



## Campo di Naomi-Pandora

Aggiornamento al 31/12/2016

Il campo di Naomi-Pandora è composto da due giacimenti, distanti 5 km l'uno dall'altro, che sono ubicati nell'offshore adriatico (concessione A.C33.AG - Eni 100%) a circa 35 km dalla costa. La profondità dell'acqua nell'area è di circa 35-38 m (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C33.AG	26/01/2026	Eni	Eni	100%	Emilia-Romagna

I livelli mineralizzati di tali giacimenti appartengono alle medesime formazioni clastiche del Pliocene superiore (Fm. Porto Garibaldi – livelli PL3-H1 e PL3-H2) e si trovano all'incirca alla stessa profondità (2630 m slm). Dette formazioni si sono depositate come riempimento di strutture a canyon sottomarino incise nel basamento (piattaforma continentale croata) e chiudono per pinch-out contro il basamento stesso (Figura 2).

Il campo si sviluppa per uno spessore complessivo di circa 80 m (da 2600 m ssl a 2680 m ssl) e ha un'estensione di circa 78,4 km<sup>2</sup>.

Il giacimento di Naomi è stato scoperto nel 1995 con la perforazione del pozzo esplorativo Naomi 1 che ha rinvenuto mineralizzati a gas i livelli PL3-H1 e PL3-H2. Il pozzo è stato provato e chiuso minerariamente. A febbraio 1995 è stato perforato il pozzo Naomi 1 dirA, che ha verificato la presenza del livello PL3-H1 in posizione di alto strutturale. Anche in questo caso si è fatta la chiusura mineraria.

Il giacimento di Pandora è stato scoperto nel 1996 con la perforazione del pozzo Pandora 1 che ha rinvenuto mineralizzato il livello PL3-H1; la struttura di Pandora è adiacente ma spostata più a ovest rispetto a quella di Naomi. Anche il pozzo Pandora 1 è stato provato e chiuso minerariamente.

Nel dicembre 1998 Eni ha presentato ai Ministeri dell'Ambiente, dell'Industria e alla Regione Emilia-Romagna un piano di sviluppo del campo di Naomi-Pandora che prevedeva l'installazione di una piattaforma di tipo BEAF, la perforazione di 4 pozzi (2 per il giacimen-



to Naomi e 2 per quello di Pandora) e la posa di un sealine per inviare la produzione alla piattaforma Garibaldi T.

Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto da uno studio di giacimento (modello monocella) del febbraio 1998 che valutava le riserve a vita intera pari a 1611 MSm<sup>3</sup> producibili in 12 anni, con un picco di produzione giornaliera di 500 kSm<sup>3</sup>/g. Con il DEC/VIA n° 5369 del 04/10/2000, il Ministero dell'Ambiente esprimeva giudizio positivo di compatibilità ambientale e approvava il programma lavori presentato.

Lo studio di giacimento di Naomi-Pandora è stato poi rivisto nel 2000 (rel. *RAIP n.021-00 dell'agosto 2000, "Revisione Modello 3D dinamico per Fattibilità"*), aggiornando sia il GOIP complessivo del campo a 3454 MSm<sup>3</sup> (di cui 2955 MSm<sup>3</sup> attribuibili a Naomi e 499 MSm<sup>3</sup> a Pandora), sia il volume di riserve producibili al 2030 e risultate pari a 2340 MSm<sup>3</sup> (fattore di recupero del 68%).

Nel 2001 si è sviluppato il campo perforando e completando 3 pozzi (Naomi 2 dir, Naomi 3 dir e Pandora 2 dir); un quarto pozzo perforato (Naomi 4 dir) è stato dedicato al monitoraggio della compattazione profonda con l'installazione di marker.

I pozzi sono stati aperti alla produzione nell'agosto 2001 con una portata iniziale di circa 370 kSm<sup>3</sup>/g e hanno erogato sino al 01 febbraio 2003. A tale data il campo è stato chiuso a seguito di un provvedimento dell'Autorità Giudiziaria che ha posto i sigilli ai pozzi il 5 febbraio 2003.

Nel 2010 è stato autorizzato il ripristino della produzione, avvenuto di fatto ad aprile 2011. Alla riapertura dei pozzi, solo la string Naomi 3C ha erogato gas con una portata di circa 150 kSm<sup>3</sup>/g. Le altre due string (Naomi 2L e Pandora 2S) non sono state, invece, in grado di produrre essendosi colmate d'acqua di strato e/o danneggiate nel lungo periodo di chiusura (8 anni circa). Tali eventi sono probabilmente da ricollegare alla non perfetta riuscita delle operazioni di completamento iniziale dei pozzi.

E' stato, pertanto, presentato un progetto che prevedeva la perforazione di due sidetrack a partire dai pozzi esistenti di Naomi 2 dir (sidetrack Naomi 2 dirA) e di Pandora 2 dir (sidetrack Pandora 2 dirA) per recuperare le riserve rimanenti del campo (rel. *GIAC/CS n. 27-11 dell'agosto 2011*). Il progetto è stato realizzato e completato nel luglio 2012.



A gennaio 2011 è stata inoltrata al M.S.E. la *“Relazione Tecnica di Giacimento e sullo Stato degli Impianti - Anno 2010”* relativa alla concessione A.C33.AG nella quale si è aggiornato lo stato del campo. In tale relazione si riportavano volumi del GOIP (3454 MSm<sup>3</sup>) delle riserve (2350 MSm<sup>3</sup> producibili al 2036) sostanzialmente in linea con le valutazioni dello studio dell'agosto 2000 (2340 MSm<sup>3</sup> producibili al 2028).

Nel 2013 è stata fatta una nuova revisione degli studi statico e dinamico di giacimento per il campo di Naomi-Pandora (*rel. GISE-26/13 del 19/12/2013, Campi di Naomi e Pandora – Studio di Giacimento*), che ha aggiornato sia il GOIP complessivo a 3638 MSm<sup>3</sup> (di cui 3106 MSm<sup>3</sup> attribuibili a Naomi e 532 MSm<sup>3</sup> a Pandora) sia il volume delle riserve a 2301 MSm<sup>3</sup> (producibili al 2038) che si sono leggermente ridotte (circa il 2%) rispetto a quanto stimato nel gennaio 2011.

In Figura 3 è riportato il confronto tra il profilo di produzione (modello Eclipse 3D) del dicembre 2013 e la produzione reale.

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g) e della produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/2016, (pari a circa 980 MSm<sup>3</sup>).

In Figura 5 sono presentati i confronti tra il profilo di pressione calcolato dal modello Eclipse 2013 e le pressioni statiche misurate per il livello PL3-H1 ritenuto il più rappresentativo del campo. Tale confronto evidenzia il buon accordo tra la previsione modellistica e il comportamento reale di questo livello.

Per il campo di Naomi-Pandora si sono fatte diverse previsioni di subsidenza con modelli geomeccanici di complessità crescente in relazione ai dati giacimentologici, dinamici e geomeccanici che via via si rendevano disponibili.

In particolare, per il SIA del dicembre 1998, presentato per l'approvazione del progetto iniziale di sviluppo, si è utilizzato il modello cilindrico di Geertsma basato sullo studio di giacimento (mod. monocella) del febbraio 1998. La subsidenza massima prevista con tale modello è stata a fine produzione di 1,2 cm sul culmine del giacimento di Naomi (*“Valutazione preliminare dei massimi valori di subsidenza previsti per i campi a gas di Naomi e*

*Pandora” - Allegato al S.I.A. per l’istanza di concessione di coltivazione “d.24.A.C. – AG”, progetto Naomi-Pandora - doc. n. 2479 del dic.1998).*

Sulla base delle nuove informazioni acquisite con la perforazione dei pozzi e con i dati dinamici ottenuti dall’analisi del loro comportamento produttivo, si sono completamente rivisti gli studi statico e dinamico di giacimento. Per la parte dinamica si sono fatte simulazioni 3D con il modello Eclipse per avere una dettagliata ricostruzione della distribuzione delle pressioni in giacimento.

Il nuovo modello di giacimento è servito, poi, come base per una nuova previsione di subsidenza, eseguita nel 2002 con un modello geomeccanico 3D a elementi finiti (rel. *Isamgeo maggio 2002- Campi a gas di Naomi-Pandora-Modello predittivo di subsidenza*). In tale revisione si è fatta un’analisi dettagliata delle proprietà meccaniche dei livelli in produzione. In particolare per il coefficiente di compressibilità uniassiale  $C_m$  si sono confrontati i valori ottenibili con due diversi metodi:

- a) una correlazione elaborata da ricercatori dell’Università di Padova<sup>1</sup> utilizzando le misure in situ di compattazione profonda fatte in pozzi Eni situati nell’offshore adriatico ed equipaggiati con marker;
- b) un modello geostatistico elaborato da Isamgeo sulla base di dati forniti da Eni comprendenti numerose misure di laboratorio, le misure di compattazione profonda di cui al punto precedente e stime di velocità sismica dei sedimenti profondi dell’area adriatica.

I due diversi approcci hanno prodotto valori di compressibilità uniassiale  $C_m$  sostanzialmente equivalenti, per cui si è deciso d’impiegare la correlazione di *Baù et al.* per la stima del coefficiente  $C_m$  nelle previsioni di subsidenza.

Per quest’ultime si sono esaminati due casi:

- 1) Caso Atteso. La previsione è stata fatta utilizzando il valore atteso (i.e. più probabile) della compressibilità  $C_m$ . I risultati coincidono sostanzialmente con quelli del modello cilindrico di Geertsma sia per il valore massimo di subsidenza (1,4 cm alla fine della produzione prevista nel 2031) che per l’estensione del cono di subsidenza.
- 2) Caso Pessimistico. La previsione è stata fatta utilizzando i valori di compressibilità uniassiale  $C_m$  corrispondenti alla curva superiore al 95% della correlazione di *Baù et al.* In

---

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

pratica i valori di  $C_m$  impiegati sono stati il doppio di quelli del "Caso Atteso". I risultati sono stati di una subsidenza massima di circa 3 cm a fine produzione; l'estensione del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 1 cm)<sup>2</sup> è ovviamente risultata estremamente contenuta e confinata sulla verticale dei giacimenti.

Il modello geomeccanico del 2002 è stato aggiornato nel 2003 (rel. *Isamgeo gennaio2003-Campi a gas di Naomi-Pandora - Modello predittivo di subsidenza - Rapporto Finale*) disponendo di nuove informazioni, quali:

- a) la stima di compressibilità dei livelli Naomi-Pandora ottenuta monitorando la compattazione profonda tramite i marker installati nel pozzo Naomi 4D;
- b) la distribuzione delle pressioni nei due giacimenti e nell'acquifero idraulicamente connesso ottenuta da simulazioni con modello Eclipse 3D, previa calibrazione con i dati di un anno e mezzo di produzione.

Anche in questo aggiornamento si sono esaminati due casi di previsione di subsidenza per valutare la sensibilità dei risultati al variare del metodo con cui si sono valutati e scelti i valori di compressibilità uniassiale  $C_m$  usati nelle simulazioni.

In particolare

- Caso A: si sono impiegati i valori di  $C_m$  ottenuti dalla correlazione regionale di *Baù et al.* (analogamente a quanto effettuato nello studio del 2002);
- Caso B: si sono impiegati i valori di  $C_m$  ottenuti dalle misure in situ sul pozzo Naomi 4D.

I risultati sono stati confrontati sia con le previsioni del modello del dicembre 1998 (allegate al SIA) sia con quelle dello studio Isamgeo del 2002.

---

<sup>2</sup> Nei modelli geomeccanici di Naomi-Pandora realizzati da Eni nel periodo 1998-2003 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.

Le conclusioni che si possono trarre sono:

1. la previsione di subsidenza del Caso A coincide sostanzialmente con quella sia del modello cilindrico di Geertsma che del modello Isamgeo del 2002 in termini di valore massimo (poco oltre 1 cm) e d'estensione del cono;
2. la previsione di subsidenza del Caso B dà risultati lievemente più pessimistici di quelli ottenuti sia con il modello cilindrico di Geertsma che con il modello Isamgeo del 2002.

Più in dettaglio per quest'ultimo caso si ha:

- la subsidenza massima prevista è di circa 2-3 cm sulla verticale dei due giacimenti;
- l'estensione del cono verso costa è minima e si esaurisce a breve distanza dai giacimenti.

I risultati di tutti gli studi geomeccanici eseguiti indicano che un'eventuale subsidenza indotta dalla produzione del campo di Naomi-Pandora sarebbe d'entità trascurabile e non causerebbe alcun impatto sia sulla costa emiliano-romagnola, sia sul delta del Po.

A seguito della ripresa della produzione avvenuta nell'aprile del 2011 e delle nuove informazioni ottenute sul comportamento dei due giacimenti, si sono aggiornati nel corso del 2013 sia gli studi statico e dinamico del campo; sia il modello geomeccanico per la previsione della subsidenza.

**Tabella 1 – Scenari medio e upper: massima subsidenza e massima estensione del cono**

Scenario	1-gen-2038		1-gen-2068	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
medio	2	2	3	3
upper	6	8	7	8

I risultati di questo lavoro (Tabella 1) mostrano, per lo scenario *medio* (scenario di riferimento), un valore massimo di subsidenza di circa 2 cm al termine della produzione del campo (01/01/2038). La massima estensione del fenomeno, valutata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea d'isosubsidenza dei 2 cm, è di circa 2 km al termine della produzione. Dopo 30 anni dalla fine della produzione (01/01/2068) il valore massimo di subsidenza si assesta sui 3 cm, mentre la massima estensione è di circa 3

km. Il fenomeno si esaurisce, quindi, a una distanza di circa 34 km dalla linea di costa. Tale valore rimane inalterato anche tra il 2038 e il 2068.

Per lo scenario upper, invece, al termine della produzione del campo (01/01/2038) il valore massimo di subsidenza previsto è di 6 cm e la massima estensione del fenomeno è di circa 8 km. Dopo 30 anni dalla fine della produzione (01/01/2068) il valore massimo di subsidenza è previsto raggiungere i 7 cm, mentre la massima estensione rimane invariata (8 km). Nello scenario upper il fenomeno si esaurisce a una distanza di circa 29 km dalla costa, distanza che rimane inalterata tra il 2038 e il 2068 (Figura 6 e Figura 7)

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.

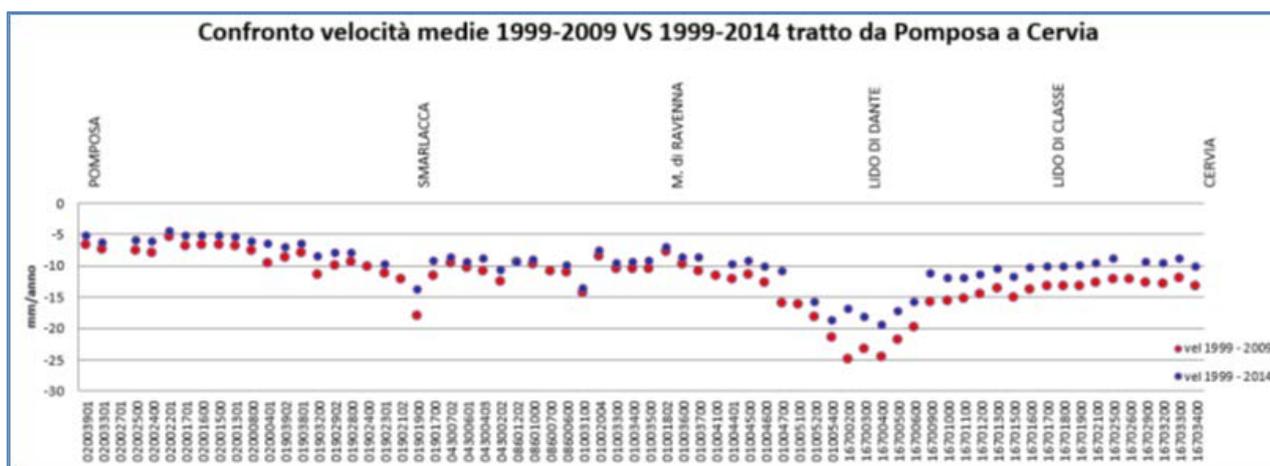


Si ritiene, inoltre, opportuno sottolineare che sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine 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 stimate 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 gli intervalli 1999-2009 e 1999-2014 sono riportati in Figura A: il confronto mostra come negli ultimi anni si sia avuta una generale diminuzione 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 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. Considerando, infatti, nel tratto di costa da Pomposa a Cervia solo i capisaldi con una serie storica ininterrotta di, misure, se ne possono analizzare le relative velocità medie di abbassamento del suolo<sup>3</sup> ( $V_a$ ) - 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 (il prossimo rilievo è previsto nel 2017) potranno eventualmente meglio definire tale trend d’abbassamento, anche se non si possono escludere cedimenti locali dovuti a instabilità dei capisaldi stessi che saranno, comunque, oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

Sebbene non siano presenti capisaldi con monumentazione e serie storica di misure sufficiente per un confronto puntuale con i dati CGPS, 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).

---

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

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2016) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 8).

Le attività di monitoraggio sono state potenziate negli ultimi anni mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore. Dal 2007, infatti, ne sono state installate sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008) e di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto 2011). Le stazioni CGPS di Naide e PCC sono, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. In tempi più recenti, sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Bonaccia-NW (settembre 2015) e, infine, di Clara NW (marzo 2016).

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

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una trave di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007; 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. Nel novembre 2016, infine, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico (completata con i corner reflector nel mese di maggio 2017)

che, una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, entrerà a fare parte delle stazioni utilizzate per il monitoraggio della stabilità della costa.

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

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Naomi sono certificati fino al 2014 e in fase di certificazione per il 2015; tali dati sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS. Si segnala che la serie storica dei monitoraggi CGPS presenta un'interruzione per quasi tutto il 2012 causata da operazioni di work-over ai pozzi e da un guasto alla strumentazione.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2016 (Figura 9), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la loro generale convergenza con quelli certificati, come mostrato in Tabella 2.

**Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2014**

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/ a	D-H mm/a
Naomi-Pandora	18,29	21,63	-1,42	18,24	21,74	-1,64	0,05	-0,11	-0,22

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

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

Serie storiche di durata inferiore ai 36 mesi possono, quindi, essere utilizzate solo per confrontare il trend degli andamenti temporali delle misure altimetriche con quello dei valori

calcolati da modello previsionale, qualora si abbia una subsidenza caratterizzata da valori sufficientemente elevati. In questi casi sarà possibile monitorare solo eventuali anomalie di trend ma non procedere a un confronto diretto dei valori attesi da modello vs. i valori misurati.

In generale:

- dataset < 12 mesi: solo follow up per monitoraggio dei dati acquisiti;
- dataset di 12÷36 mesi e:
  - o piccoli valori di subsidenza: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
  - o grandi valori di subsidenza: 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 Naomi-Pandora, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>4</sup> pari a -1,5 mm/a (Figura 9 e Figura 10), invariata rispetto al valore (-1,5 mm/a al 2015) riportato nella precedente relazione d'aggiornamento.

---

<sup>4</sup> La "subsidenza totale" 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.

Nonostante l'interruzione nei monitoraggi CGPS di cui si è detto in precedenza, la regressione per il calcolo di tale velocità è stata, comunque, fatta dall'inizio della serie storica fino al 31/12/16.

La storia produttiva del campo di Naomi-Pandora può essere suddivisa in tre fasi distinte:

- una prima fase di produzione da settembre 2001 a marzo 2003 (durante la quale è iniziata la registrazione del CGPS);
- un lungo periodo di chiusura dei pozzi;
- la ripresa della produzione a partire da giugno 2011.

Durante la chiusura dei pozzi il CGPS ha misurato una velocità media d'abbassamento del fondale marino in corrispondenza della piattaforma pari a ca. -0,9 mm/a: data la lunghezza di tale periodo di chiusura (8 anni circa), detto valore si può considerare come quello della velocità di subsidenza naturale in quell'area.

Per poter confrontare in modo omogeneo le previsioni del modello geomeccanico del dicembre 2013 con i valori di subsidenza rilevati dal CGPS, tale componente naturale è stata sottratta a quest'ultimi. Il confronto è mostrato in Figura 11 per gli scenari medio e upper di detto modello. Si può osservare come le simulazioni riproducano con buona approssimazione l'andamento della subsidenza rilevata dalla stazione CGPS, confermando così l'attendibilità delle previsioni formulate.

Al fine di monitorare la compattazione profonda del giacimento, si è proceduto anche per il 2016 al rilievo dei marker installati nel pozzo di Naomi 4 dir. Le precedenti registrazioni con la sonda FSMT (Formation Subsidence Monitoring Tool) sono datate 06/2001, 05/2002, 03/2011, 04/2012, 12/2013, 06/2014 e 09/2015. E' da segnalare che le misure acquisite con il survey del dicembre 2013 sono caratterizzate da una deviazione standard così elevata da inficiarne l'attendibilità complessiva, e per tale ragione sono state scartate. In Figura 12 sono riportati, pertanto, i risultati delle misure FSMT (espressi in mm) tra il primo e il secondo rilievo (rispettivamente del giugno 2001 e del maggio 2002), tra il secondo e il terzo rilievo (maggio 2002 - marzo 2011), tra il terzo e il quarto rilievo (marzo 2011 - aprile 2012), tra il quarto e il sesto rilievo (aprile 2012 – giugno 2014), tra il sesto e il settimo rilievo (giugno 2014 – settembre 2015) e tra il settimo e l'ottavo rilievo (settembre 2015 – dicembre 2016).



Le misure eseguite nel pozzo Naomi 4dir su un tratto di formazione di circa 60 m, (intervallo di profondità compreso tra 3083.9 m e 3140.8 m) forniscono, per il periodo 2001÷2016, una compattazione totale di circa 44 mm (compattazione totale media, che tiene conto della spaziatura dei marker che risulta essere di 5,25 m invece che 10,5 m).

Tale valore è in sostanziale accordo con i risultati del modello geomeccanico (settembre 2013), che prevedono un valore compreso tra i 23 mm dello scenario medio e i 61 mm dello scenario upper.

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 Naomi-Pandora 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 13 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 14 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

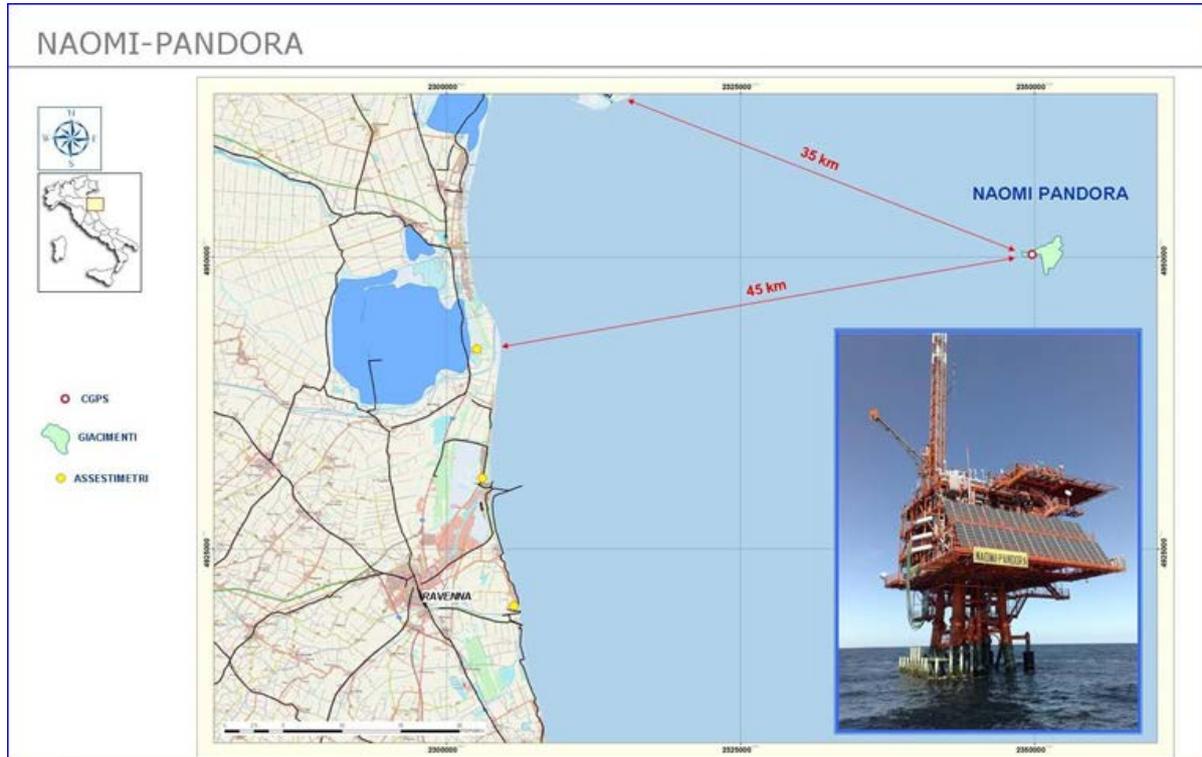


Figura 1– Ubicazione del campo di Naomi Pandora

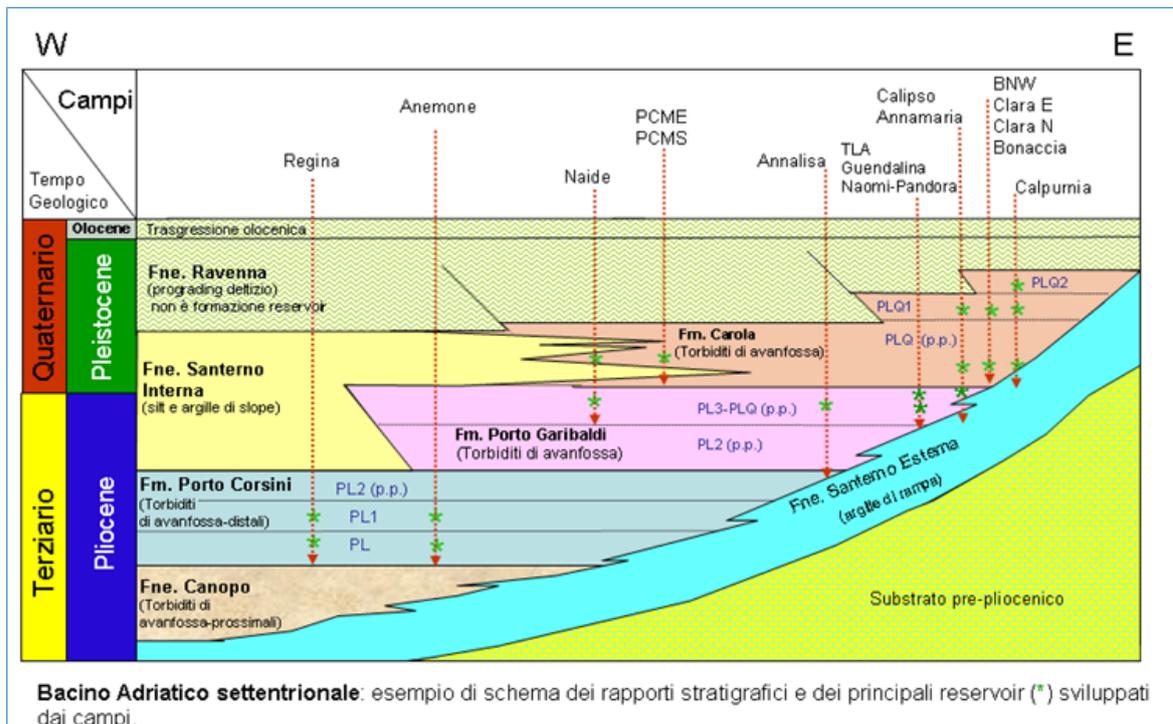


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPI DI NAOMI-PANDORA					
ANNO	Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2001	48	48	48	48	2%
2002	123	123	171	171	7%
2003	12	12	183	183	8%
2004	0	0	183	183	8%
2005	0	0	183	183	8%
2006	0	0	183	183	8%
2007	0	0	183	183	8%
2008	0	0	183	183	8%
2009	0	0	183	183	8%
2010	0	0	183	183	8%
2011	43	43	226	225	10%
2012	133	133	358	358	16%
2013	186	185	544	543	24%
2014	162	171	706	714	31%
2015	143	163	849	877	37%
2016	131	151	980	1028	43%
2017		136		1165	
2018		121		1286	
2019		109		1395	
2020		98		1494	
2021		89		1583	
2022		81		1664	
2023		74		1739	
2024		68		1806	
2025		61		1867	
2026		54		1921	
2027		50		1971	
2028		46		2017	
2029		43		2061	
2030		40		2101	
2031		35		2136	
2032		32		2168	
2033		30		2198	
2034		28		2226	
2035		26		2252	
2036		25		2277	
2037		23		2301	
2038					
2039					

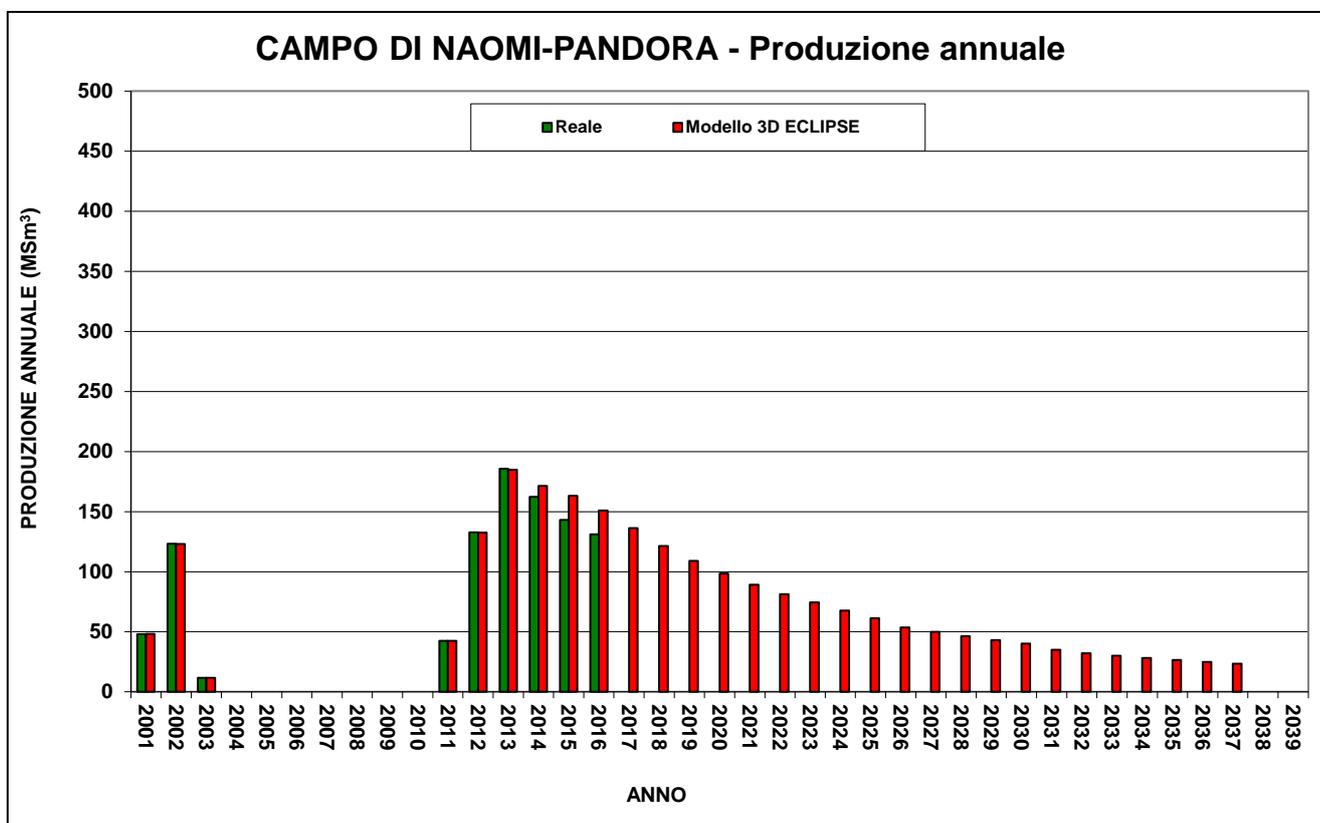
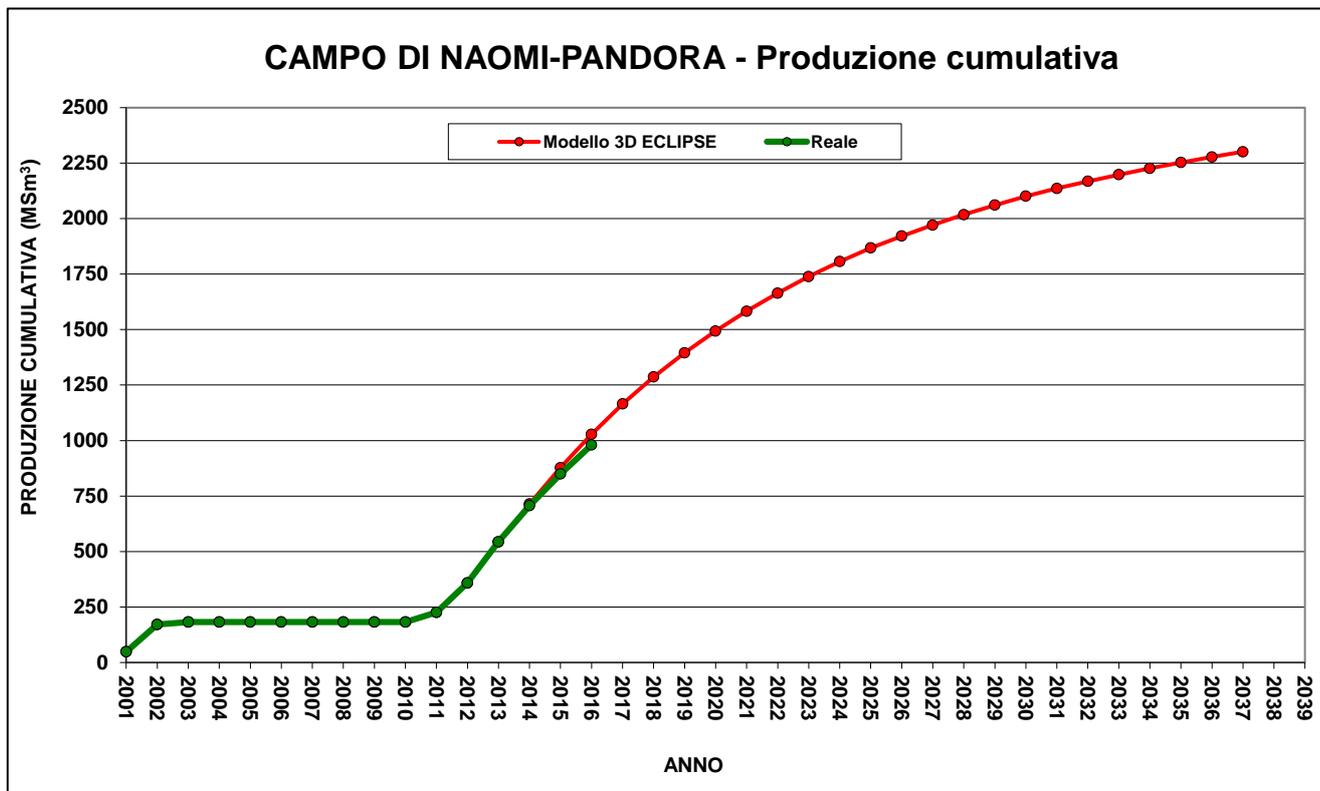


Figura 3 – Campo di Naomi-Pandora: profili di produzione vs. modello Eclipse 2013

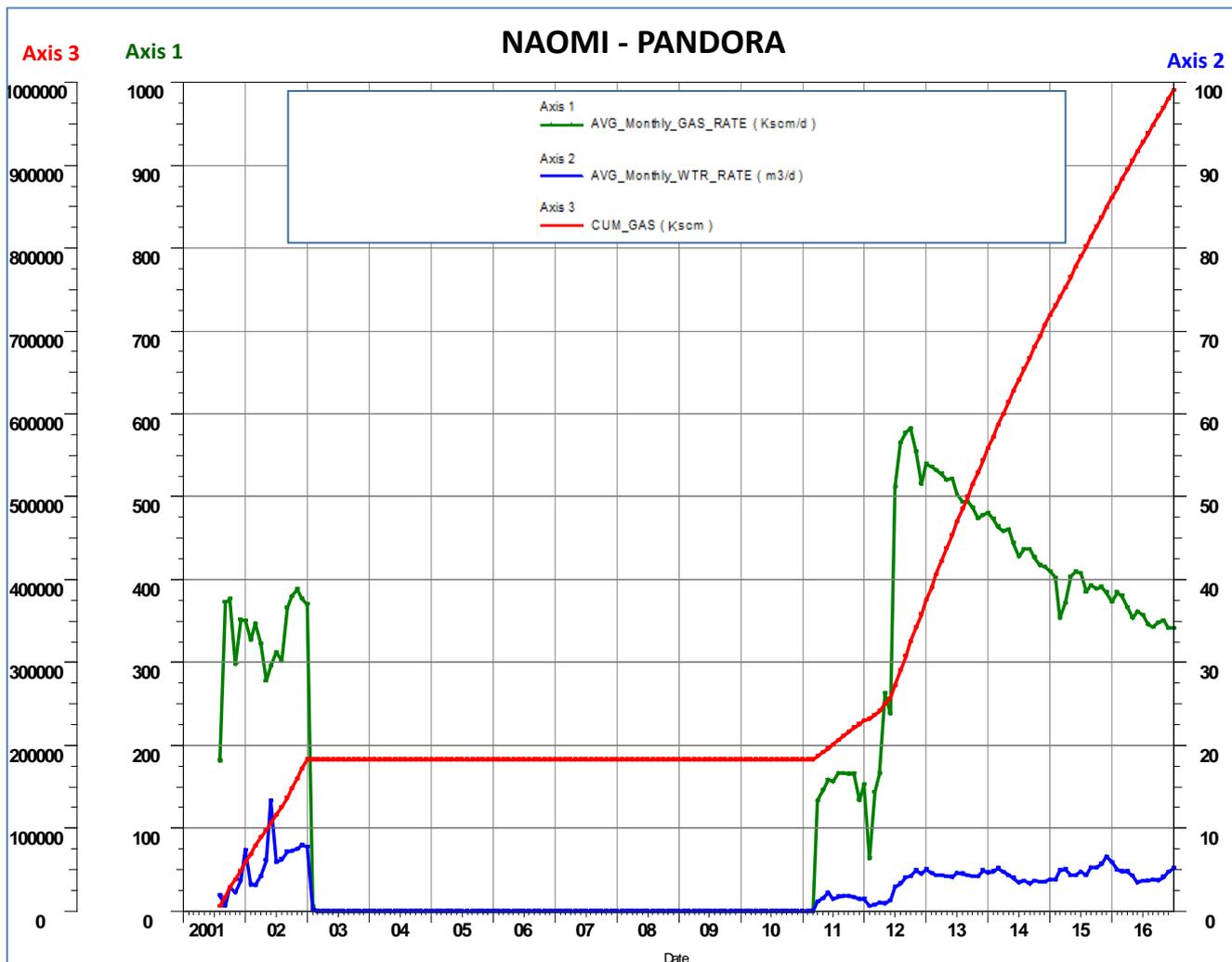


Figura 4 – Campo di Naomi-Pandora: grafico della produzione storica



CAMPI DI NAOMI-PANDORA			
Data	Livello PL3-H1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/01/1995	295	Nao 1	
09/08/2002	276		Nao 3 C
19/03/2011	284		Pand 2 S
02/08/2011	284		Nao 2 L
30/06/2012	269		Nao 2 C
01/07/2012	273		Pand 2 S
25/06/2014	220		Nao 3 C
09/04/2015	217		Nao 2 C
25/12/2016	195		Nao 3 C

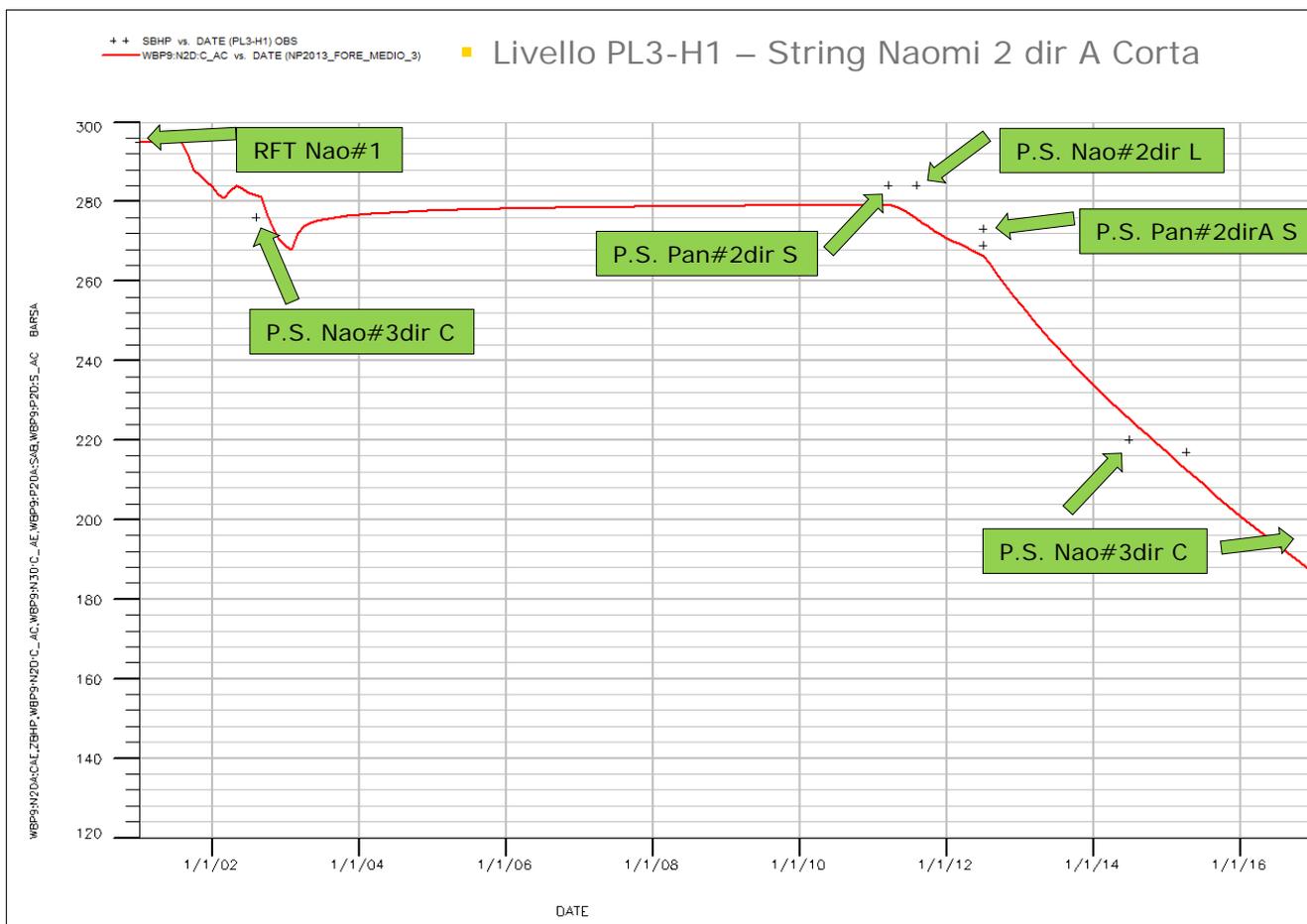


Figura 5 - Campo di Naomi-Pandora: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (liv. PL3-H1)

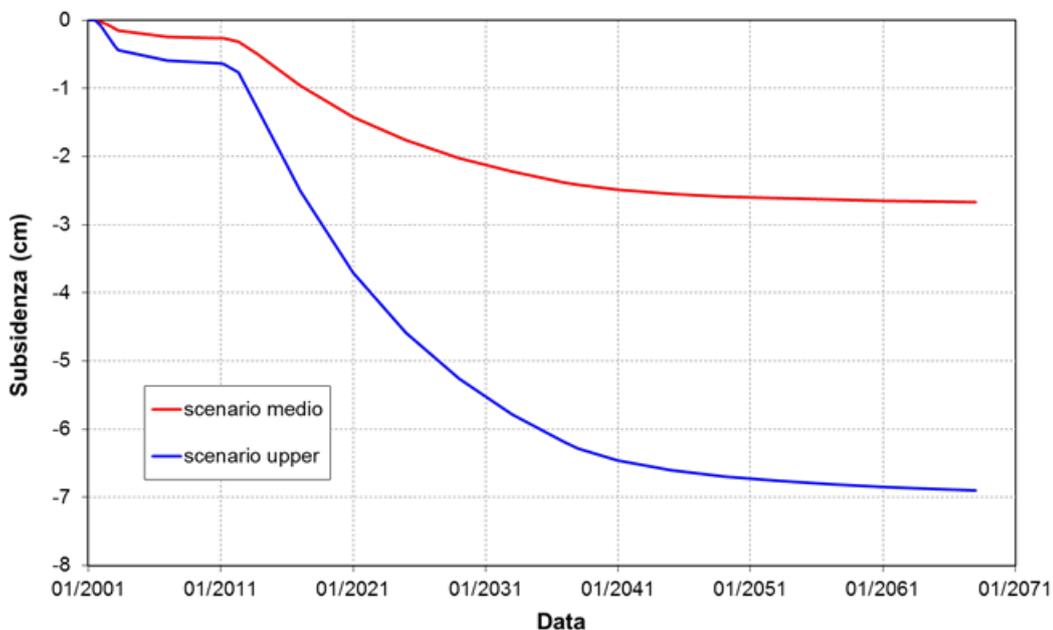


Figura 6 – Campo di Naomi-Pandora: evoluzione nel tempo del valore di subsidenza nel punto di massimo (modello geomeccanico-sett. 2013) per gli scenari medio e upper.

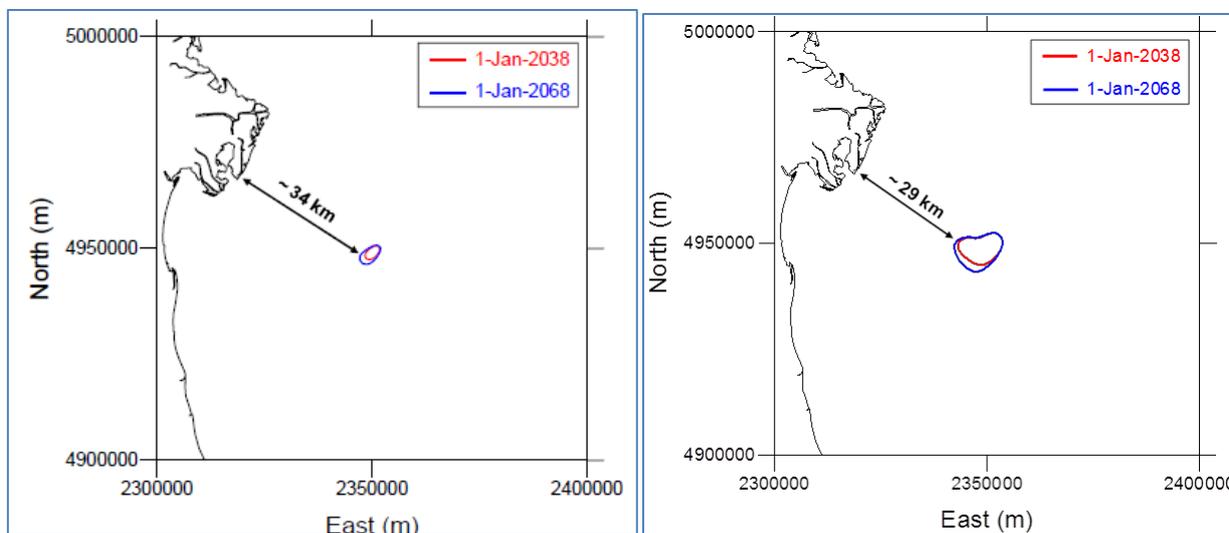


Figura 7 – Campo di Naomi-Pandora: evoluzione temporale della linea d'isosubsidenza dei 2 cm rispettivamente (da sx a dx) per lo scenario medio e quello upper (modello geomeccanico-sett. 2013)

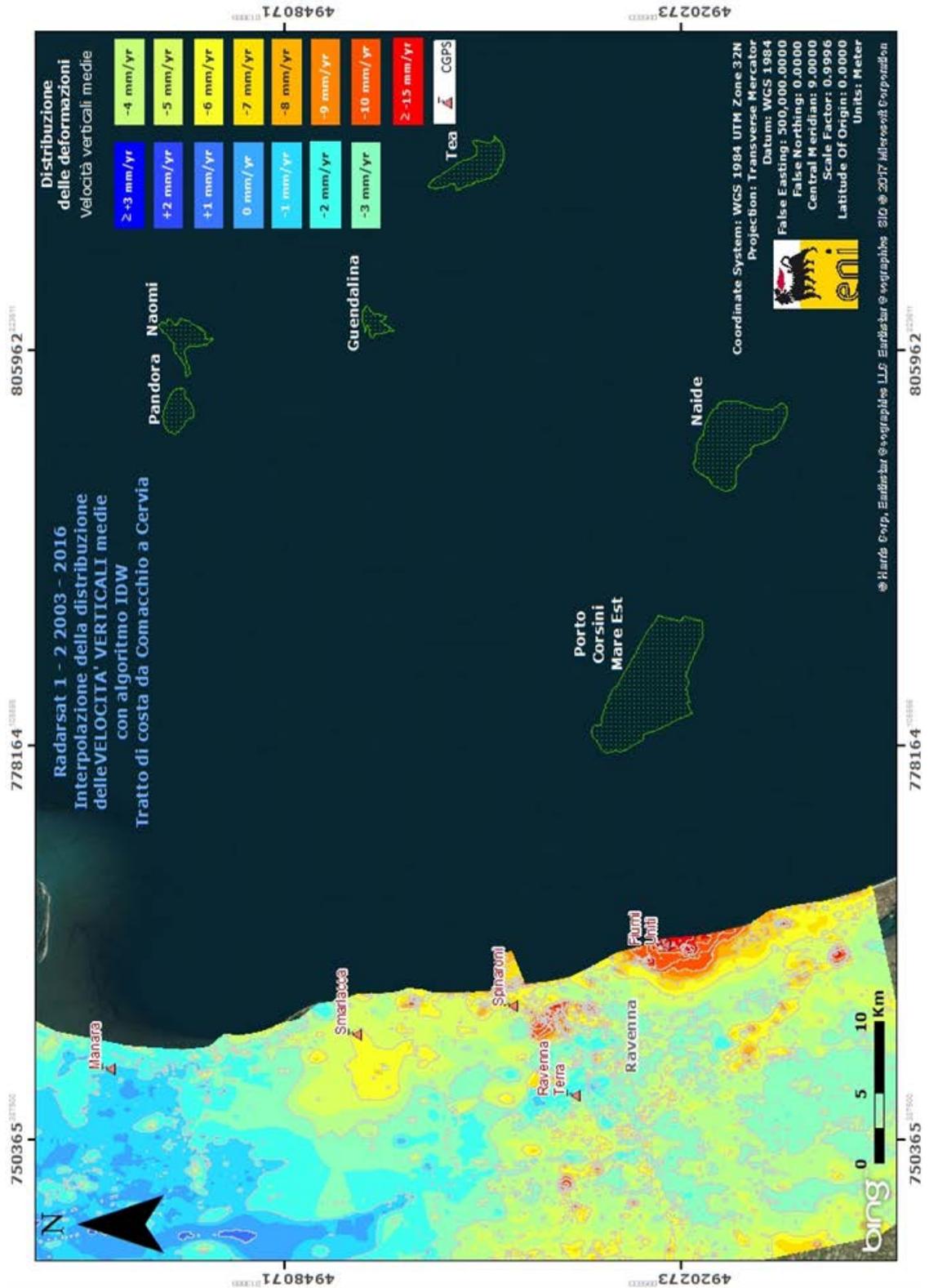


Figura 8 – Analisi dei dati SAR: 2003-2016



Serie storiche spostamenti IGb08 RETE Naomi\_Pandora

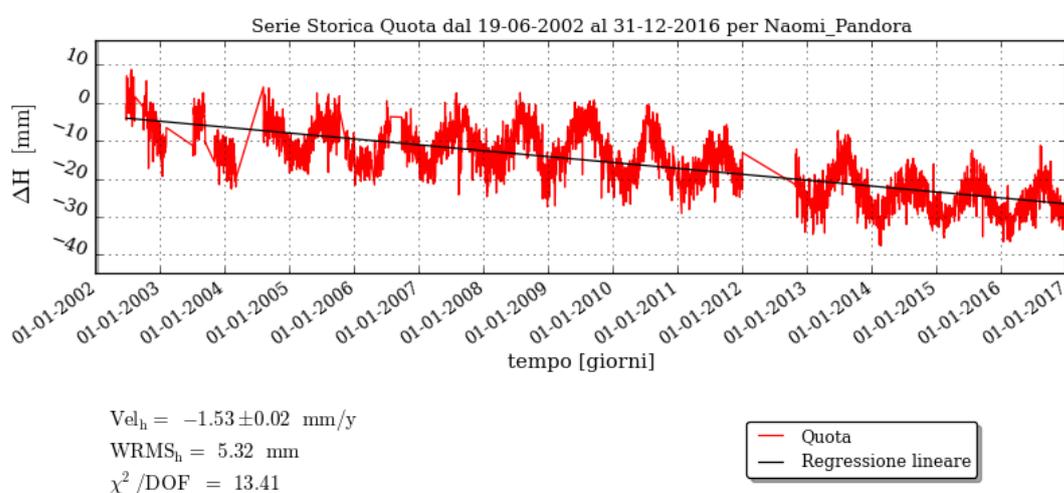
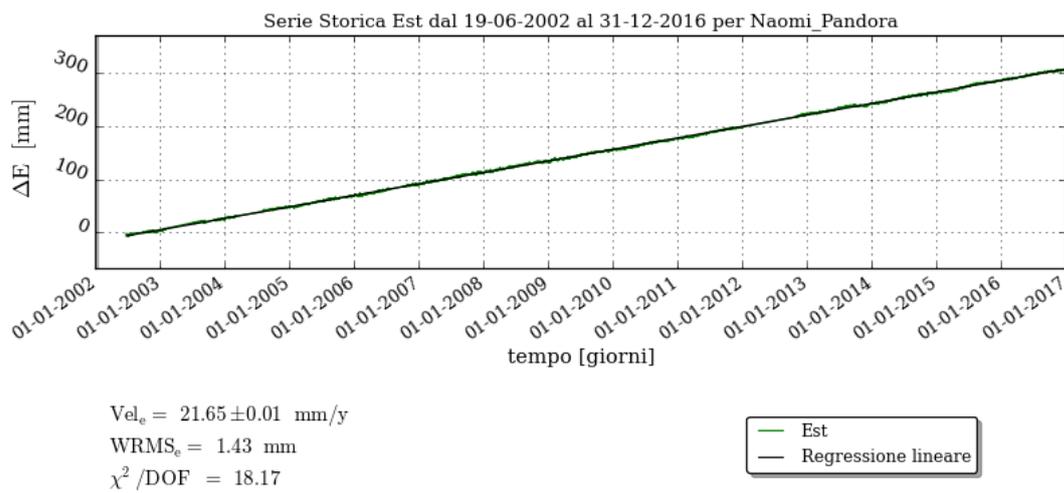
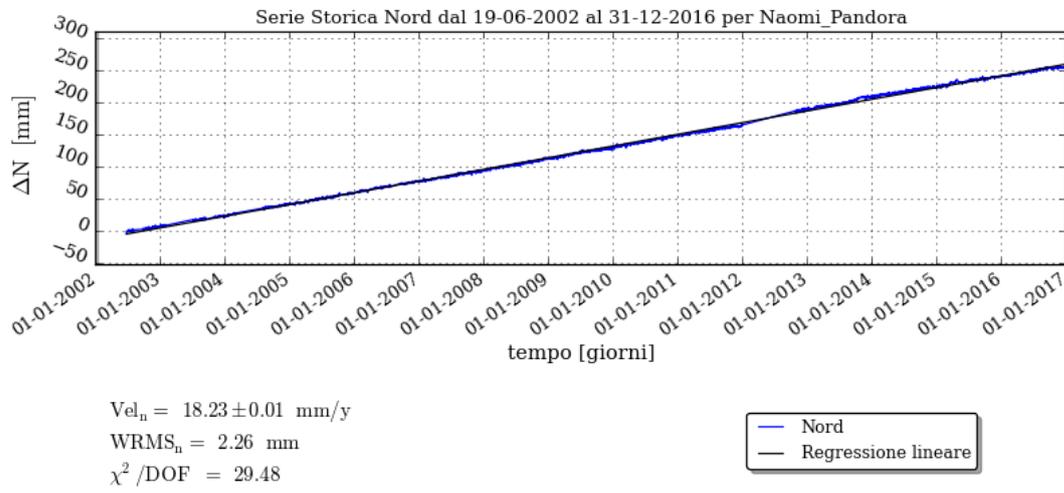


Figura 9 – Campo di Naomi-Pandora: serie storiche plano-altimetriche



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

Figura 10 - Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. modelli

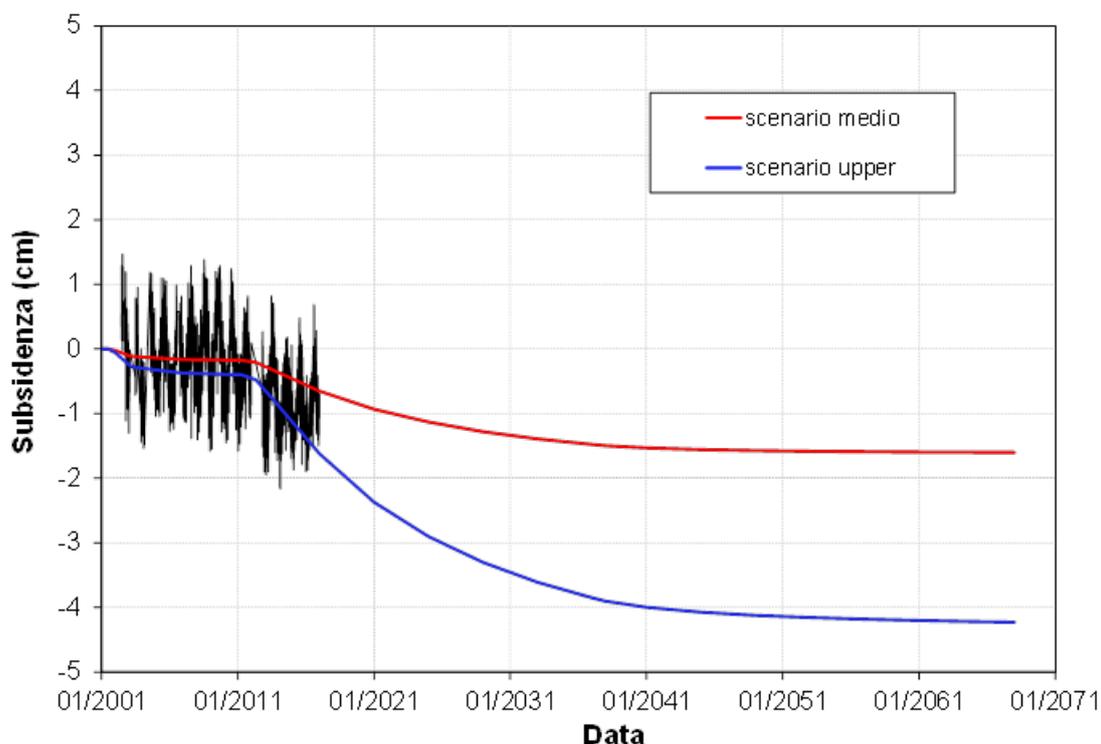


Figura 11 – Campo di Naomi-Pandora: misure CGPS (agg. 31 dic. 2016) vs. modello di subsidenza (in corrispondenza della piattaforma - modello geomeccanico del sett. 2013)



Compattazione Naomi-Pandora									
spacing	top ref depth	bottom ref depth	May 2002	Mar 2011	Apr 2012	Jun 2014	Sep 2015	Dec 2016	Dec 2016
	MD	MD	Jun 2001	May 2002	Mar 2011	Apr 2012	Jun 2014	Sep 2015	Jun 2001
#	m	m	mm						
10	3083.90	3092.30	-3	-1	-2	4	2	-2	-3
9	3089.00	3099.30	-3	2	-1	5	-2	0	1
8	3092.30	3104.10	-1	-10	13	-2	-1	1	0
7	3099.30	3109.30	-2	2	8	-6	-5	-4	-7
6	3104.10	3115.30	-5	4	-4	-6	-1	-5	-17
5	3109.30	3120.30	-5	4	0	0	-11	-3	-14
4	3115.30	3125.50	-3	-2	5	-5	0	-6	-11
3	3120.30	3130.70	-4	4	2	-2	-6	-3	-9
2	3125.50	3135.80	-4	2	-2	3	-7	-2	-9
1	3130.70	3140.80	-1	4	-6	2	-7	-2	-10

Figura 12 – Campo di Naomi-Pandora: compattazione da marker (pozzo Naomi 4 dir)

campo NAOMI-PANDORA (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DEC.VIA n. 5369 del 04 ottobre 2000	
UBICAZIONE	offshore - 35 Km dalla costa	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (NAOMI-PANDORA)	
PROFONDITA' FONDALE	35-38 m	STUDIO DI GIACIMENTO	
LITOLOGIA	terreni plicoceni sup. sabbioso/argillosi	SIA	
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Garibaldi	ULTIMO AGGIORNAMENTO	
ZONA MINERARIA	PL3	RISERVE (MSm3)	1611
PROFONDITA' RESERVOIR	2600 - 2680 (TVDS)	MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa monotubolare- BEAF	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1.8 (dopo 7 anni)
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili	MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	nd
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI			
CONCESSIONE	A.C33.AG	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	26/01/2016	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014.	
N. POZZI	3	I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2011) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM	
RISERVE TECNICHE	1611	IL PROSSIMO RILIEVO DELLA "DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017	
A VITA INTERA (MSm3)	2301	NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI	
START UP PRODUZIONE	ago-01	MARKERS	
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2017	MARKERS SU NAOMI 4D: ULTIMO SURVEY @ dicembre 2016	
GAS PRODOTTO (MSm3)	980	SURVEY ESEGUITI: giugno 2001 (rilievo base), maggio 2002, marzo 2011, aprile 2012, dicembre 2013, giugno 2014 e settembre 2017	
% RISERVE PRODOTTE	43%	CGPS	
		OPERATIVO DAL GIUGNO 2002	
		SAR	
		ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2016 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 13 – Campo di Naomi-Pandora: scheda di sintesi dati campo



Figura 14 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2016

L'analisi dei dati SAR ha interessato complessivamente 3 data-set (Fig. 1A), suddivisi geograficamente in:

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

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

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



Fig. 1A- Mappa calibrazione dati SAR



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

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

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

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

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

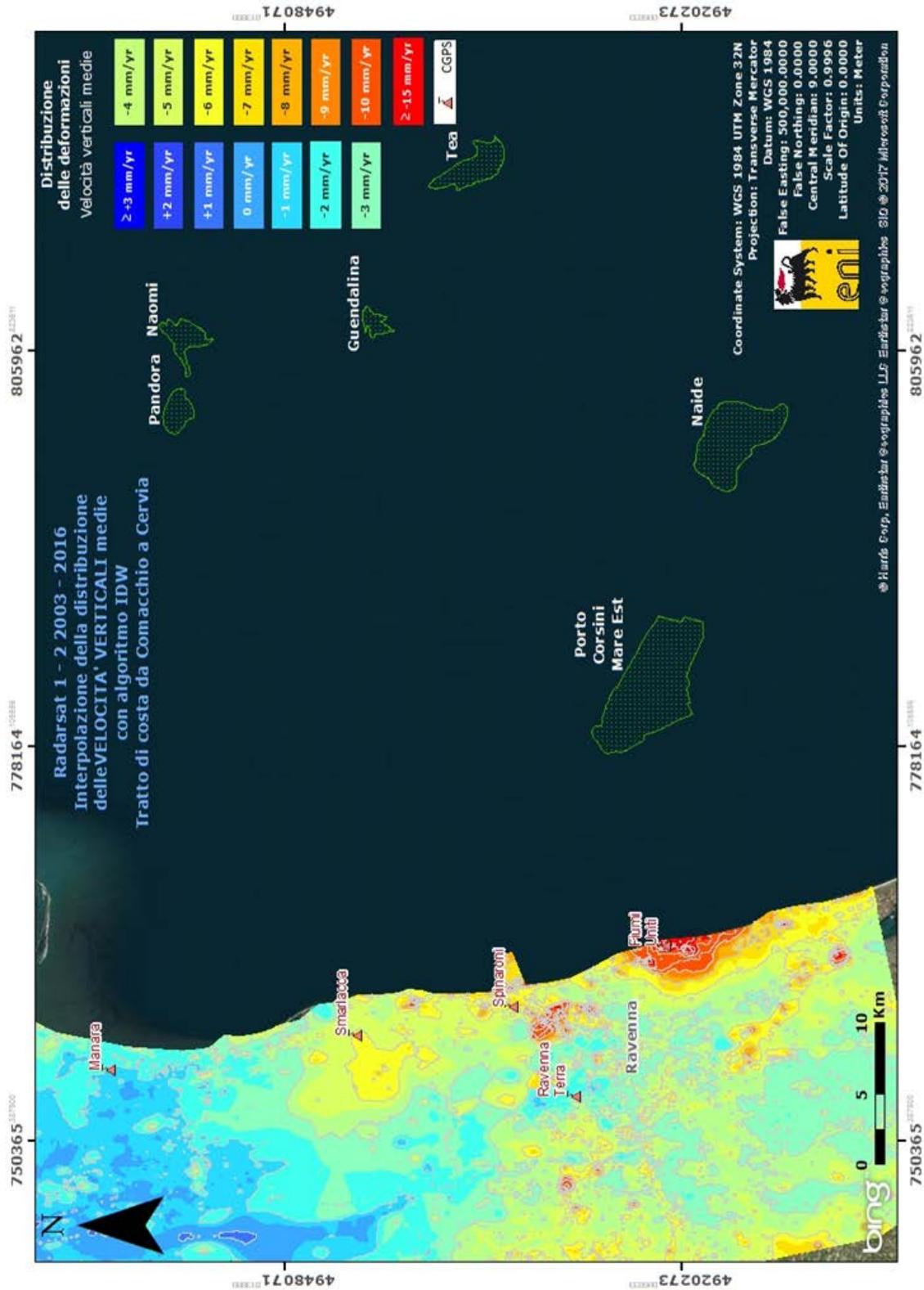


Fig. 2A - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Comacchio a Cervia

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

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

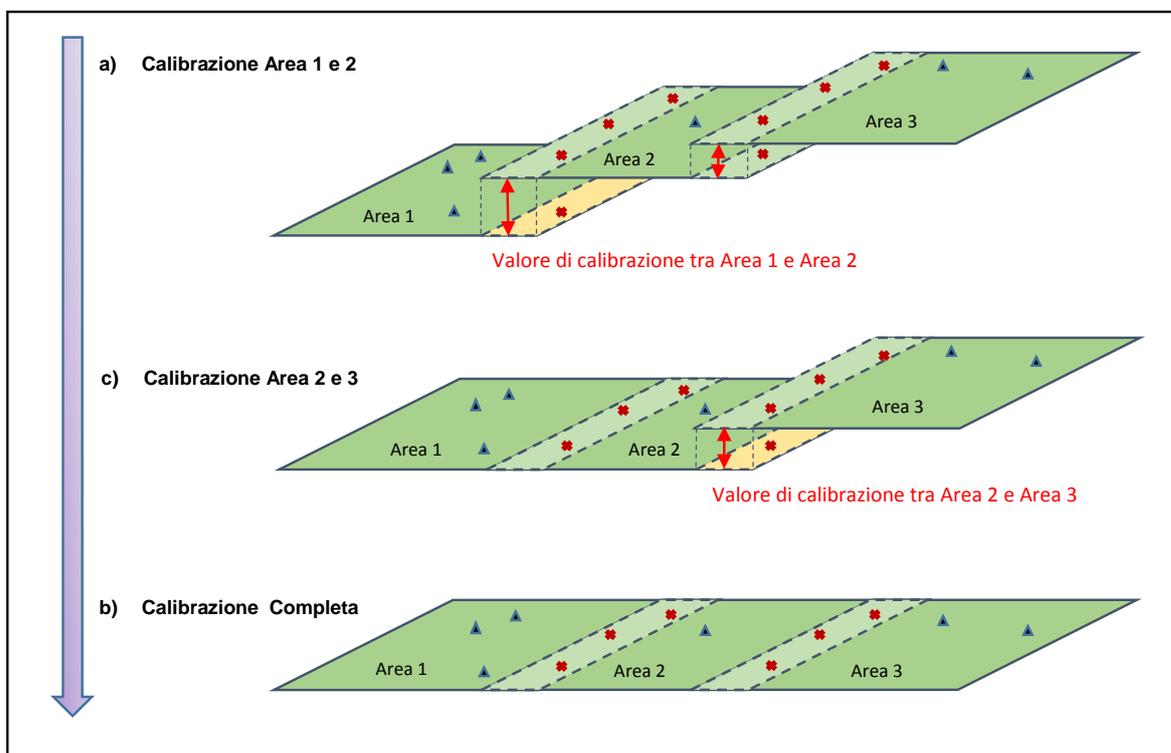


Fig. 3A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS



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

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

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

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

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



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

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

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

Come mostrano le immagini di Fig. 5A e Fig. 6A, non si notano delle differenze importanti, il valore modale si attesta intorno a -3,5 mm. L'unica area con valori di differenza che sono in media dell'ordine di -7 mm, è situata a sud della città di Ravenna. Questa anomalia è, però, molto probabilmente causata da una mancanza di dati in tale area per la scarsa coerenza del segnale SAR. Ciò ha prodotto un artefatto numerico, privo di significato fisico, nelle relative mappe d'interpolazione.

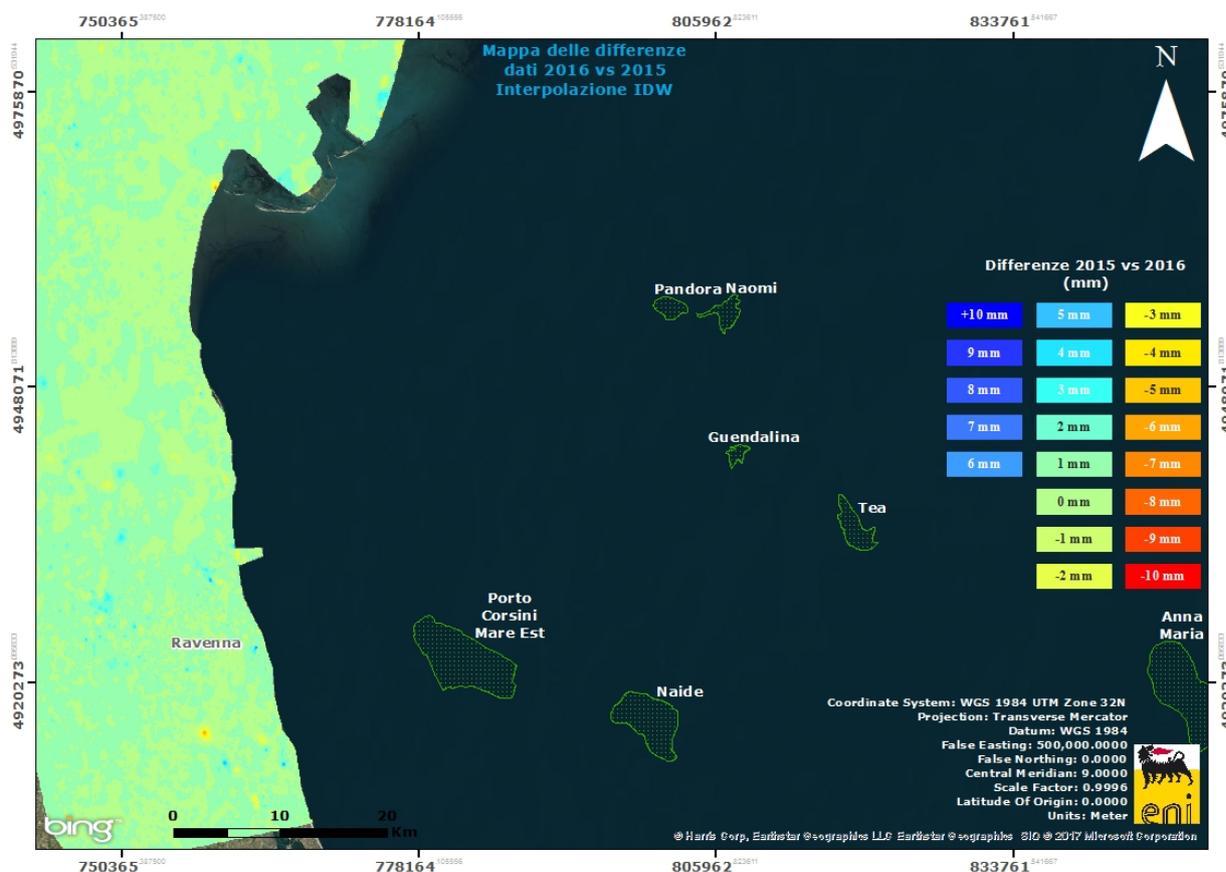


Fig. 5A – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Comacchio a Cervia

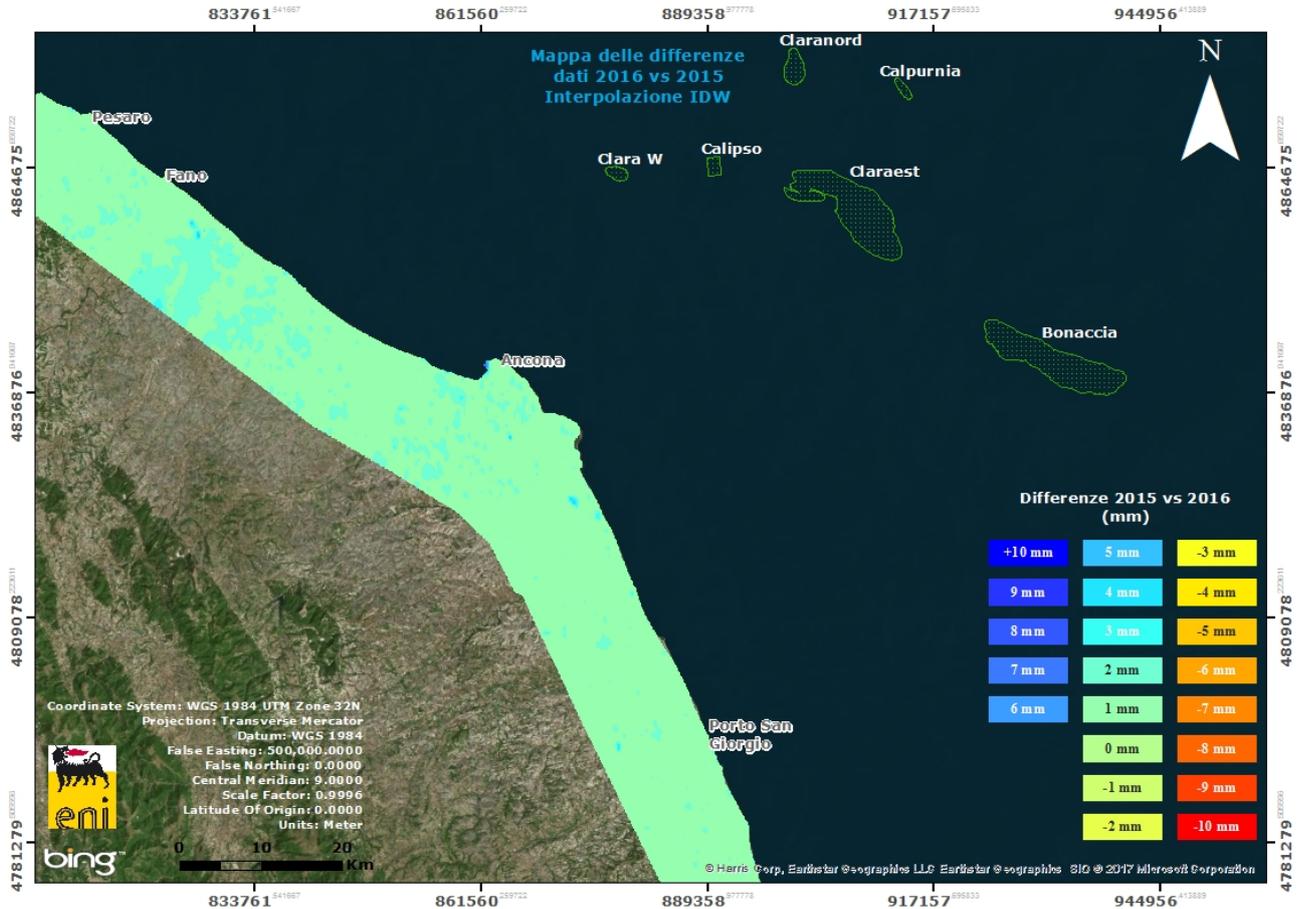


Fig. 6A - Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Fano a Porto San Giorgio

## Appendice 2: stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - aggiornamento dicembre 2016

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 2A.

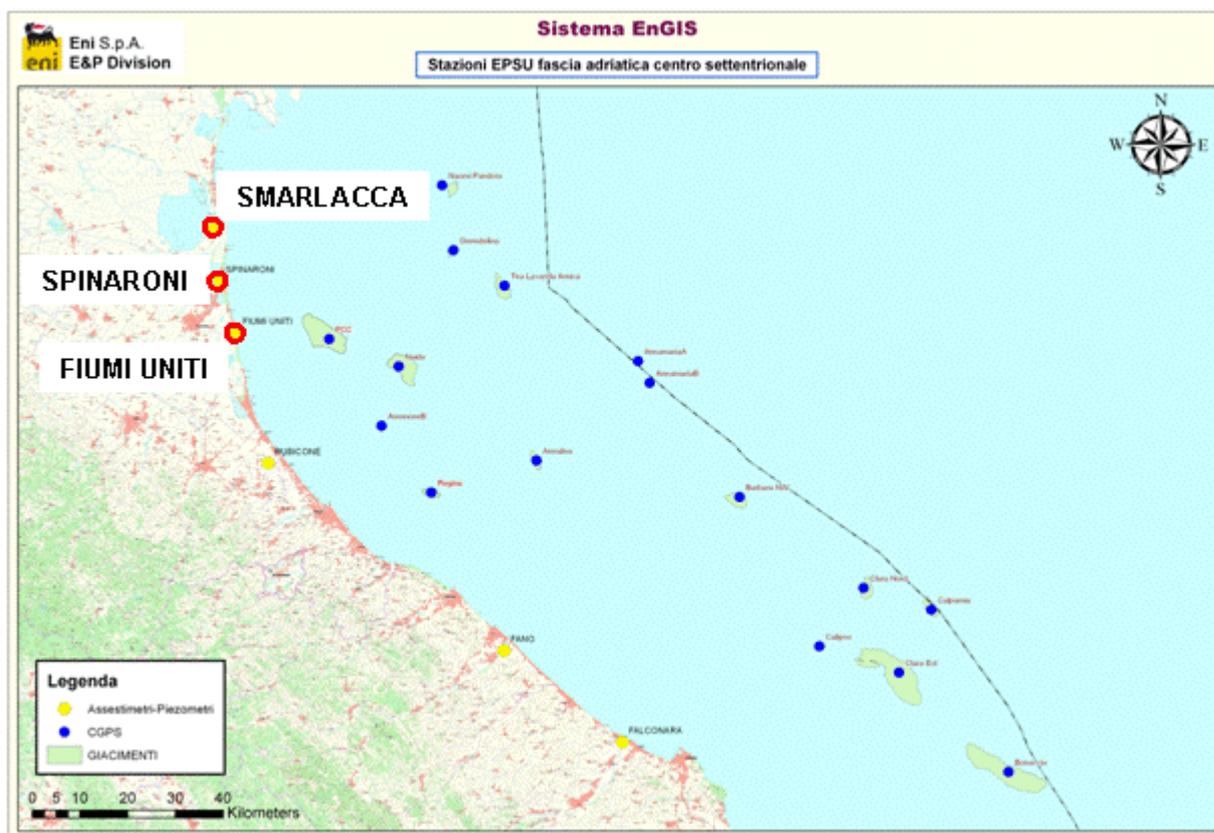


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU

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 di temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

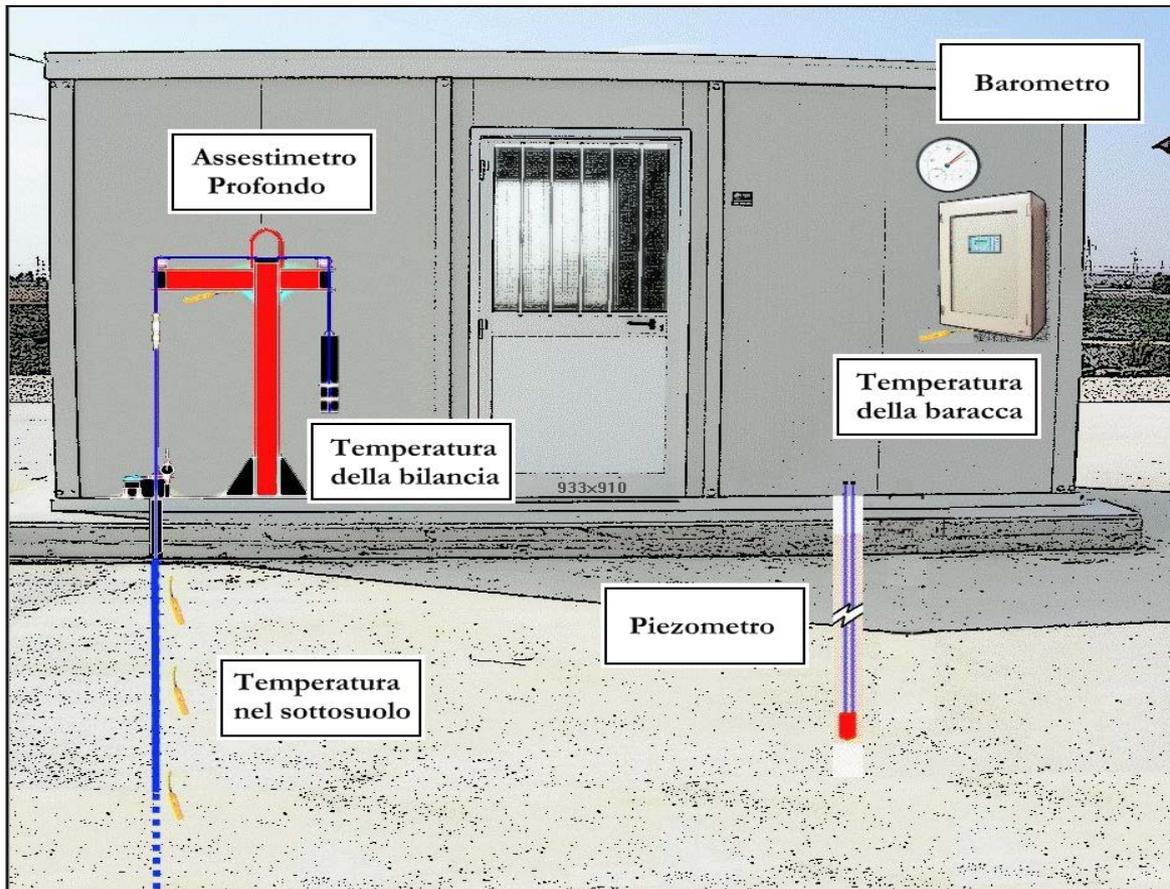


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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
<b>Smarlacca</b>		Assestimetro profondo	334 m	Nov.1997
		Assestimetro superficiale	30 m	Nov.1997
		Piezometro profondo	150,8 m	Nov.1997
<b>Spinaroni</b>		Assestimetro profondo	336 m	Nov.1997
		Piezometro profondo	150,8 m	Nov.1997
<b>Fiumi Uniti</b>		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**

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

Questa stazione di misura è composta da una doppia verticale assestimetrica: l'assestometro profondo (33,15 metri d'asta di misura) e l'assestometro superficiale (29,5 metri d'asta di misura). L'installazione è avvenuta 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 dal piano campagna (p.c.).

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con la 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 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'assestometro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 334,15 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna; 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 i dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spo-

stamenti 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. Una compattazione nello stesso periodo è comunque rilevata anche dal CGPS: nel grafico di confronto, infatti, le due curve mostrano le medesime modulazioni nello stesso periodo di tempo. 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 assestometri sono tornati a registrare il solito trend a velocità costanti. Per quanto riguarda i termometri installati lungo la verticale assestometrica, si segnala un guasto al sensore posto a quota -4 m, le cui misure si sono interrotte dal marzo 2013.

Le registrazioni di entrambi gli assestometri (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 assestometrica 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 -6,3 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestometrica), 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 CGPS. 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 a quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

### **Analisi dei dati piezometrici**

Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e, pertanto, di scarsa utilità. Si è pertanto scelto di non mostrare la traccia dell'andamento del dato piezometrico nei grafici di confronto con l'assestometro, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.

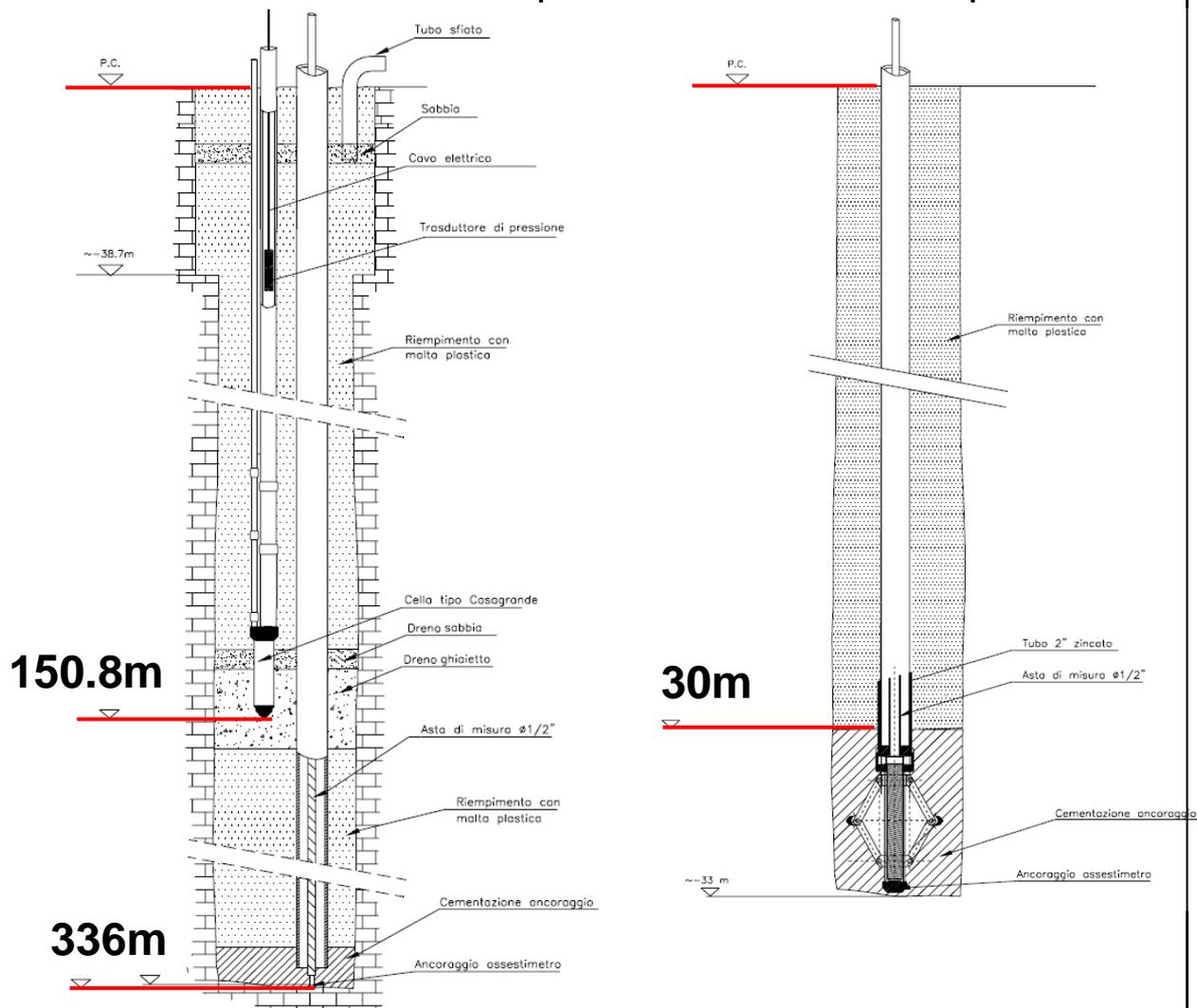


# SMARLACCA

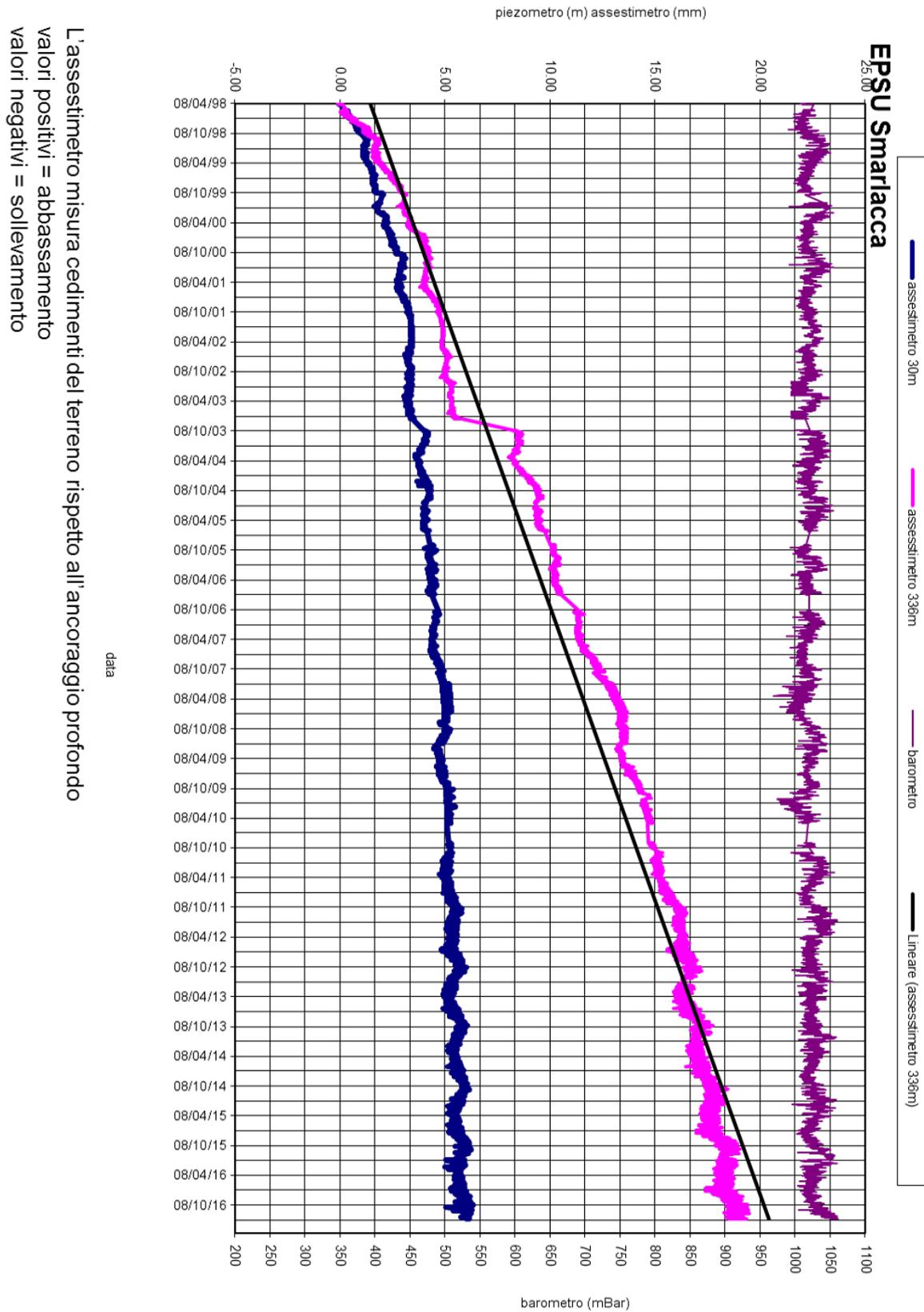
Piezometro

Assestimetro profondo

Assestimetro superficiale

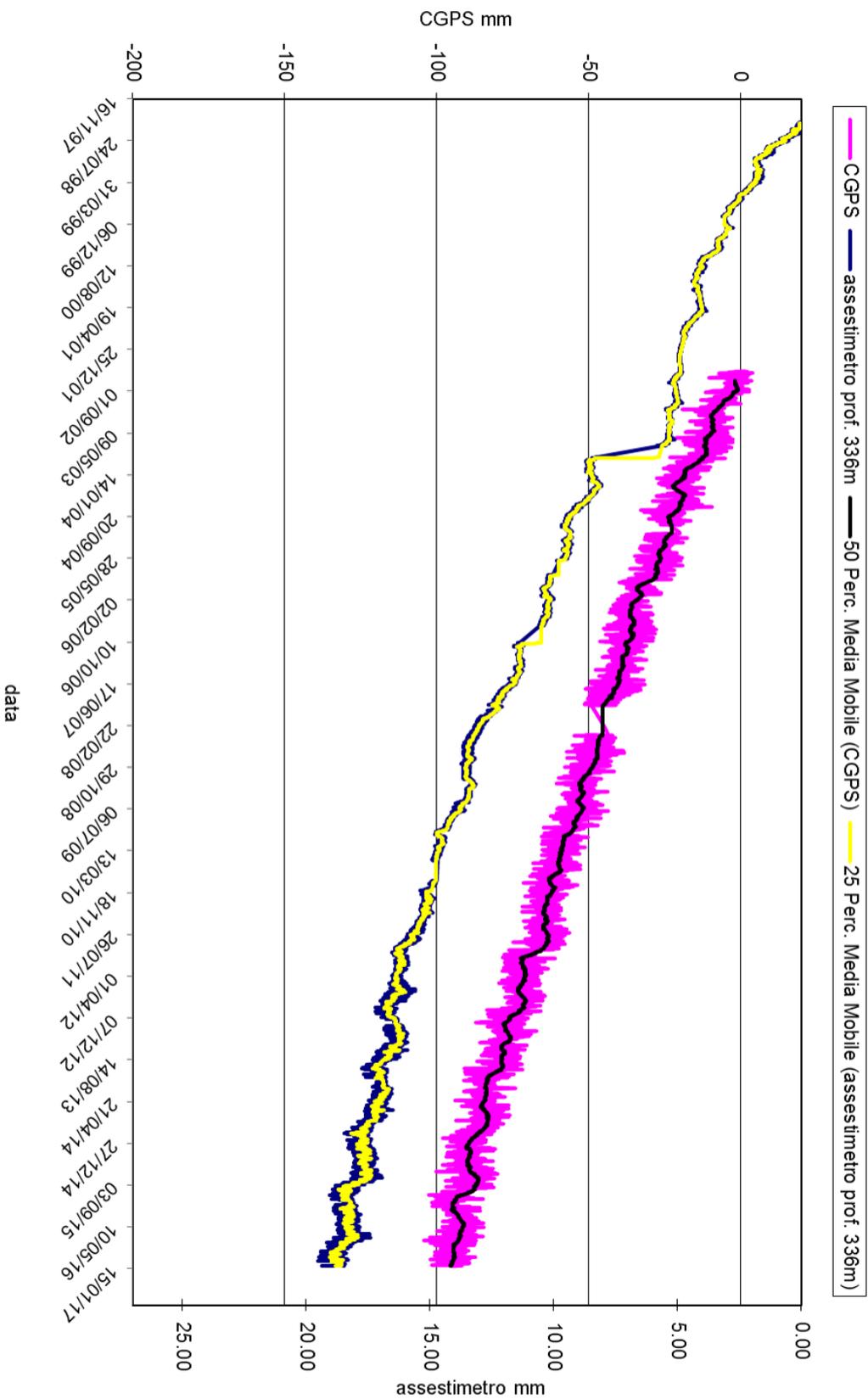


*non in scala*





### 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)

## **Stazione EPSU di Spinaroni - (installata novembre 1997)**

### **Strumentazione**

- assestometro - 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.

Dall'inizio di dicembre 2005 il sensore di pressione del piezometro 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 (p.c.).

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 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 attendibile per una probabile rottura del tubo di diametro più piccolo ( $\varnothing 1/2"$ ). Sono in corso le attività per il suo ripristino.

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 spo-



stamento, 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 registrazione 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 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 19 anni di osservazioni. In questi anni si è registrata una compattazione totale di 48,8 mm corrispondente a una velocità media



annua di 2,5 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 -7,4 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).

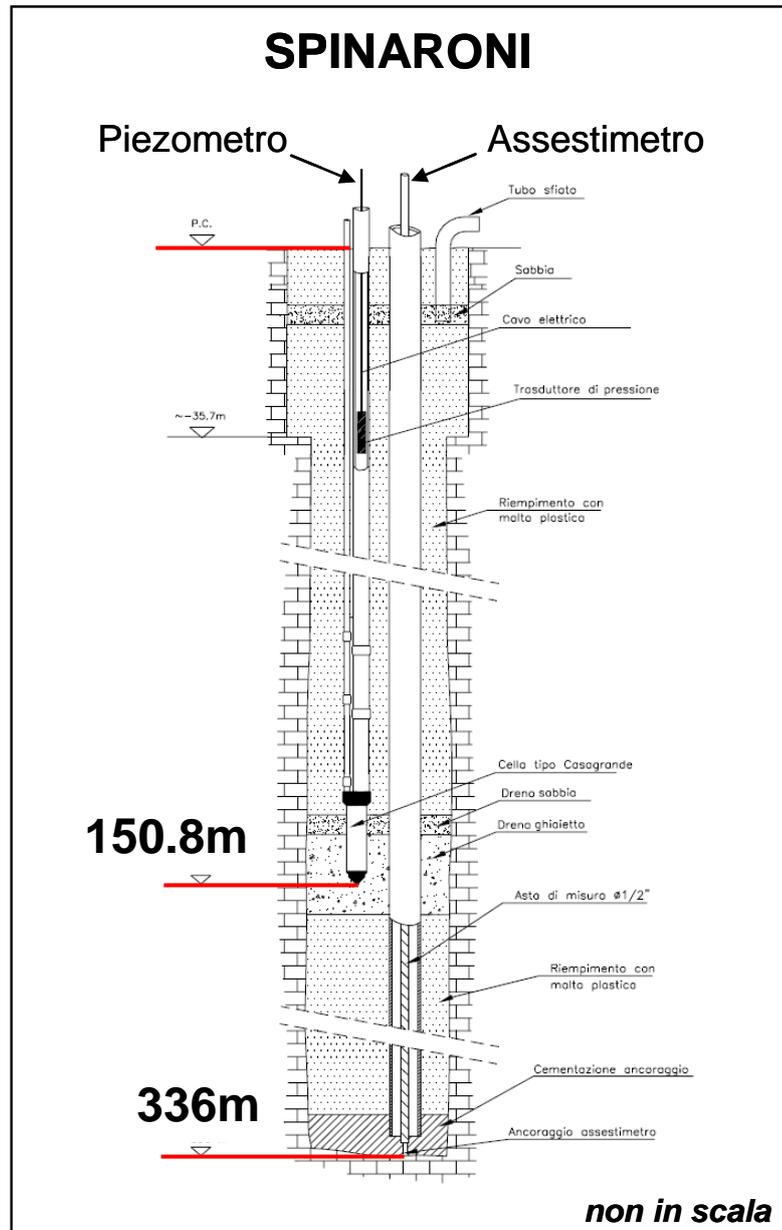
La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica CGPS e assestimetrica) non è molto elevata come mostrato nel grafico allegato; le misure CGPS presentano un andamento più regolare con una dinamica legata alla stagionalità. Nel periodo tra inizio ottobre 2003 sino a oltre la metà del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

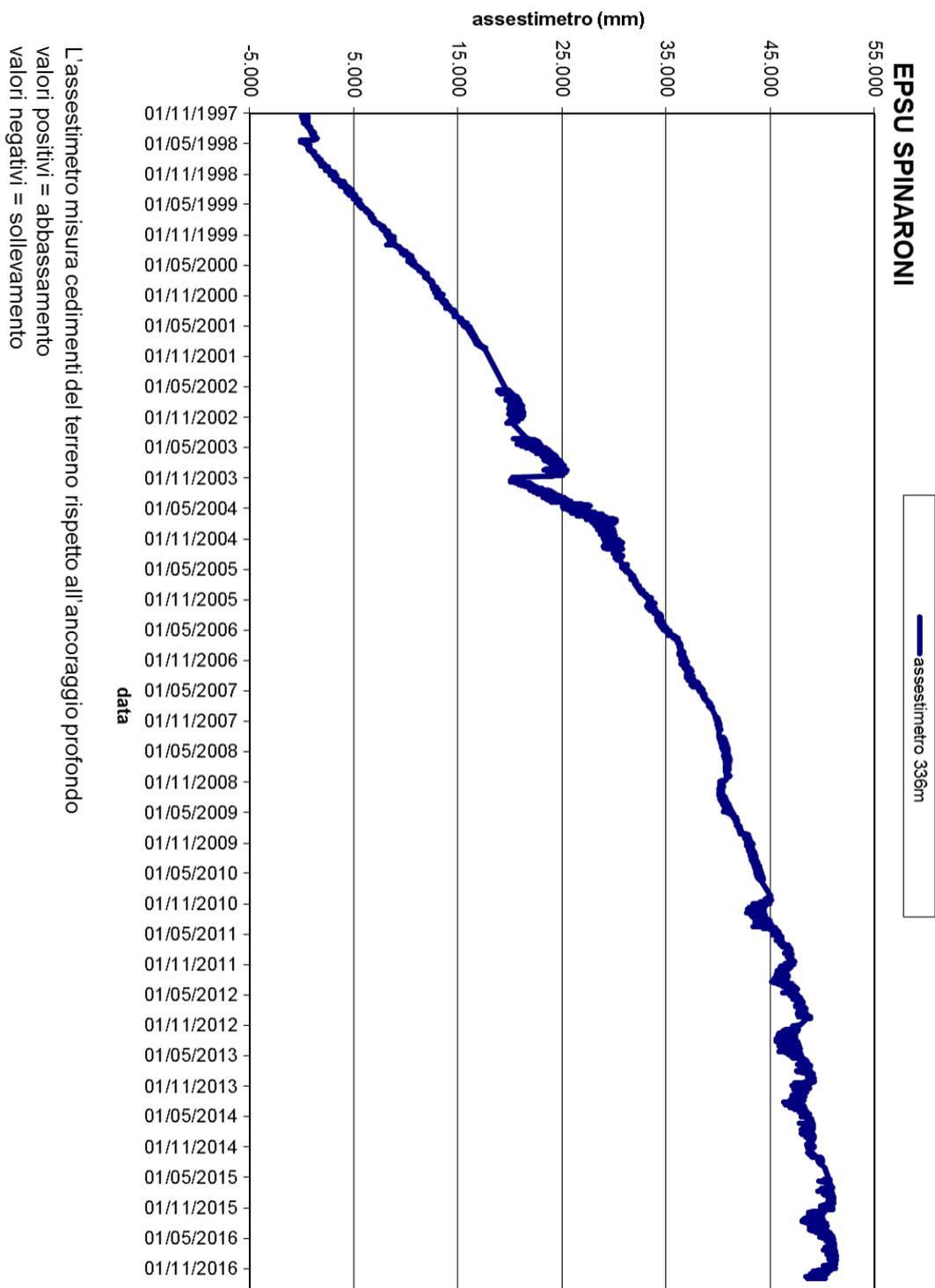
Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico:

- 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 CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

### **Analisi dei dati piezometrici**

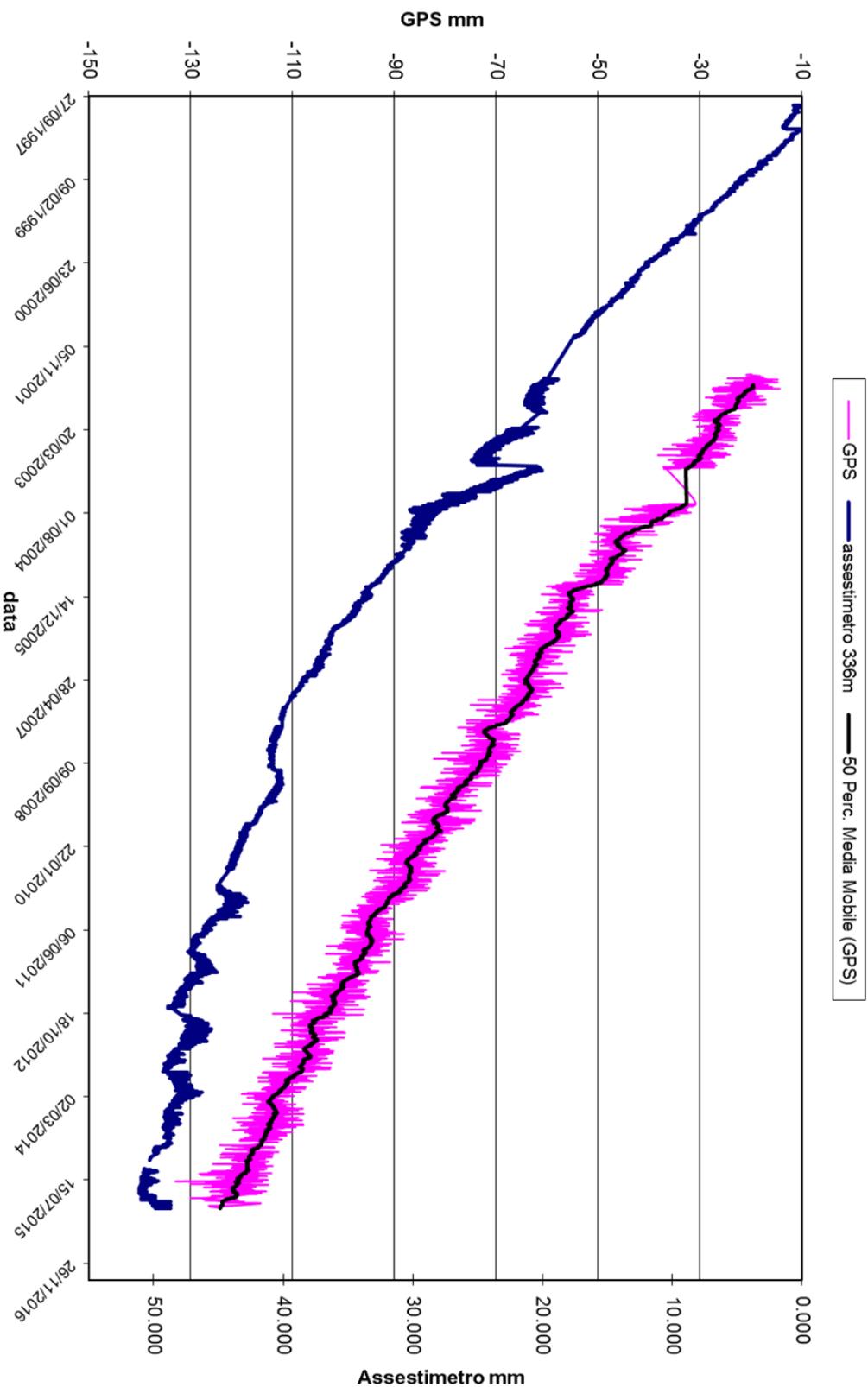
Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica, ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e, pertanto, di scarsa utilità. Anche per questa stazione, quindi, si è scelto di non mostrare la traccia dell'andamento del dato piezometrico nei grafici di confronto con l'assestimetro sino al nuovo rifacimento della strumentazione.







### SPINARONI - 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)

## Stazione EPSU di Fiumi Uniti (installata settembre 1994)

### Strumentazione

- assestometro profondo - quota bottom 372,85 m da p.c.
- assestometro 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 2016 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 (p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 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 i circa 22,3 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 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 -14,2 mm/a. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS 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 CGPS 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 CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

## **Analisi dei dati piezometrici**

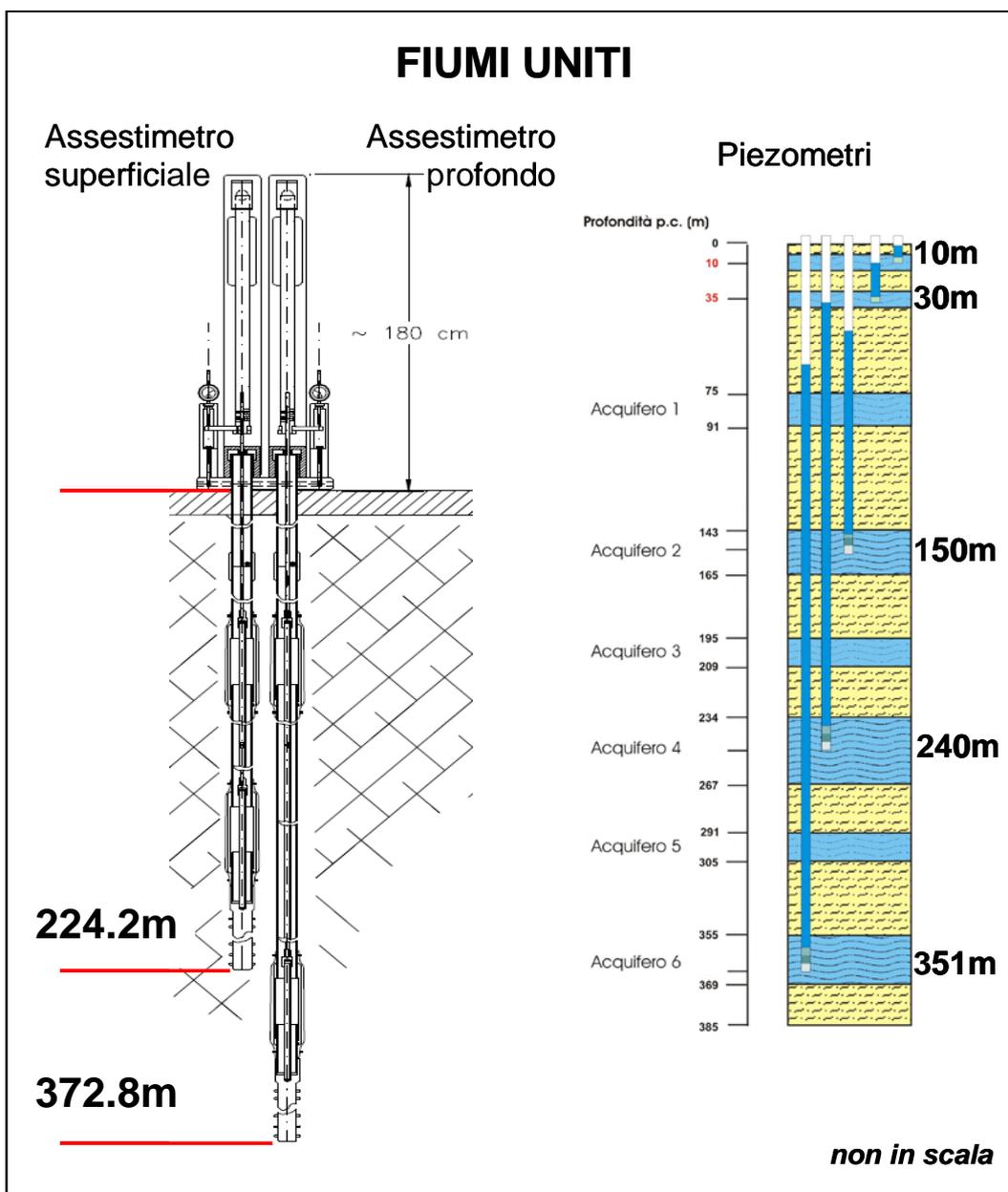
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre verticali piezometriche che, però, nel corso del tempo si sono guastate. Per un lungo periodo di

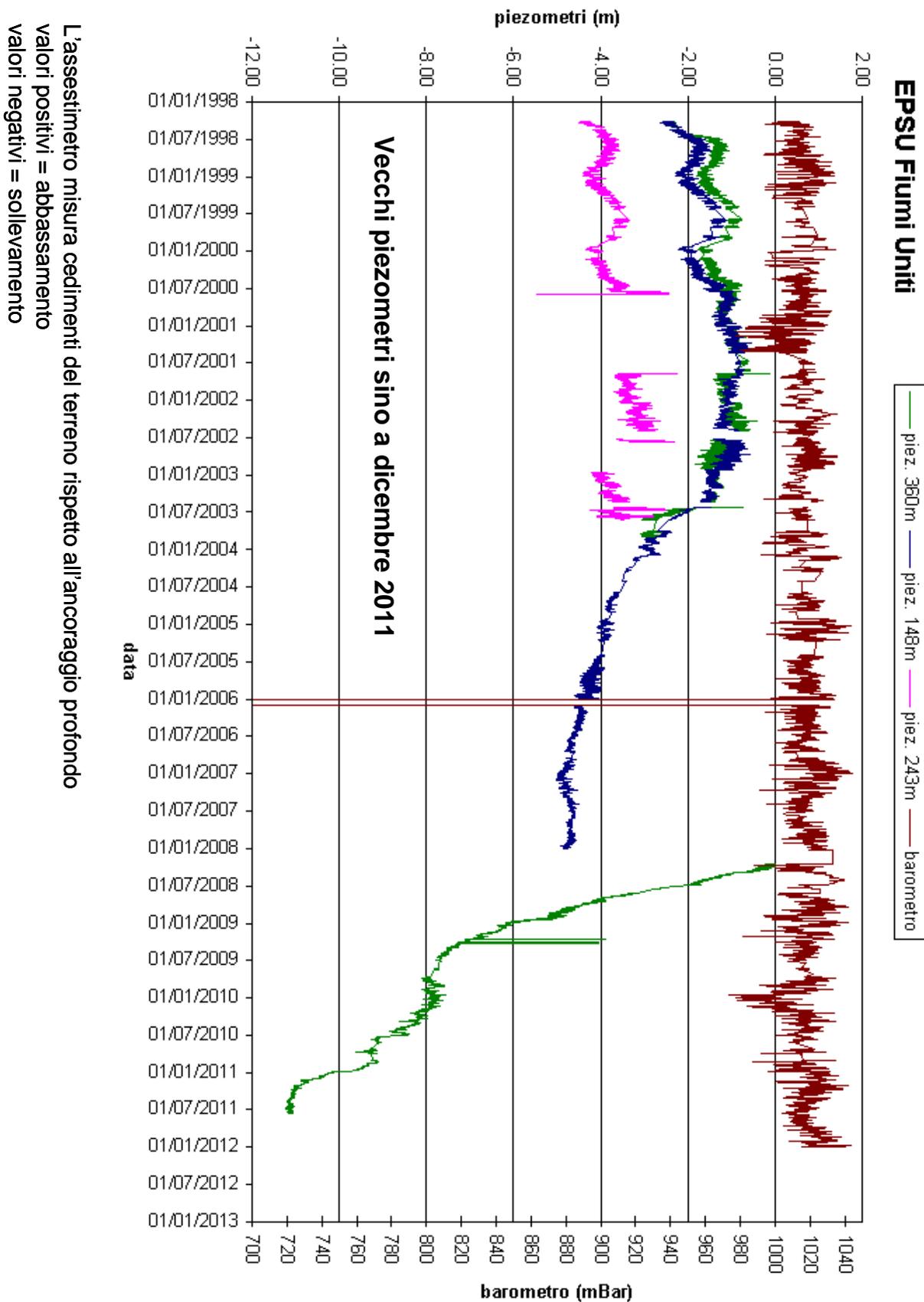


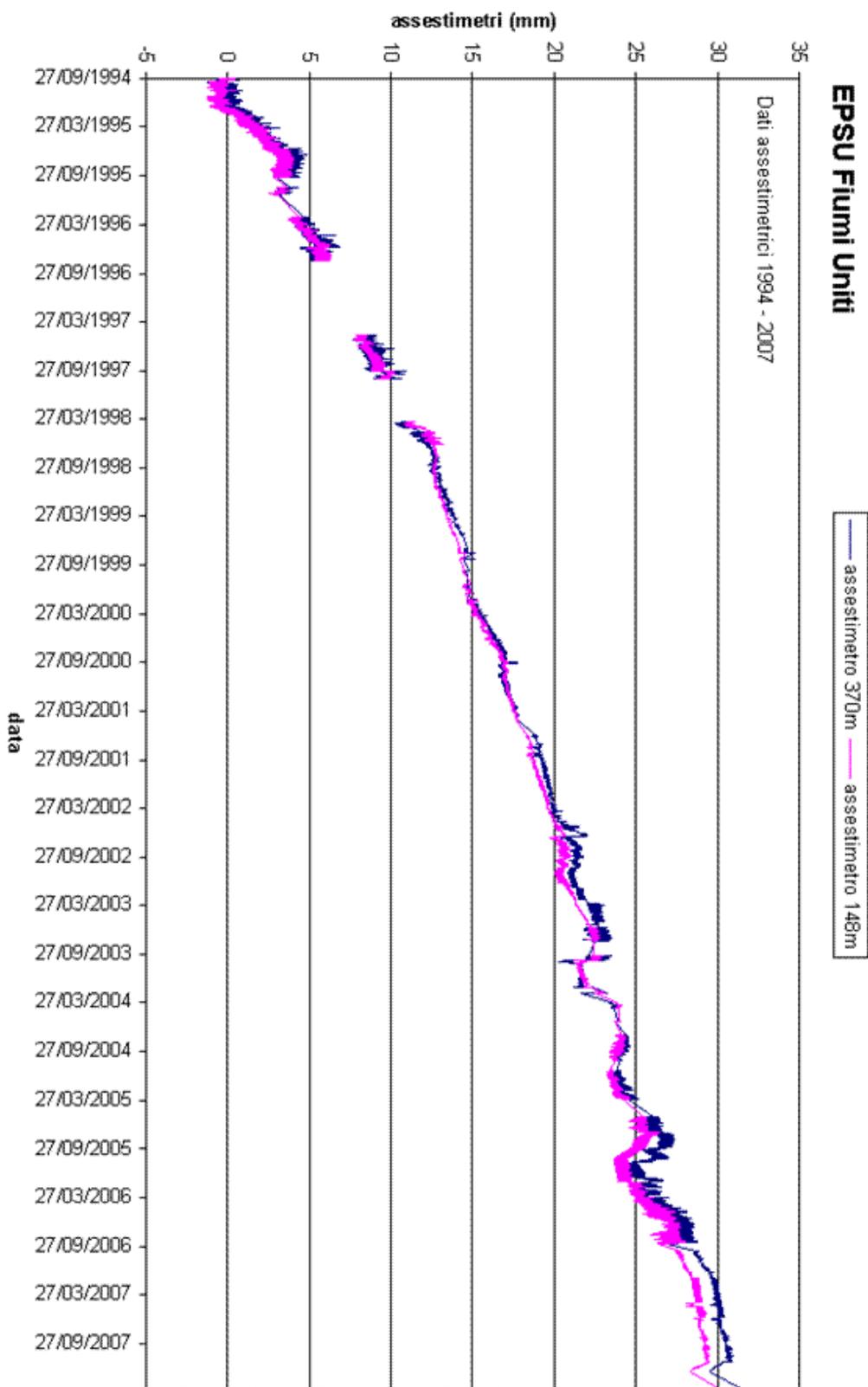
tempo, quindi, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezometro più profondo, ritenuto più attendibile.

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.

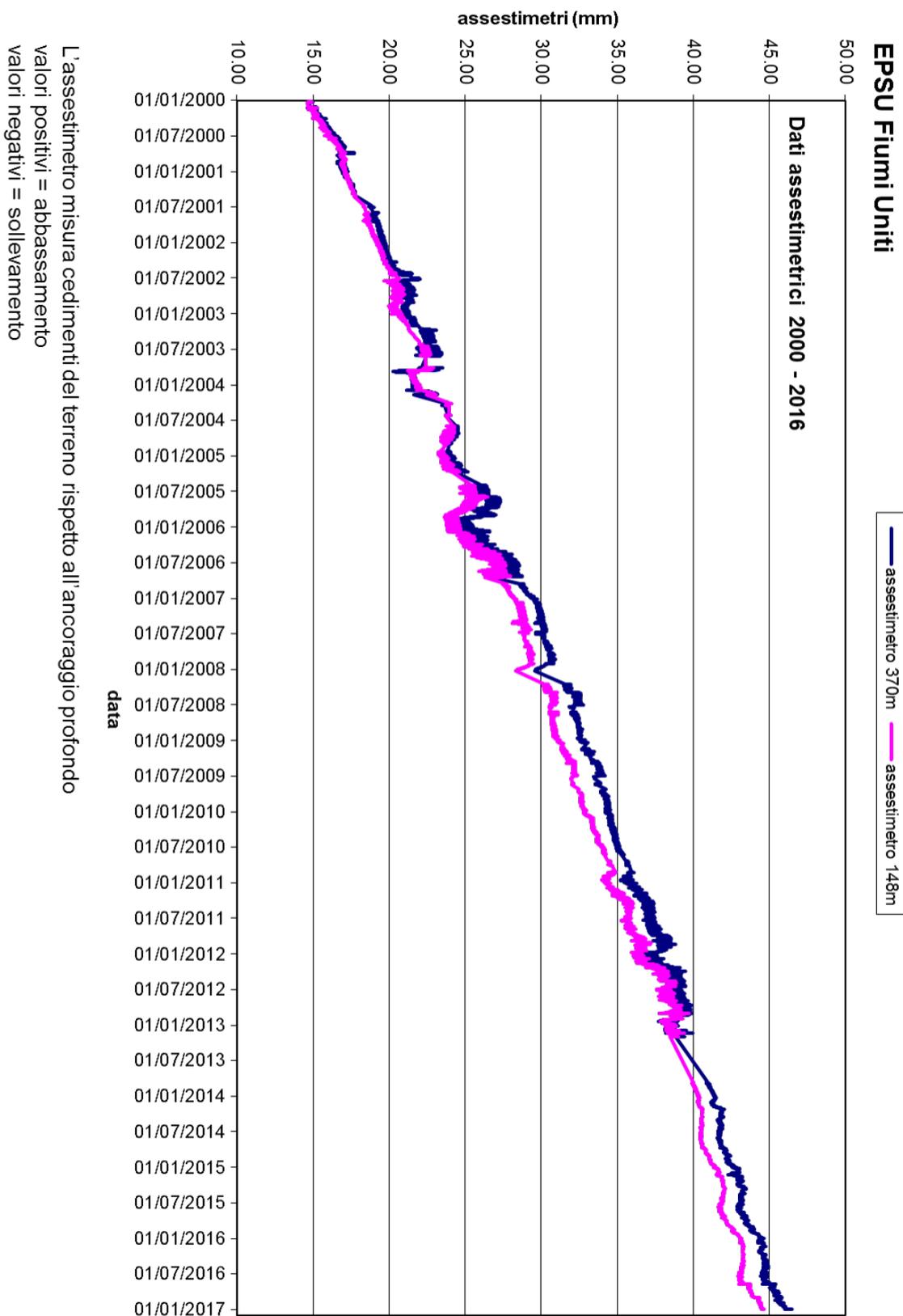
A dicembre 2016 si sono fatti gli ultimi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.

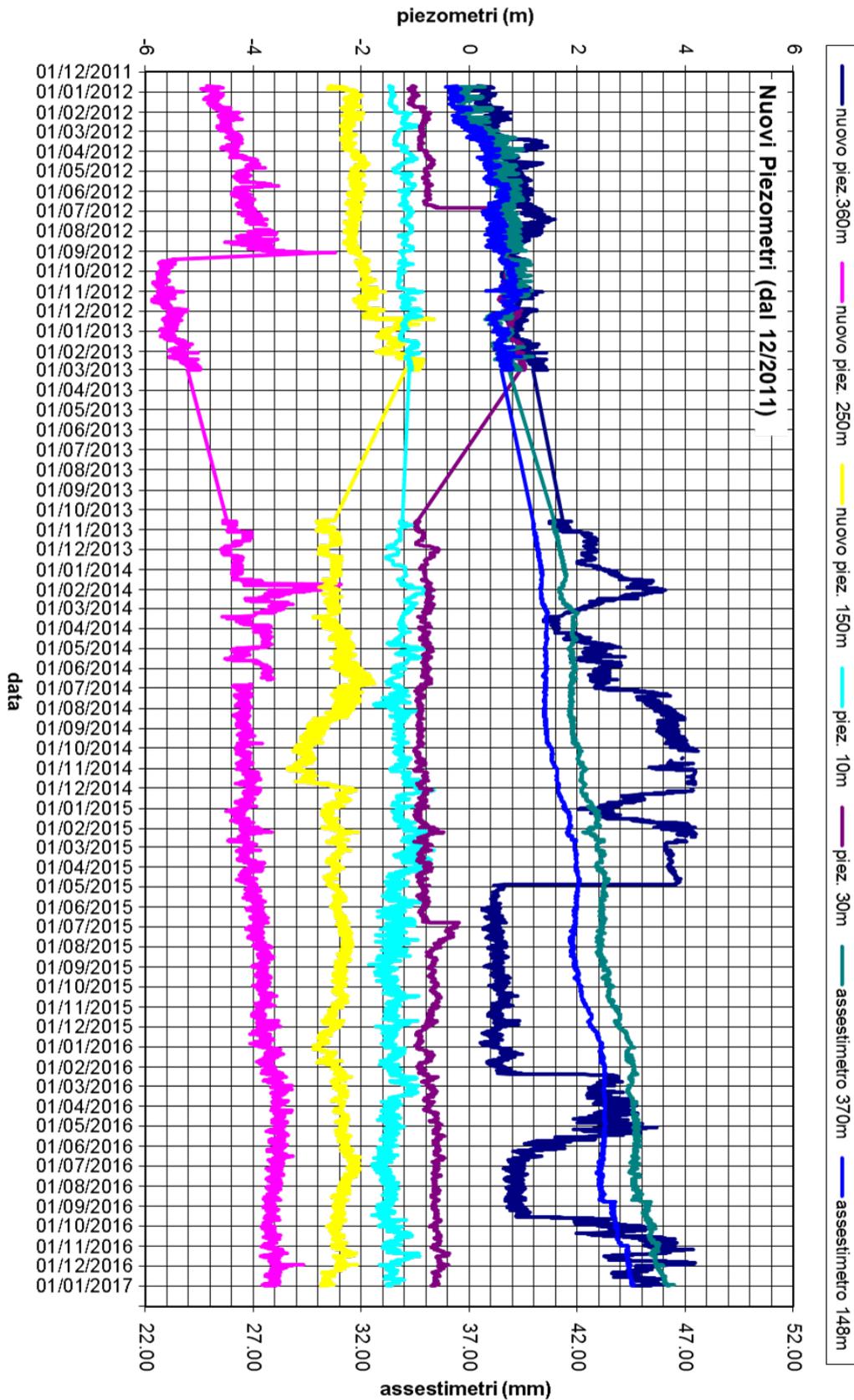


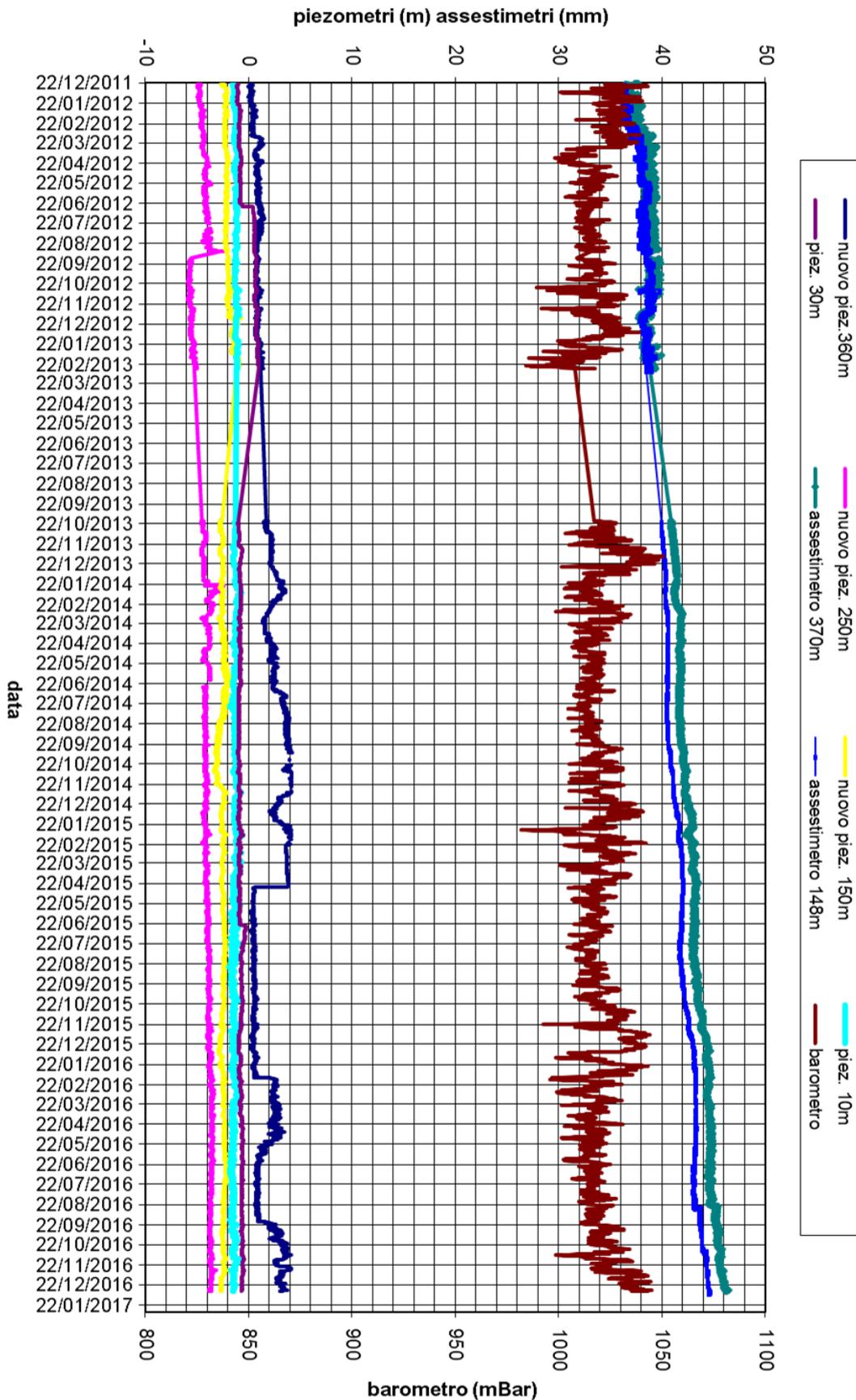




L'assessimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento

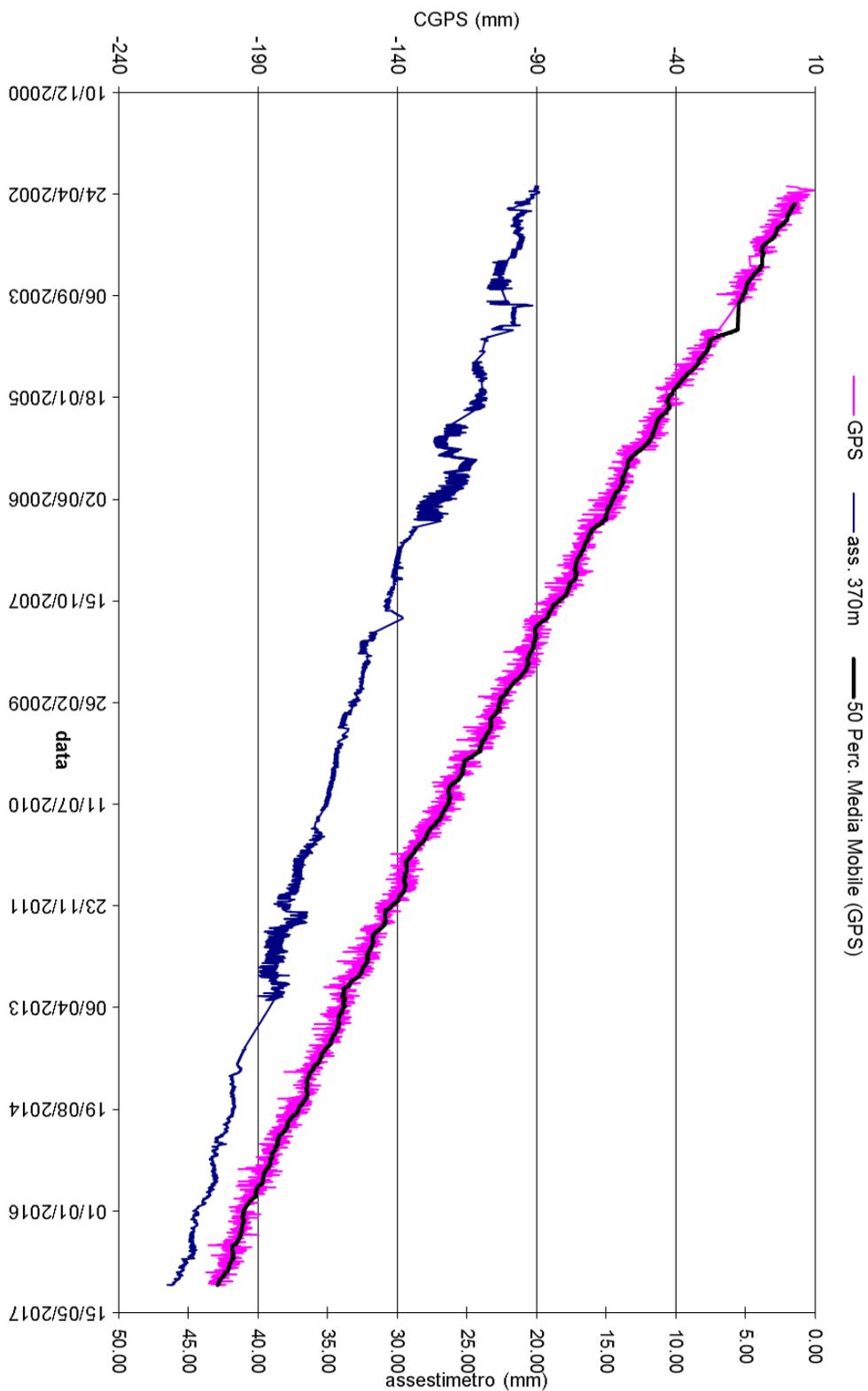








### FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assettimetro profondo



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)



## 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.

Una considerazione generale valida per le tre stazioni considerate è che la compactazione dei terreni superficiali sembra assumere un andamento costante nel tempo, con una velocità che tende lievemente a diminuire. Negli ultimi 4 anni, infatti, si sono registrati per tutti gli assestimetri valori di detta velocità leggermente decrescenti (da 0,1 a 0,5 mm/a) rispetto al passato.

### Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di circa 18,7 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 19,0 mm (mediamente ca. 1,0 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 (6,1 mm complessivi, corrispondenti mediamente a circa 0,3 mm/a).

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

### Spinaroni

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione circa 19,1 anni di osservazioni durante i quali si è registrata una compactazione di 48,8 mm (mediamente circa 2,5 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 CGPS e assestimetrica non è molto elevata; il CGPS 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 2016 - della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestometro più profondo è di 46,2 mm, mentre per quello superficiale detto valore è di ca. 44,6 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 22,3 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione praticamente simili e mediamente dell'ordine di circa 2 mm/a.

Le registrazioni delle curve CGPS e assestimetrica profonda mostrano poi andamenti dei cicli di compattazione ed espansione del terreno non molto simili tra loro, anche se la correlazione tra le due curve sembra essere più elevata negli ultimi anni di registrazione.

Nella seguente tabella sia la compattazione complessiva del terreno, sia la relativa velocità media annua sono state valutate sulla base della misura assestimetrica ottenuta al 31/12/2016 e degli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta, quindi, alcuna regressione dei valori della curva assestimetrica. Tale procedimento potrebbe dare, pertanto, risultati molto simili ma non perfettamente uguali a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici.

Stazione	Anni d'osservazione	Assestometro profondo		Assestometro superficiale	
		Compattazione complessiva (mm)	Velocità (mm/a)	Compattazione complessiva (mm)	Velocità (mm/a)
<b>Smarlacca</b>	18,7	19,0	1,0	6,1	0,3
<b>Spinaroni</b>	19,1	48,8	2,6	-	-
<b>Fiumi Uniti</b>	22,3	46,3	2,1	44,6	2,0