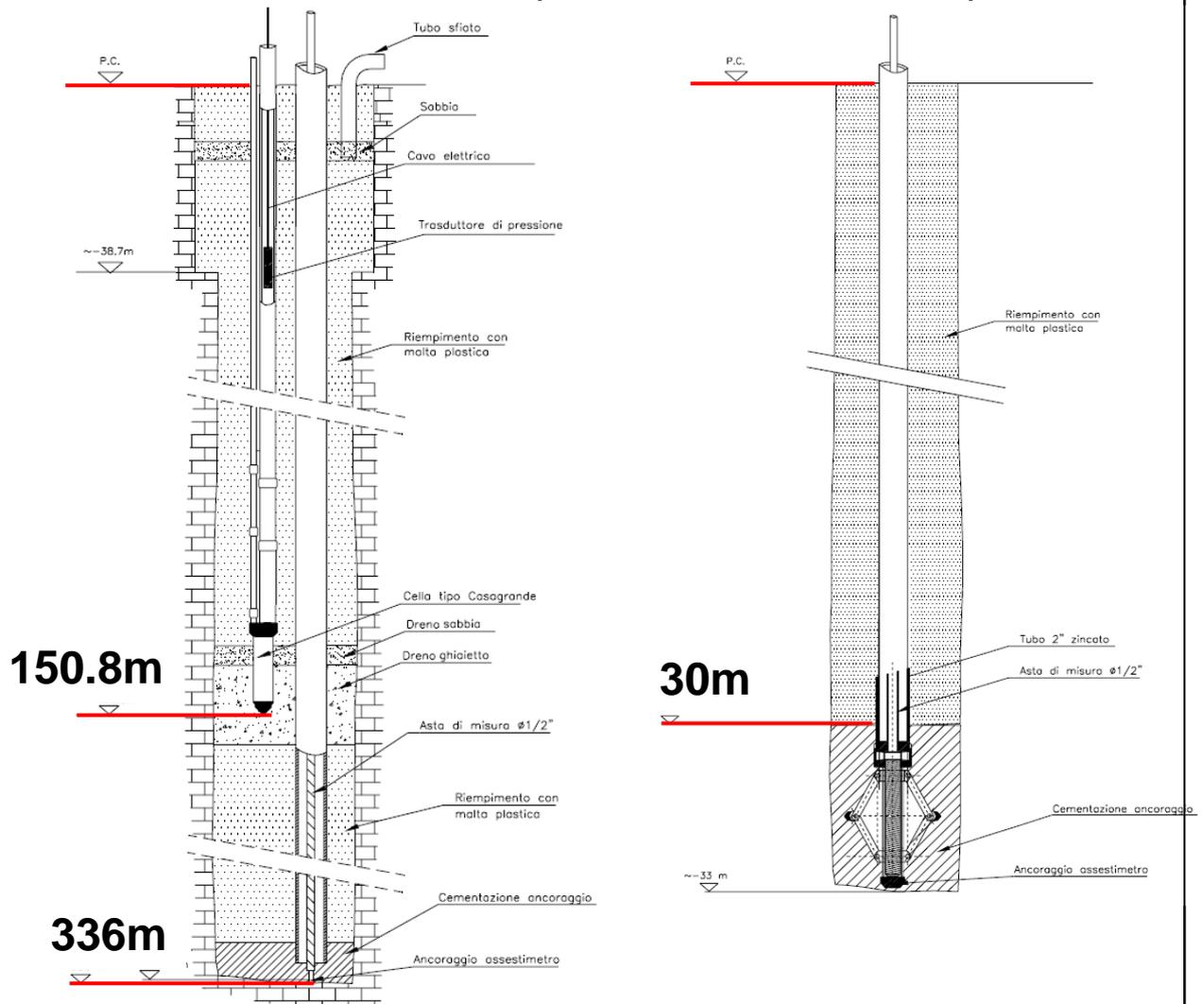


SMARLACCA

Piezometro

Assestimetro profondo

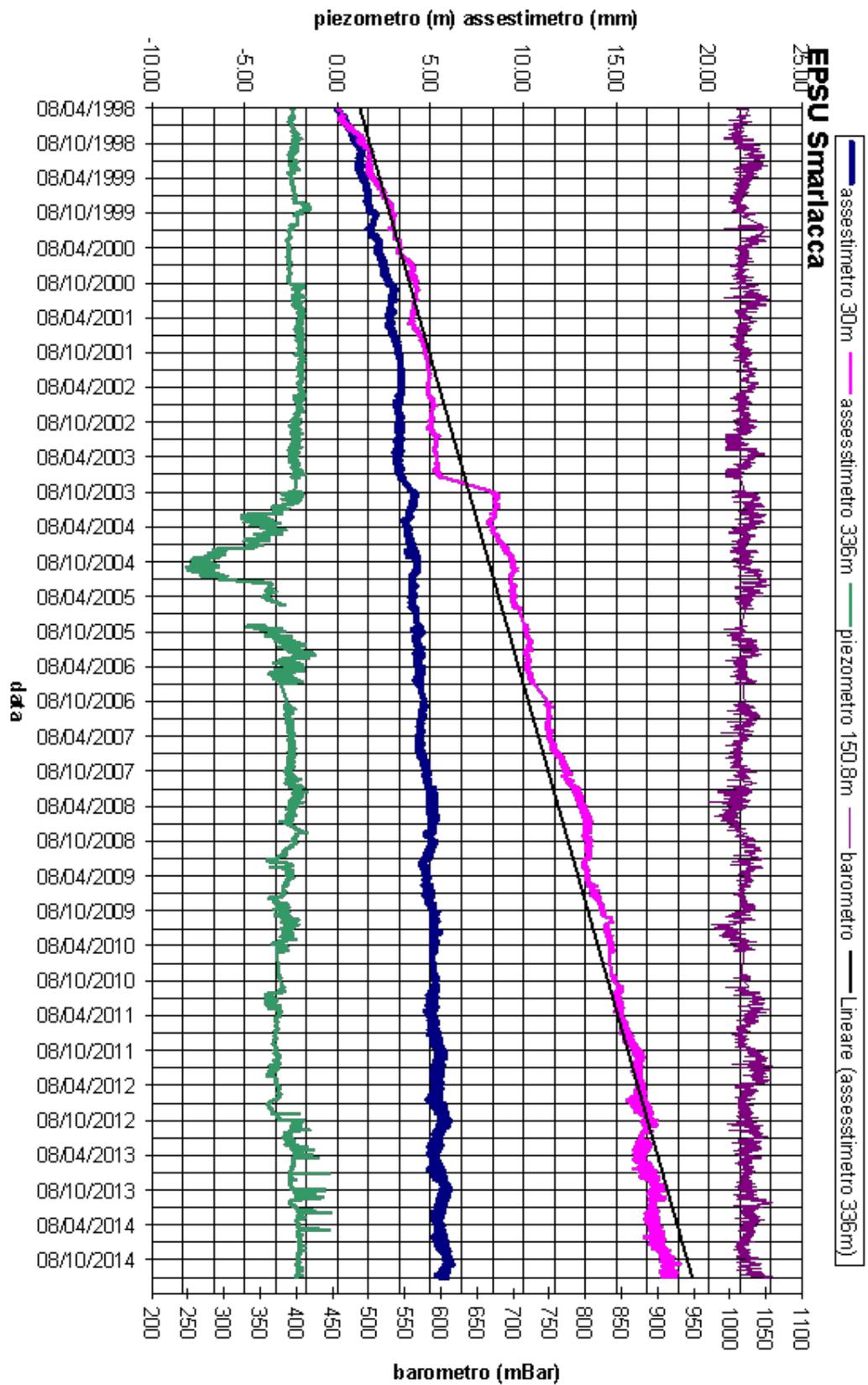
Assestimetro superficiale



non in scala

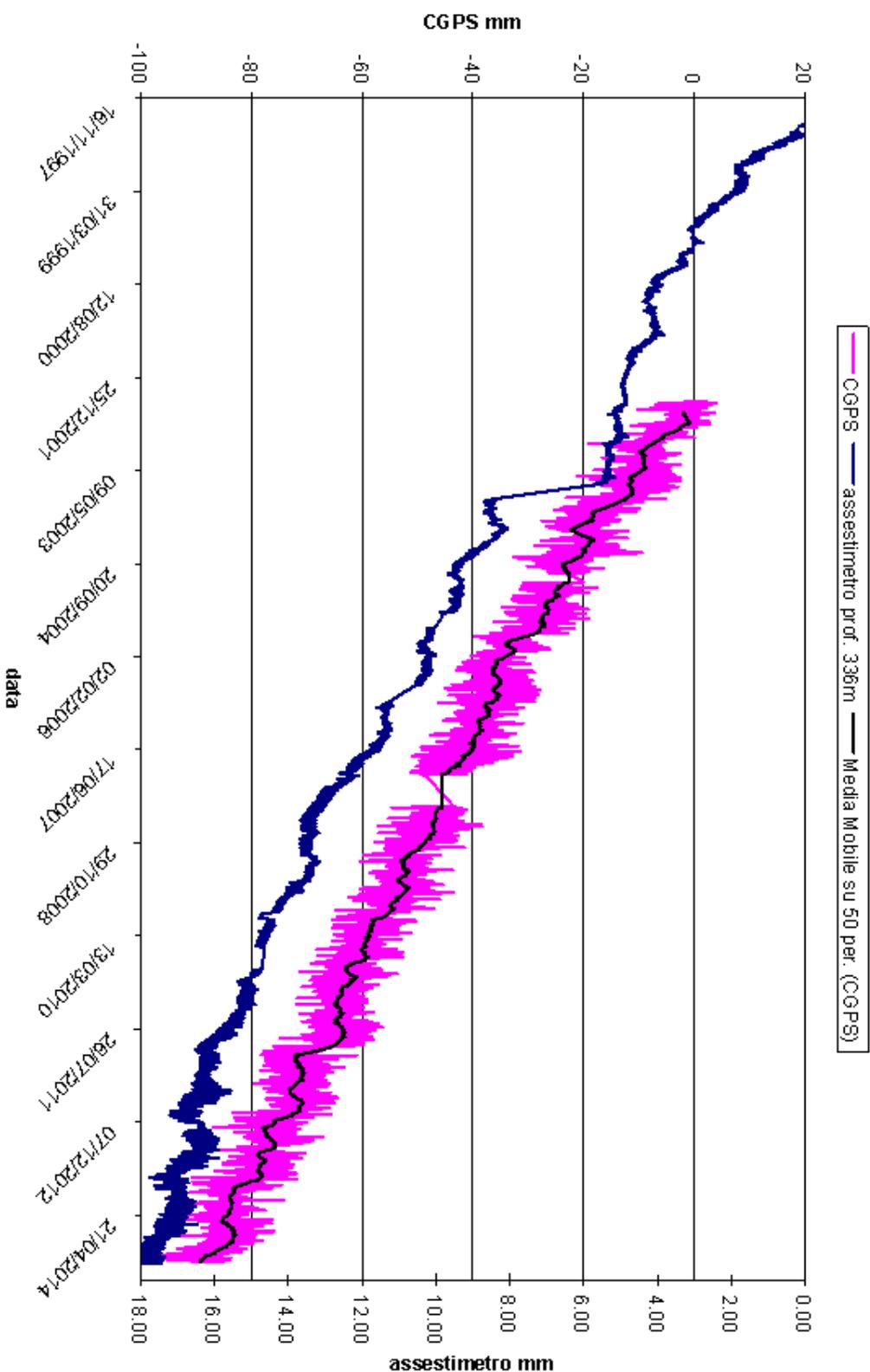


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





SMARLACCA - 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)

 eni spa exploration & production division	Campi di TEA-LAVANDA-ARNICA Novembre 2015	Page - 46 - of 63
---	---	-------------------

Stazione EPSU di Spinaroni - ex PCTA (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 ($\varnothing \frac{1}{2}$ ").

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.

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 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.

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'assestometro 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. Non sono state chiarite le ragioni di tale anomalia.

Per questa stazione si hanno a disposizione circa 17 anni di osservazione. In questi anni si è registrata una compattazione totale di 49,5 mm, corrispondente a una velocità media di 2,9 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 7,7 mm/a.

Un confronto fra i valori diversi 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).

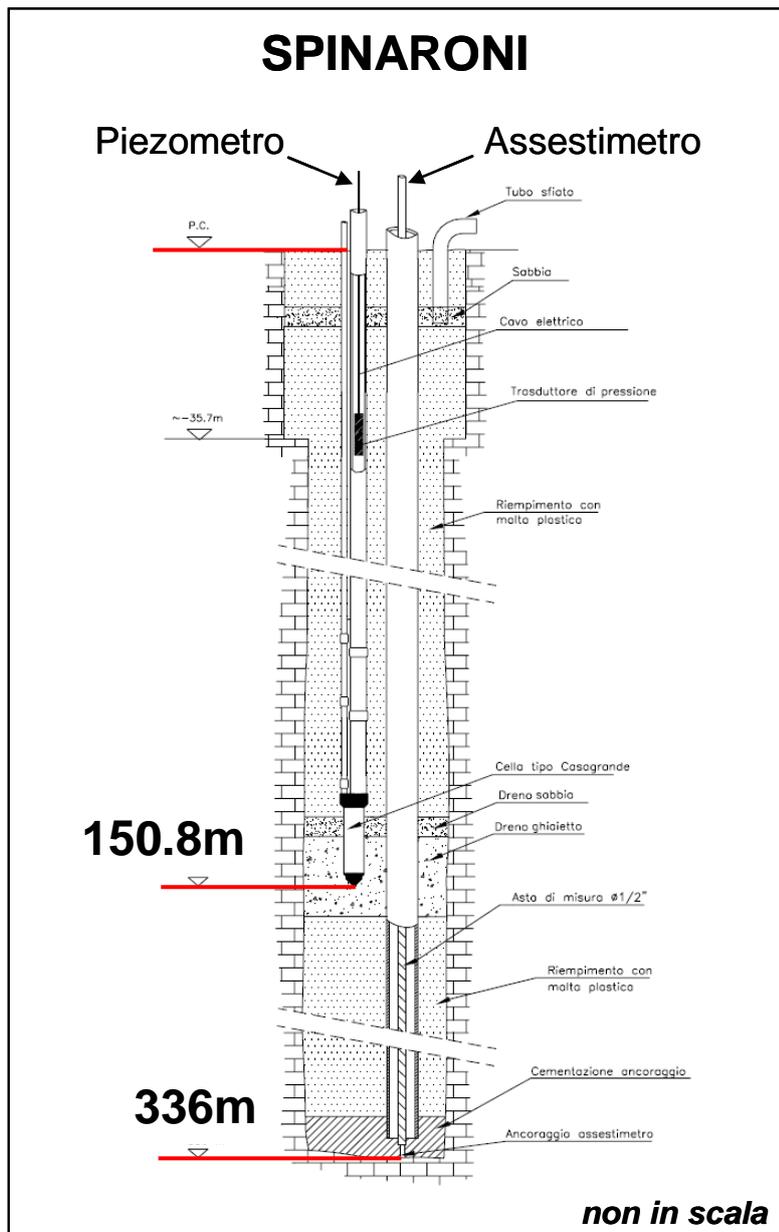
Analisi dei dati piezometrici

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.

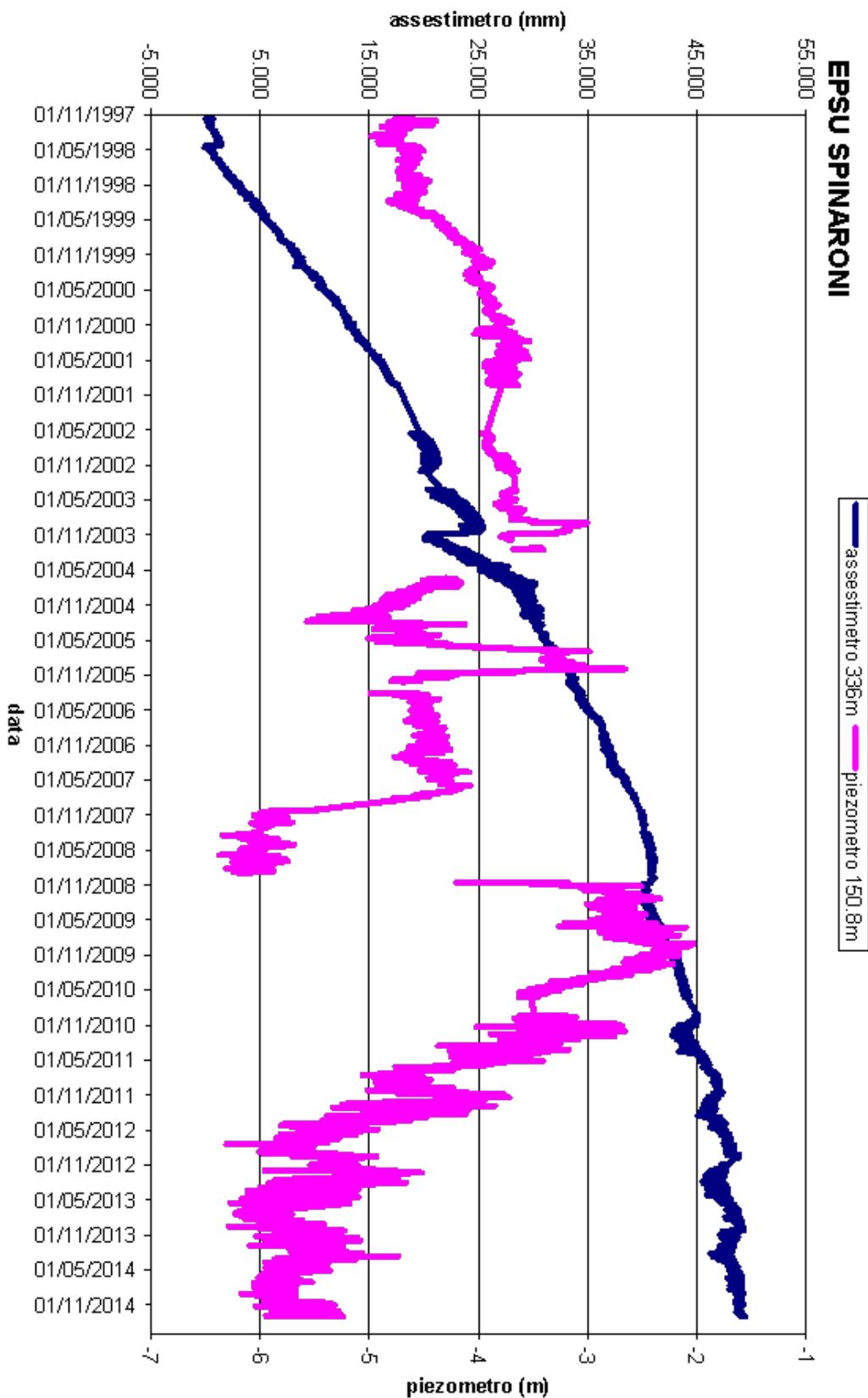
In data 31 gennaio 2006 è stato sostituito definitivamente il trasduttore di pressione nel tubo piezometrico, ponendolo alla profondità di 20 metri rispetto al piano della baracca.

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.



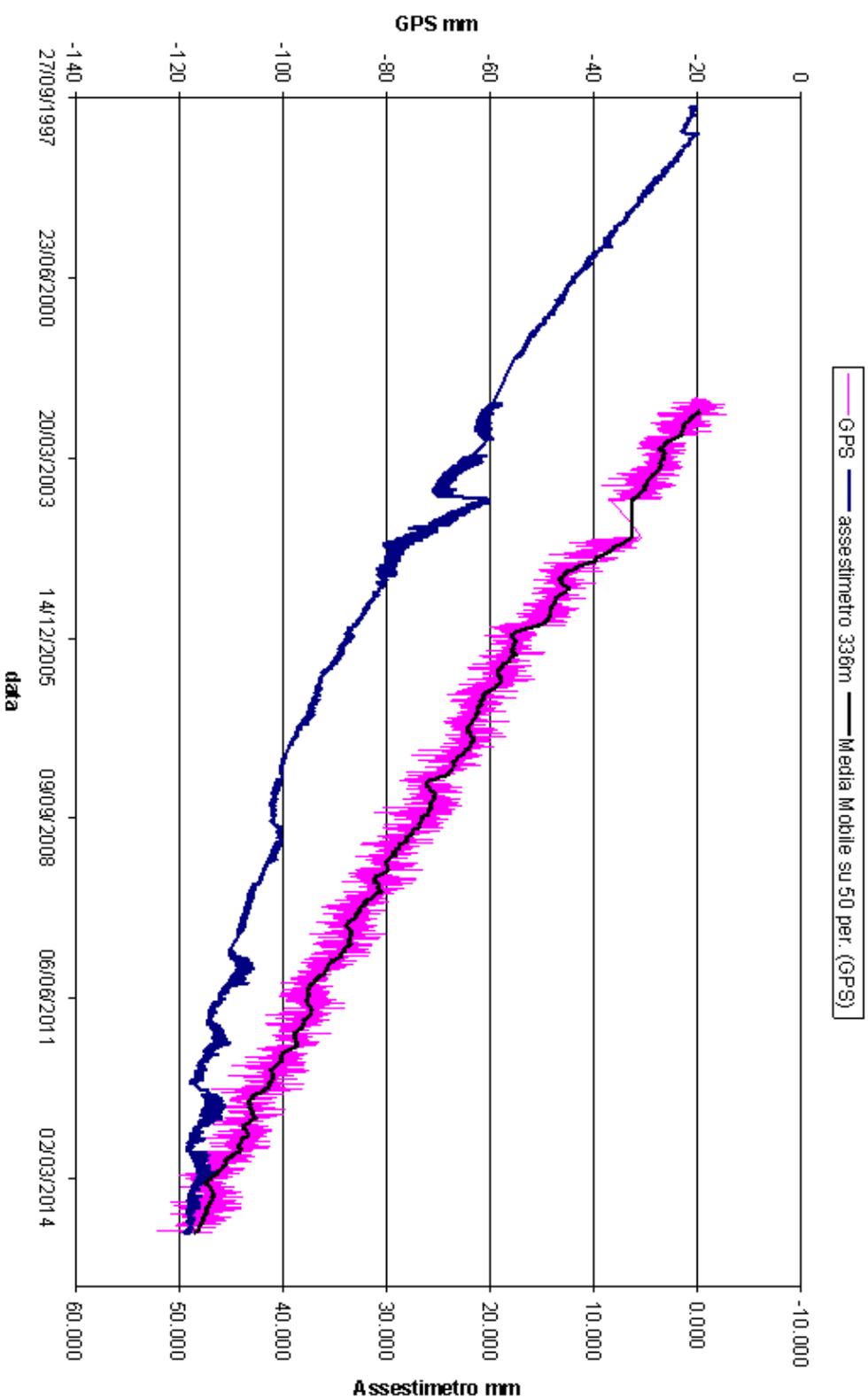


L'assestimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





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

Strumentazione

- assestimetro profondo - quota bottom: 372,85 m da p.c.
- assestimetro superficiale – quota bottom: 224,2 m da 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	10,5	Tubo aperto	da 6,4 a 9,5 m da p.c.
PS-2	30,5	Tubo aperto	da 25,4 a 29,5 m da p.c.
PP-1	373,5	Tubo aperto	da 361,0 a 365,0 m da p.c. e da 366,5 a 372,5 m da p.c.
PP-2	257,0	Tubo aperto	da 241,0 a 245,0 m da p.c. e da 250,0 a 256,0 m da p.c.
PP-3	163,0	Tubo aperto	da 141,1 a 153,2 m da p.c.e da 156,0 a 162,0 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, di fatto, non erano funzionanti, poiché in

 eni spa exploration & production division	Campi di TEA-LAVANDA-ARNICA Novembre 2015	Page - 53 - of 63
---	---	-------------------

comunicazione idraulica tra 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. Lo stesso 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.

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'assestometro 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 20 anni di misure fatte, le due curve assestimetriche mostrano andamenti molto simili, con minimi scostamenti tra loro. 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 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 14,7 mm/a.

Un confronto fra i valori diversi 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 (2002-2014), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestometro 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).

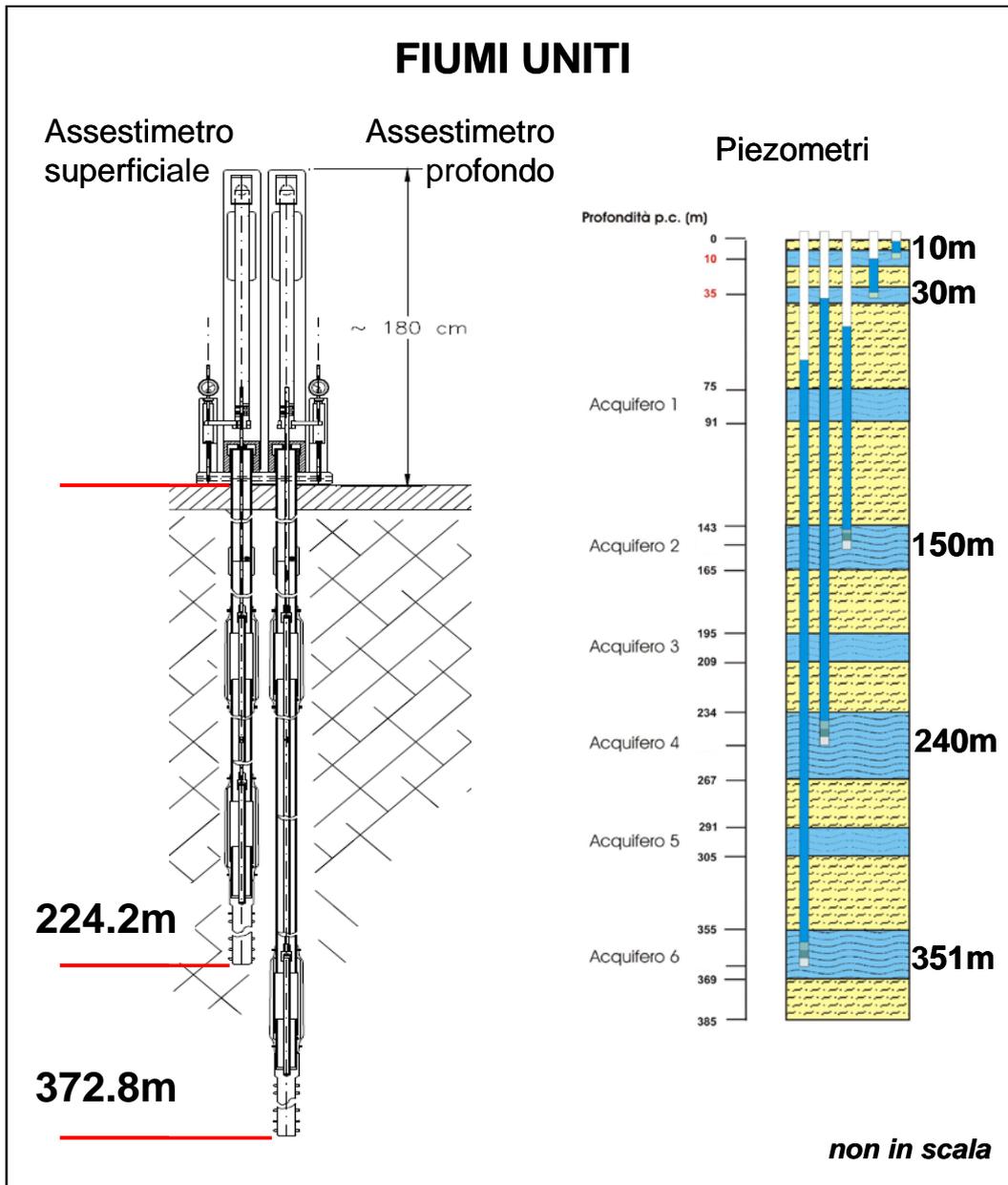
Analisi dei dati piezometrici

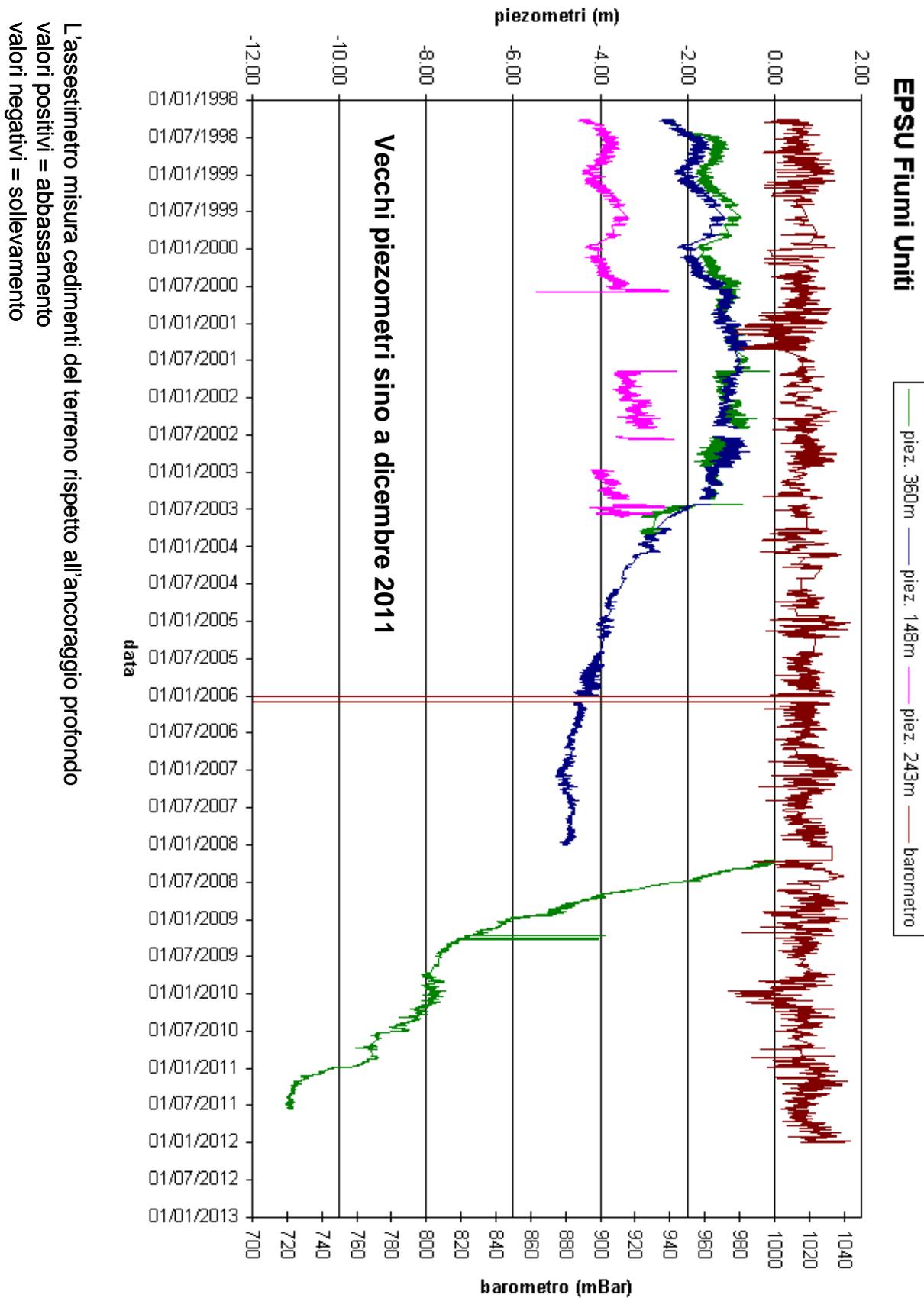
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre verticali piezometriche che, però, nel corso del tempo si sono guastate. Per un lungo periodo, quindi, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle del piezometro più profon-



do, ritenuto attendibile.

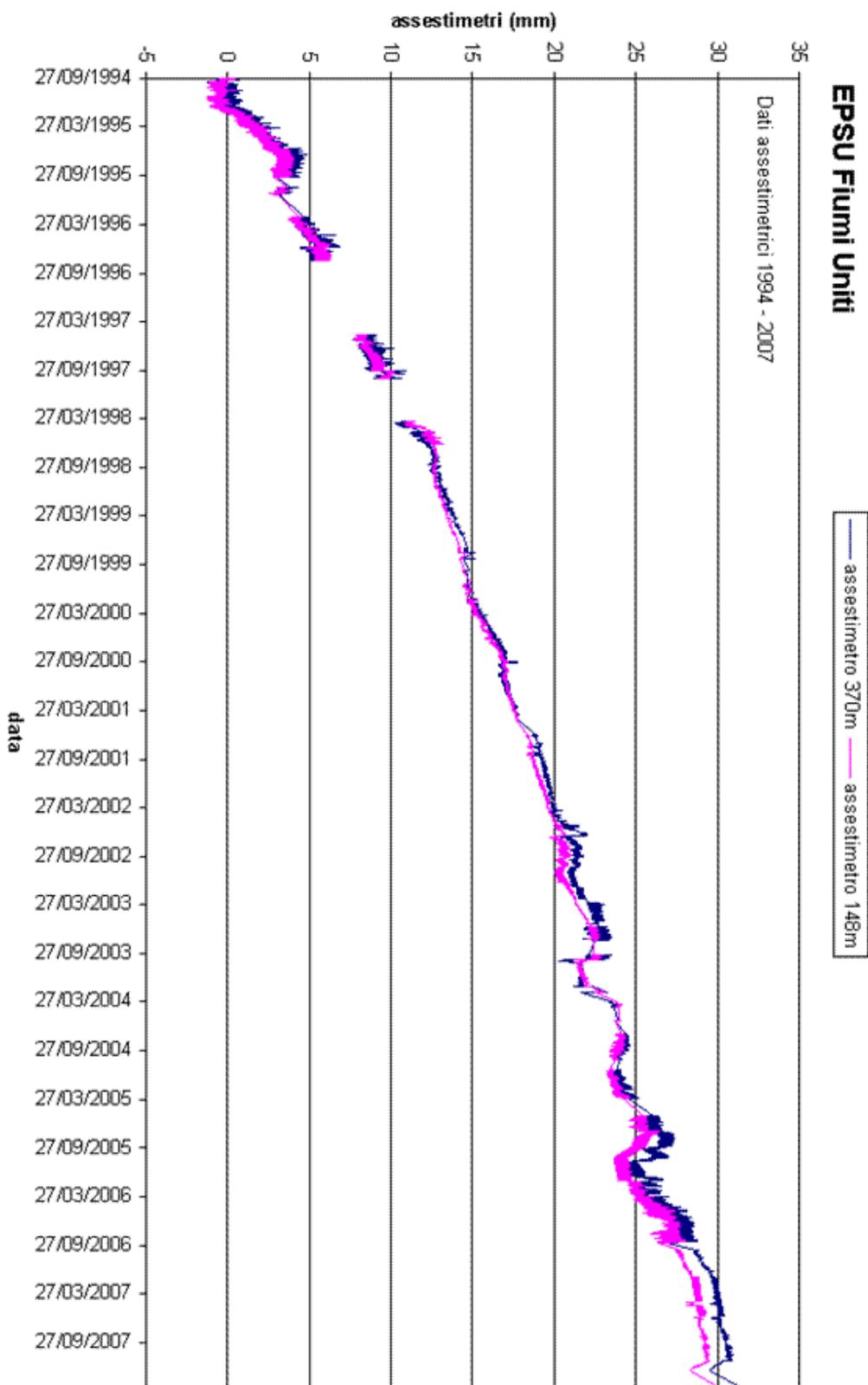
Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici.





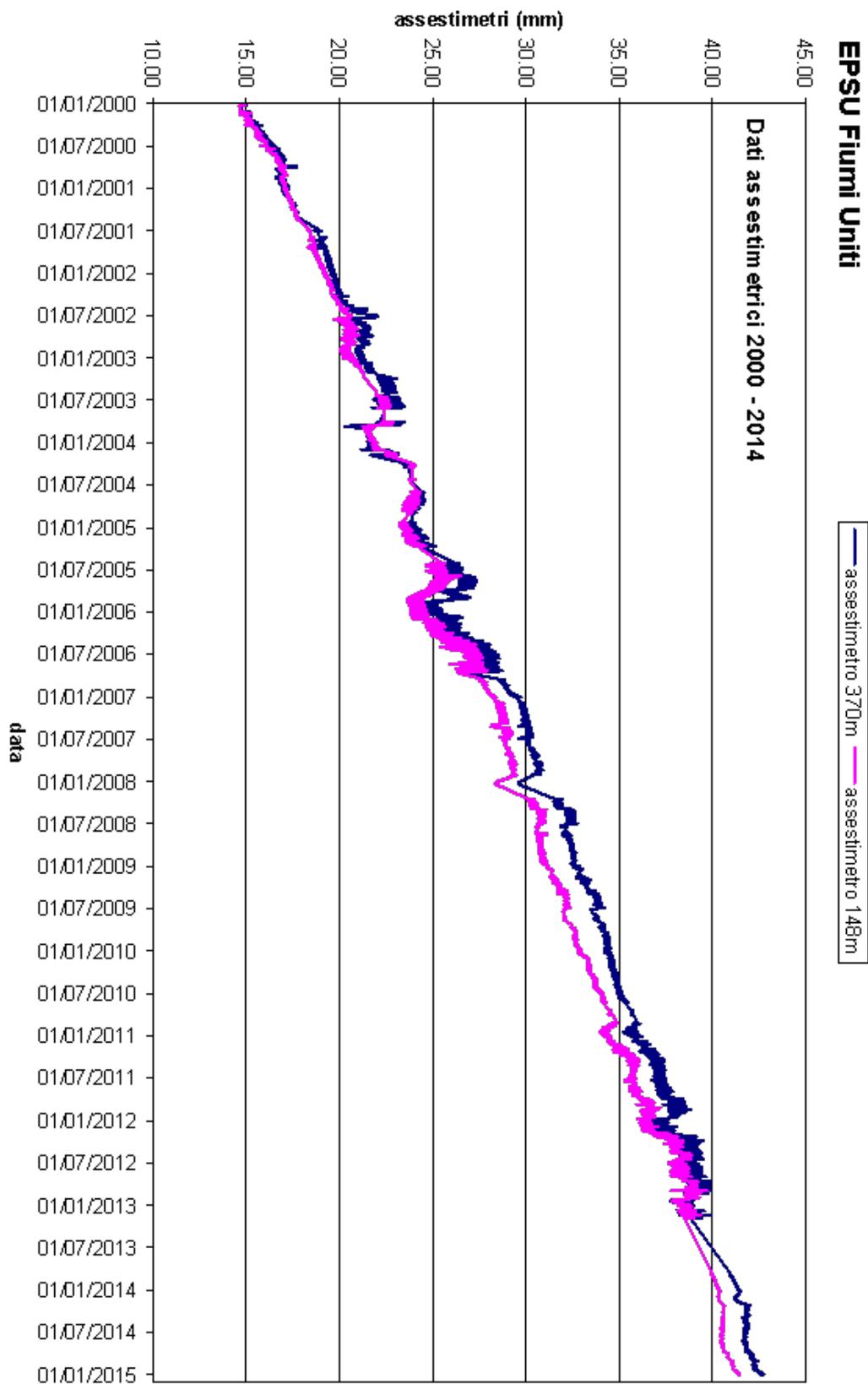


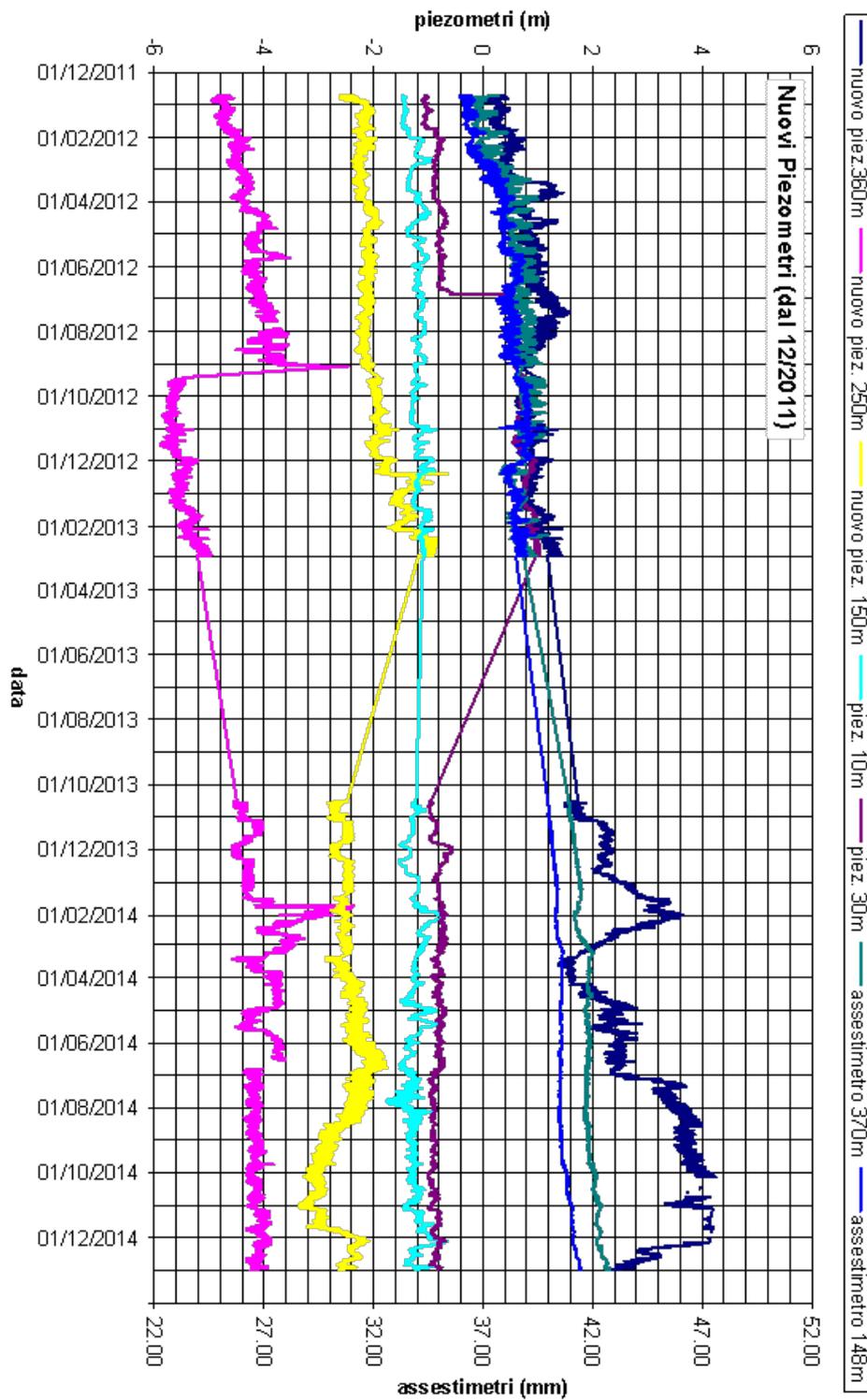
L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento

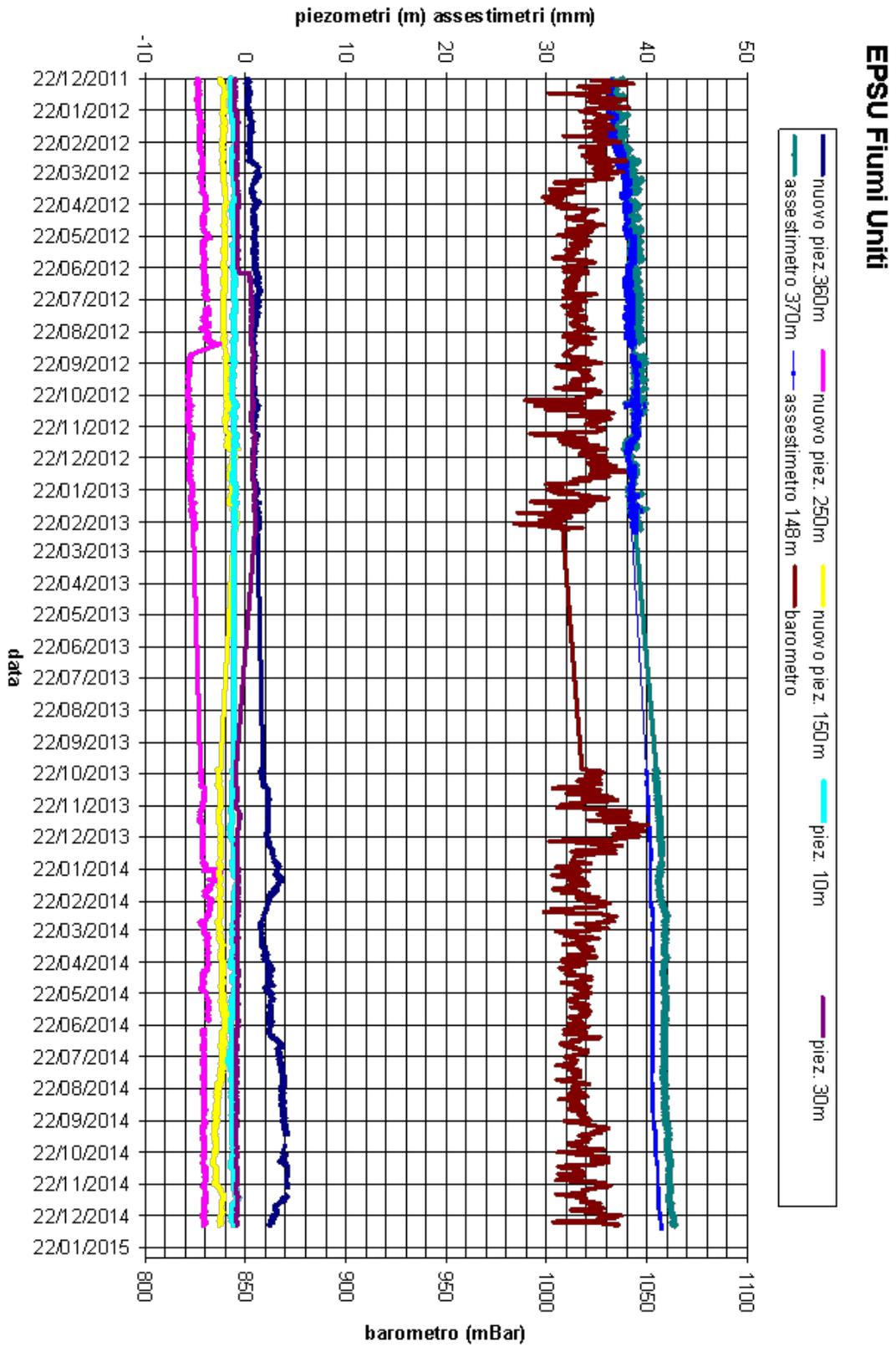




L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento

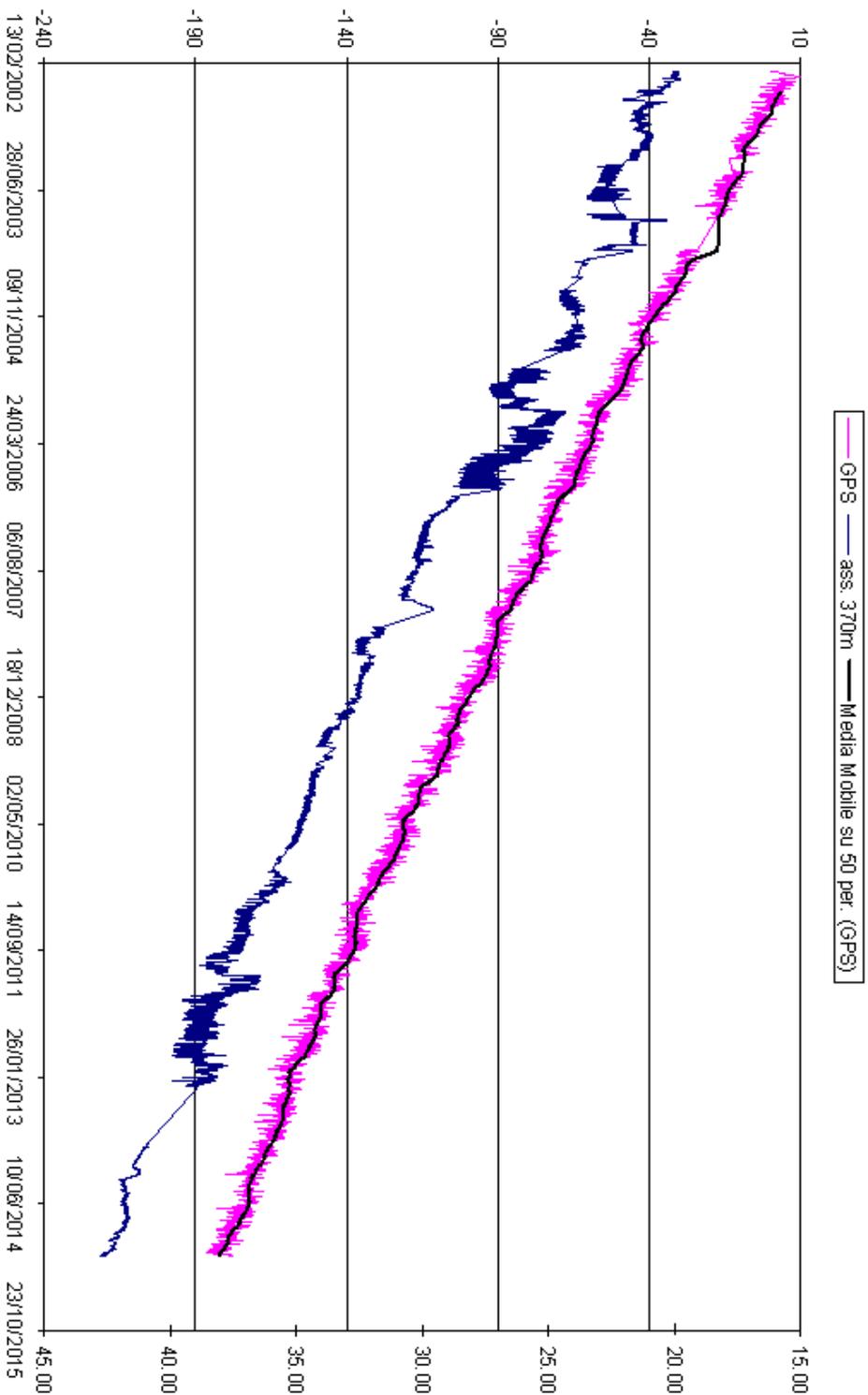








FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assestimento profondo



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 assestimentica 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. Dalle serie storiche di misure disponibili si può, quindi, valutare l'entità della compattazione più superficiale del terreno nelle zone ove sono ubicate dette stazioni.

Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di oltre 16 anni (16,7), durante i quali l'assestometro più profondo ha registrato una compattazione 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 compattazione totale è stata pari a 18,2 mm (ca. 1,1 mm/a).

Un analogo trend nelle misure si rileva anche per l'assestometro più superficiale, che, però, ha registrato una compattazione totale nettamente più ridotta (5,9 mm complessivi, corrispondenti a circa 0,4 mm/a).

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

Per quanto riguarda la piezometria si è già segnalata la non attendibilità del piezometro.

Spinaroni

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 17 anni di osservazioni (17,1) durante i quali si è registrata una compattazione di 49,5 mm (circa 3,0 mm/a) con un andamento, dopo il primo periodo di assestamento, piuttosto regolare tranne che per la brusca variazione dell'ottobre 2003 di cui si è detto in precedenza.

La correlazione dell'andamento nel tempo delle curve GPS e assestimetrica 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 2014- della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 42,8 mm, mentre per quello superficiale detto valore è risultato di ca. 41,5 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di oltre 20 anni (20.27) d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato una velocità media di compattazione di circa 2÷2,1 mm/a.

L'esame delle curve GPS e assestimetrica profonda mostra poi andamenti abbastanza disuguali nei cicli di compattazione ed espansione del terreno registrati dalle due strumentazioni.

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	16,7	18,2	1,1	5,9	0,4
Spinaroni	17,1	49,5	3,0	-	-
Fiumi Uniti	20,3	42,8	2,1	41,5	2,0