

Campo di GUENDALINA

Aggiornamento al 31/12/2015

Il campo di Guendalina è ubicato nell'offshore adriatico a circa 47 Km dalla costa romagnola, in corrispondenza di un fondale marino di circa 42 m e ricade nella concessione di coltivazione A.C35.AG, Eni al 80% e Rockhopper al 20% (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C35.AG	25/11/2022	Eni	Eni Rockhopper	80% 20%	Emilia-Romagna

Il giacimento è costituito da una serie di livelli mineralizzati compresi fra i 3000 e i 3080 msl e appartenenti alla F.ne P. Garibaldi, che si sono depositati in onlap progressivo delle facies torbiditiche lungo un canyon inciso nel substrato pre-pliocenico.

La trappola è di tipo misto (stratigrafico – strutturale): i livelli, infatti, risalgono in updip verso l'unconformity (in direzione NE) con la chiusura che avviene per pinch out sulla F.ne Clara ("facies impermeabile") per i tre lati della parete del canyon e per pendenza in direzione downdip.

Il giacimento è stato scoperto dal pozzo esplorativo Guendalina 1, perforato nel 1998 nel permesso A.R88.FR. L'attuale concessione (A.C35.AG) è stata conferita con decorrenza 25/11/2002 per un periodo di 20 anni e ha scadenza al 25/11/2022.

Il pozzo esplorativo Guendalina 1 ha trovato mineralizzato a gas il livello PL3-J3 della formazione Porto Garibaldi (Figura 2). Per valutare l'estensione di tale mineralizzazione e la potenzialità produttiva della scoperta, è stato eseguito il sidetrack Guendalina 1dirA con uno scostamento di 350 m in direzione NE. Tale sidetrack, oltre a confermare l'estensione areale del livello PL3-J3, ha trovato mineralizzato a gas anche il PL3-I1 e altri due livelli d'interesse minerario minore (PL3-J e PL3-J1).

Su entrambi i pozzi Guendalina 1 e Guendalina 1 dirA sono stati registrati log elettrici e misure di pressione RFT; il livello PL3-J3 è stato provato sul pozzo Guendalina 1.

I due pozzi esplorativi sono stati poi chiusi minerariamente.

In data 30 gennaio 2001 è stata presentata da Eni istanza per l'assegnazione di concessione, cui il CTIG ha dato parere favorevole il 20 dicembre 2001. Il 26 ottobre 2006 Eni ha inoltrato un'istanza di variazione del programma lavori di sviluppo per l'allacciamento della piattaforma Guendalina alla piattaforma Tea.

Nel documento SIA, presentato da Eni il 21/11/2007, è riportato il profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello Eclipse 3D) del luglio 2007.

Tale profilo prevedeva il recupero di 757 MSm³ in 10 anni con una graduale chiusura dei pozzi per elevata produzione d'acqua. La portata di picco giornaliera di gas era stimata in circa 500 kSm³/g. Nell'elaborazione del profilo si era considerata anche la messa in produzione del livello PL3-K che era stato individuato da un'evidente anomalia d'ampiezza presente nei tracciati sismici. Tale livello non era stato, però, raggiunto dai pozzi esplorativi e il suo GOIP, pertanto, era stato classificato solo come possibile. Il pozzo di sviluppo Guendalina 3 lo ha attraversato per circa 11 m; il livello è risultato mineralizzato a gas come previsto, ma con saturazione in acqua così alta da sconsigliarne il completamento e la messa in produzione.

I due pozzi di sviluppo del campo Guendalina 2 dir e Guendalina 3 sono stati perforati e aperti alla produzione nell'ottobre 2011 utilizzando una piattaforma di tipo BEAF.

La string lunga del pozzo Guendalina 2 dir è stata adibita al monitoraggio in situ della compattazione profonda tramite l'installazione in formazione di marker, il cui rilievo base è stato registrato nel giugno 2011.

Durante la fase di sviluppo del campo è stata fatta, altresì, una campagna d'acquisizione dati (RFT di pressione, carote di fondo, logs, prove di permeabilità, ecc.) da utilizzarsi per la caratterizzazione petrofisica e geomeccanica della copertura e della roccia serbatoio dei livelli mineralizzati nei futuri aggiornamenti dei modelli (giacimento e geomeccanico).

Nel 2013 a seguito di un progressivo peggioramento dei parametri erogativi (portate, pressioni di testa) si è chiusa spontaneamente alla produzione la string corta del pozzo Guendalina 2 dir. Le verifiche successive hanno confermato che anche l'accessibilità della string lunga adibita al solo monitoraggio della compattazione (FSMT – Formation Subsidence Monitoring Tool) era stata compromessa. Sono stati fatti in seguito numerosi tenta-

tivi per ripristinare sia la produzione che l'accessibilità del pozzo Guendalina 2 dir con risultati sempre negativi. Per il ripristino della produzione e la ripresa del monitoraggio in situ della compattazione si è, pertanto, perforato nel corso di un workover (settembre 2015) un nuovo SideTrack (ST Guendalina 2 dirA) in cui si sono installati nuovi markers, di cui si è acquisito rilievo base.

Nel 2014 si sono rivisti i modelli statico e dinamico del campo di Guendalina (*"rel n°03-14 GISE del marzo 2014 - Campo di Guendalina – Revisione Studio di Giacimento"*), utilizzando anche le informazioni acquisite con lo sviluppo del campo.

Obiettivi del lavoro sono stati:

- rivalutare il potenziale minerario dei livelli della serie PL3;
- aggiornare i profili di produzione e le riserve del campo alla luce della storia produttiva sin qui acquisita;
- verificare se il piano di sviluppo in essere fosse tale da ottimizzare il recupero di gas.

Nel corso della revisione dello studio si è già considerato l'intervento di side track sul pozzo Guendalina 2 dir che sarà poi di fatto effettuato nel settembre 2015.

Con il nuovo profilo di produzione è stato stimato un recupero di 721 MSm³ al 2023 (Figura 3) con una diminuzione delle riserve, quindi, di circa il 5% rispetto alla valutazione precedente. Sempre in Figura 3 è riportato anche il confronto tra il profilo di produzione calcolato con il modello Eclipse del marzo 2014 e la produzione reale.

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici delle portate di gas (kSm³/g), d'acqua (m³/g) e la produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/15 (pari a 497 MSm³).

In Figura 5 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati (modelli Eclipse del marzo 2014) e le pressioni registrate nei livelli principali del campo (PL3-I1 e PL3-J3) che mostrano un buon accordo tra le previsioni modellistiche e le misure eseguite.

Per valutare l'entità d'eventuali fenomeni di subsidenza connessi all'estrazione di gas, si è fatto uno studio previsionale con modello geomeccanico a elementi finiti (modello FEM elasto-plastico) basato sul modello geologico e sulla descrizione del comportamento dinamico del giacimento risultanti dallo studio del luglio 2007. Nelle simulazioni si è, altresì, considerata un'ampia finestra temporale della durata di 20 anni oltre la fine della vita pro-

duttiva del campo per tenere conto della propagazione del disturbo di pressione nell'acquifero.

In aggiunta allo scenario ritenuto più probabile (*Most Likely*), si è fatta anche un'analisi di sensitività (scenari *Lower* e *Upper*) variando il coefficiente di compressibilità uniassiale C_m della roccia serbatoio.

I valori massimi di subsidenza previsti a diversi intervalli temporali sono riportati nella seguente Tabella 1:

Tabella 1 – Scenari di subsidenza: modello geomeccanico del 2007

SCENARIO	Max Sub. [cm] dopo 4 anni	Max Sub. [cm] dopo 6 anni	Max Sub. [cm] dopo 10 anni	Max Sub. [cm] dopo 15 anni	Max Sub. [cm] dopo 25 anni
<i>Lower</i>	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7
<i>Most likely</i>	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5
<i>Upper</i>	2,3	2,6	2,7	2,8	2,7

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può concludere che:

- nel caso ritenuto più probabile (*Most Likely*), il valore massimo di subsidenza prevista è di 1,5 cm. L'analisi di sensitività ha mostrato che tale valore è compreso nell'intervallo 0,5 ÷ 2,8 cm;
- solo nello scenario *Upper* è possibile tracciare il bordo del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) che è risultato distare dalla costa 45 Km circa. Tale distanza è tale da poter escludere qualunque impatto sulla stabilità della costa stessa per effetto della produzione di gas.

Nel 2014 si è aggiornato anche il modello geomeccanico sulla base del nuovo modello di giacimento. Nel corso di tale studio si sono presi in esame due possibili scenari di previsione di produzione:

- scenario DN (Do Nothing): nessun intervento ai pozzi esistenti;
- scenario ST (Side-Track): work-over sul pozzo Guendalina 2 dir con perforazione di un ST (Guendalina 2 dirA) di cui si è detto in precedenza.

Per ognuna di tali previsioni di produzione si sono considerati 5 diversi casi di compressibilità uniassiale C_m della roccia serbatoio (Lower, Middle, Upper, Markers e GPS) per un totale complessivo di 10 scenari simulati.

Per tutti gli scenari la simulazione è stata protratta sino al 2052, per valutare l'effetto della propagazione di pressione dopo la chiusura della produzione.

I principali risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 2:

Tabella 2 - Scenari di subsidenza: modello geomeccanico del 2014

Scenario di produzione	Scenario di compressibilità	Fine produzione		Massima subsidenza		Fine simulazione	
		Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
DN	Lower	-	-	-	-	-	-
DN	Middle	1	-	1	-	1	-
DN	Upper	2	-	2	1	2	1
DN	Markers	2	-	2	-	2	-
DN	GPS	3	3	3	4	3	4
ST	Lower	-	-	-	-	1	-
ST	Middle	1	-	1	-	1	-
ST	Upper	2	2	2	2	2	2
ST	Markers	2	-	2	-	2	-
ST	GPS	3	5	3	5	3	5

Dall'analisi di questi risultati si può concludere che:

- il valore massimo di subsidenza previsto è pari a circa 3 cm per il caso " C_m da GPS", che è il più cautelativo tra tutti quelli considerati. Tale valore è raggiunto nel 2022 per lo scenario di produzione DN, e nel 2023 per scenario quello ST. L'evoluzione nel tempo della subsidenza valutata in tale punto per tutti gli scenari è riportata in Figura 6;
- al termine della produzione per il caso " C_m da GPS" la massima estensione del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) è pari a 3 km nel caso DN e 5 km nel caso ST. Tale distanza giunge a 4 km nel caso DN e a 5 km nel caso ST a fine simulazione (2052);

- Il fenomeno si esaurisce, pertanto, a una distanza di oltre 40 km dalla costa per tutti gli scenari considerati (Figura 7).

In ottemperanza alle prescrizioni del DEC/VIA n.0009995 del 22 aprile 2009 in merito alla “Stima e monitoraggio dei fenomeni geodinamici” è stata, inoltre, acquisita a gennaio 2011 una batimetria di precisione nell’area del campo di Guendalina per un’estensione totale di circa 52 km² (Figura 8). Il risultato di tale rilievo mostra un fondale con una profondità minima di circa 36,4 m nella parte nord-occidentale (blocco G01) che raggiunge i 42,6 m nella zona sud-orientale (blocco G04) con un picco di 43,4 m in aree con depressioni.

L’area del rilievo si può, quindi, idealmente dividere in due zone, separate grosso modo dalla batimetria dei 41 metri: una zona ovest dal fondale piuttosto regolare con basse pendenze e una zona est più profonda e articolata. Nell’area rilevata sono presenti strutture che sembrano indicare depositi trasgressivi e di paleo-delta. Infatti, la morfologia dell’area riflette, come tutti i fondali del Mar Adriatico, la dinamica dei cicli trasgressivo - regressivi verificatisi durante l’ultima glaciazione Wurmiana.

L’esecuzione della batimetria multibeam è stata fatta al fine di ottenere un “termine di confronto” prima dell’avvio della produzione del campo, rilevando il fondale di un’area sufficientemente ampia da includere l’estensione del possibile cono di subsidenza, così come è stato previsto dal modello geomeccanico.

In futuro, sulla base all’evoluzione dei valori di subsidenza registrati in continuo dal CGPS in piattaforma, si potrà, eventualmente, pianificare ed eseguire un nuovo rilievo batimetrico sia per il monitoraggio di eventuali abbassamenti del fondo mare, sia per una verifica e/o taratura delle previsioni modellistiche.

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

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

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

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

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

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

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

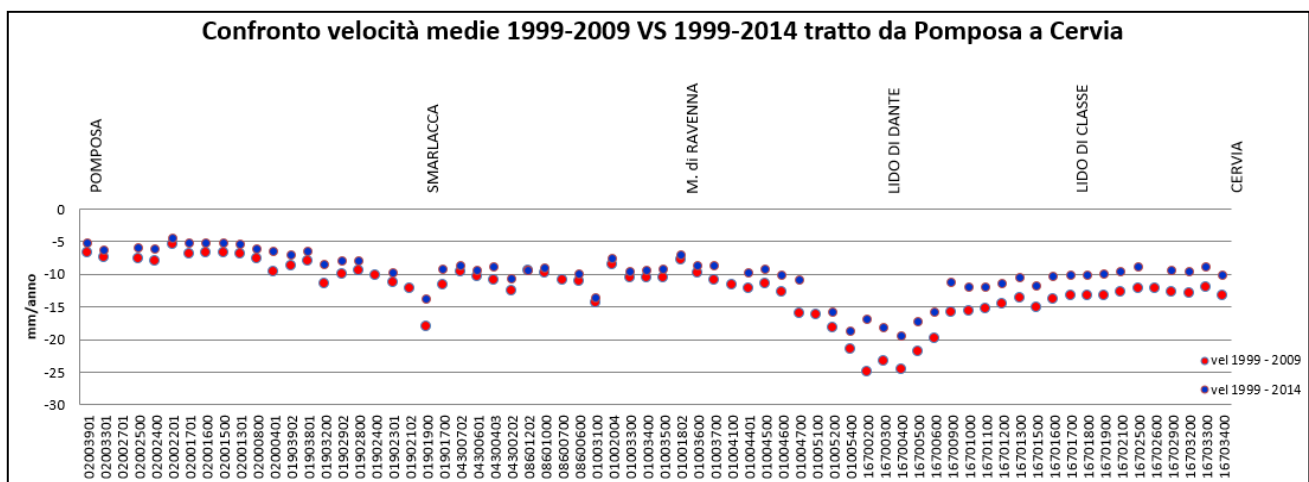
Si ritiene opportuno sottolineare che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle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

Per il tratto di costa compreso tra la zona di Pomposa e il centro abitato di Cervia - prospiciente i campi di Naomi-Pandora, Guendalina e Tea-Lavanda-Arnica – le livellazioni disponibili non sono completamente omogenee tra loro poiché le quote di alcuni capisaldi sono

state misurate solo a partire dal 2003. Di conseguenza si sono valutate con regressione 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 A: il confronto mostra come negli ultimi anni si sia avuta una generale diminuzione di velocità di subsidenza, diminuzione che è mediamente dell'ordine 2,4 mm/a, con una punta minima di 1,5 mm/a e una massima di 8,1 mm/a.

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



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

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori. Considerando, infatti, 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 suolo¹ (V_a) - stimate con regressione lineare - raggruppandole nelle seguenti 5 classi:

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

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

Le campagne future potranno eventualmente meglio definire tale trend d'abbassamento, anche se non si possono escludere cedimenti locali dovuti a instabilità dei capisaldi stessi che saranno, comunque, oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

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

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2015) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 9).

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.

¹ Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie del suolo) sono rappresentate con valori negativi. Per comodità d'interpretazione, però, nell'elenco che segue, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

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) e Guendalina (agosto 2011); le stazioni CGPS di Naide e PCC risultano, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. Nel 2014, sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra, Fauzia, Barbara-E, e infine, nel 2015, è stata installata la stazione Bonaccia-NW. Le serie storiche delle stazioni installate nel 2014 e 2015, sono ovviamente troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

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

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

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

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

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

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

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2015, sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 3.

Tabella 3 - 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
Guendalina	12,73	18,74	-6,37	13,48	19,99	-7,52	-0,75	-1,25	-1,15

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

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

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

In generale:

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

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

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

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

Per il campo di Guendalina è possibile stimare sulla base di una serie storica, anche se di poco, superiore ai 36 mesi una velocità media di subsidenza totale² misurata da CGPS pari a -6,4 mm/a (Figura 10). Tale valore è invariato rispetto a quello stimato nel 2014 (-6,4 mm/a - Figura 11) e risulta sostanzialmente in linea con le previsioni del modello geomeccanico (Figura 12) per lo scenario DN (caso "C_m da GPS").

Al fine di monitorare la compattazione profonda e il comportamento meccanico della roccia serbatoio, sono stati installati nel giugno 2011 alcuni marker di controllo nel pozzo Guendalina 2 dir, registrando in tale data anche il rilievo base. Nel luglio del 2012 si è eseguito un primo survey di monitoraggio su un tratto di formazione di circa 80 m (3096,75

²La "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.

m -- 3175,50 m) ottenendo per il periodo 2011-2012 una compattazione totale media di circa 13 mm (Figura 13), in sostanziale accordo con le previsioni modellistiche.

I survey annuali del 2013 e 2014 non sono stati eseguiti a causa di problemi meccanici che hanno impedito la discesa in pozzo della strumentazione di misura (insabbiamento del fondo pozzo e rottura della string corta); i vari tentativi di ripristino dell'accessibilità del pozzo stesso non hanno, purtroppo, dato esito positivo.

Nel corso di un intervento di work-over eseguito nel 2015 sul campo, sono stati reinstallati marker di controllo nel nuovo pozzo Guendalina 2 dirA perforato in *side-track* da Guendalina 2 dir, che, invece, è stato chiuso minerariamente. Nel nuovo pozzo si è ripreso a monitorare la compattazione *in situ* della roccia serbatoio registrando il rilievo base in data 27 ottobre 2015.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni hanno confermato come eventuali fenomeni di subsidenza connessi alla produzione di gas dal campo di Guendalina 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 14 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 15 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

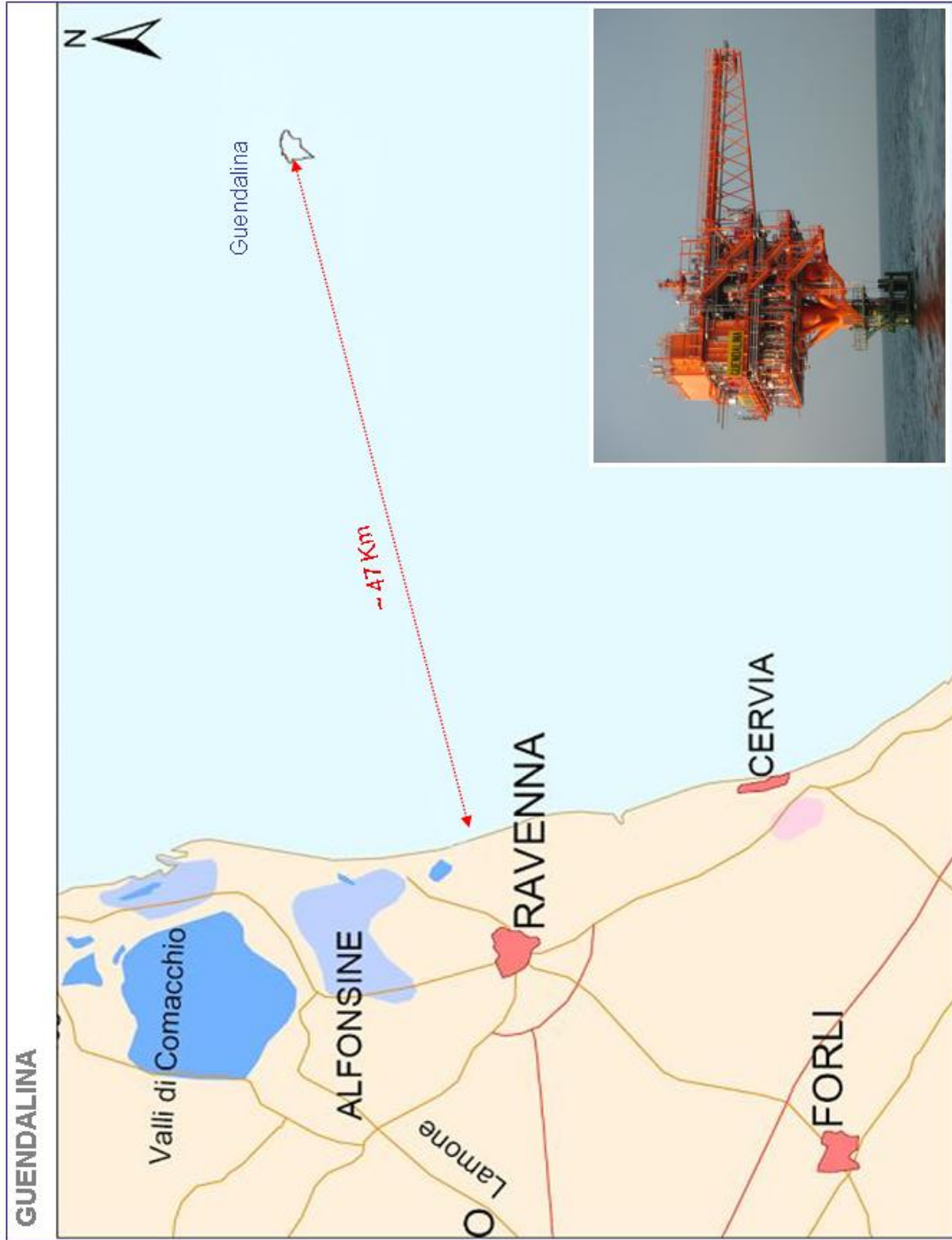


Figura 1 - Posizione del campo di Guendalina

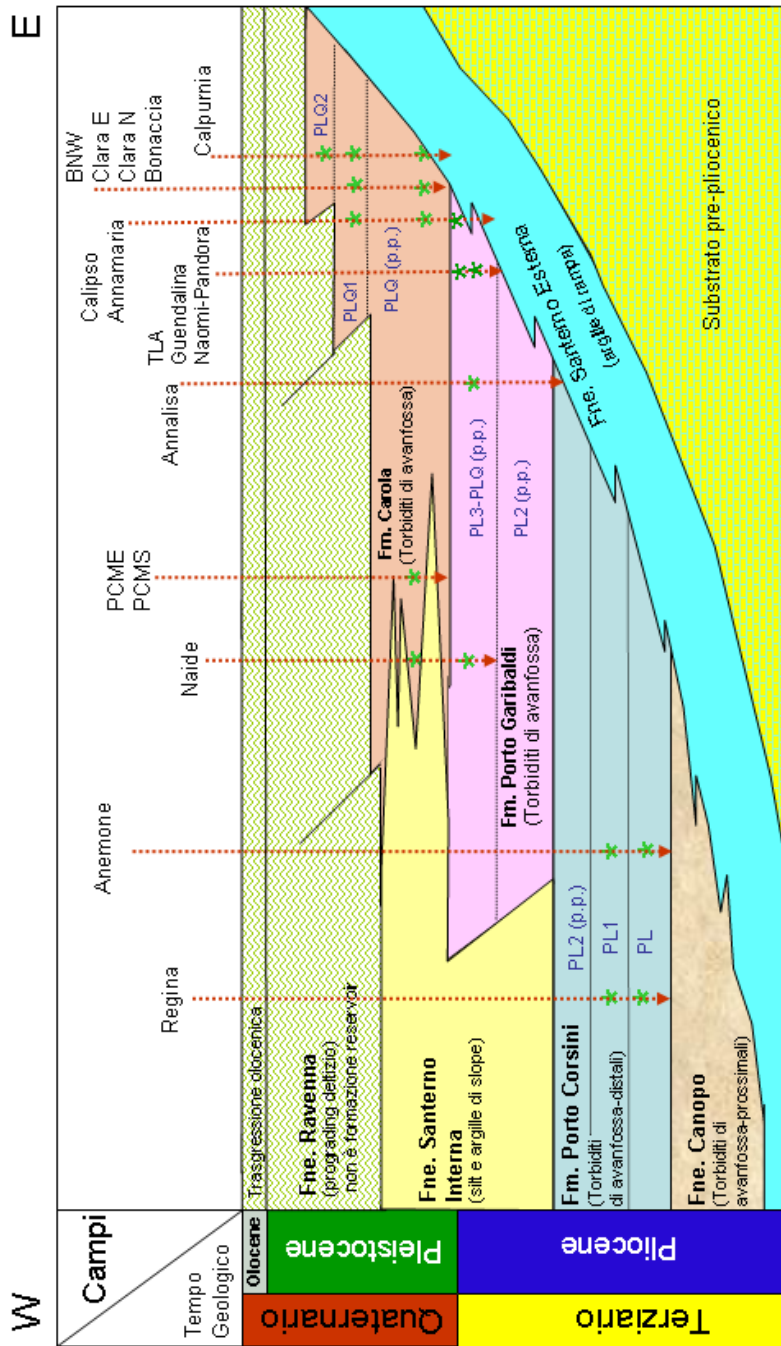
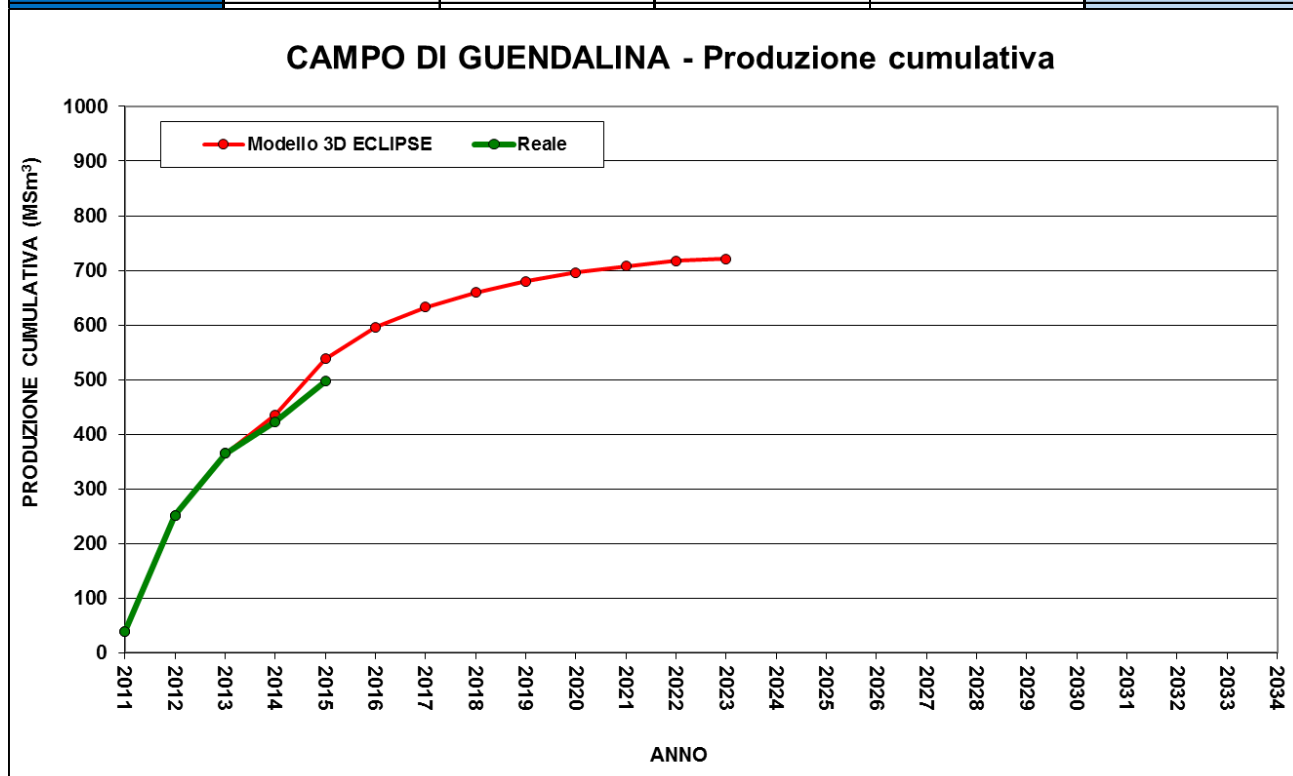


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

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



CAMPO DI GUENDALINA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2011	40	39	40	39	5%
2012	212	212	252	252	35%
2013	113	113	365	365	51%
2014	58	70	423	436	59%
2015	74	103	497	538	69%
2016		58		596	
2017		36		632	
2018		27		659	
2019		21		680	
2020		16		696	
2021		12		708	
2022		9		717	
2023		4		721	
2024					
2025					



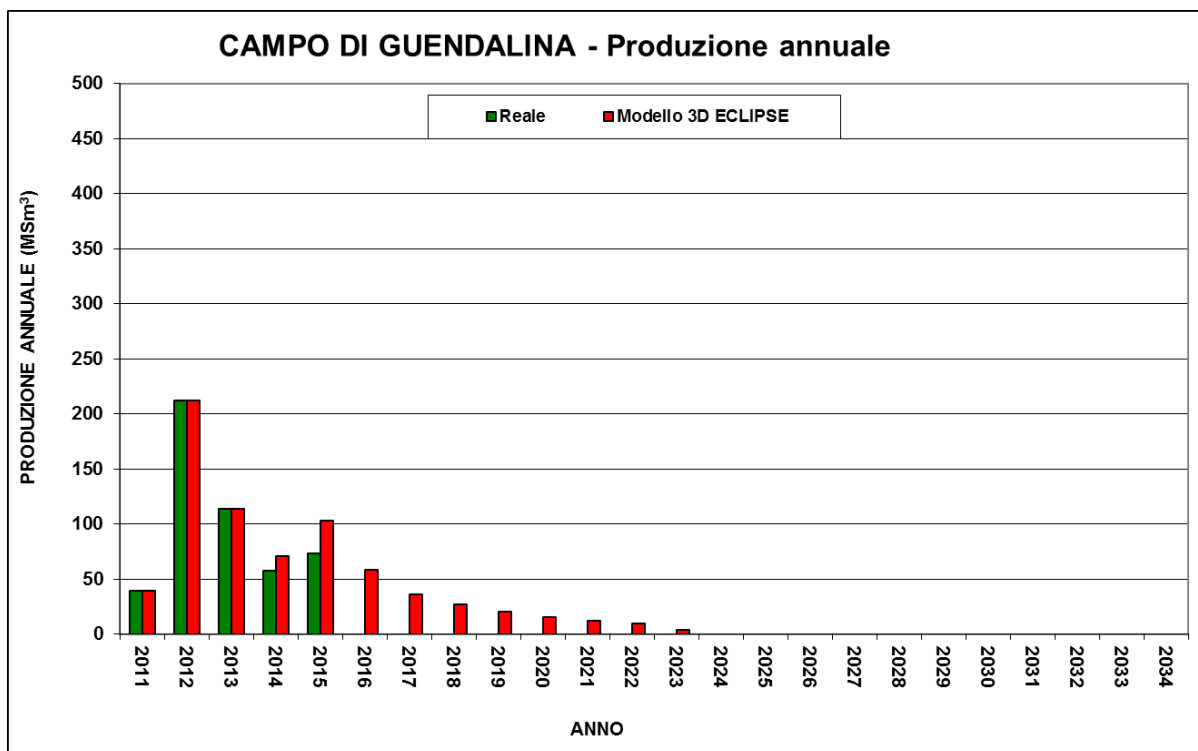


Figura 3 - Campo di Guendalina: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse

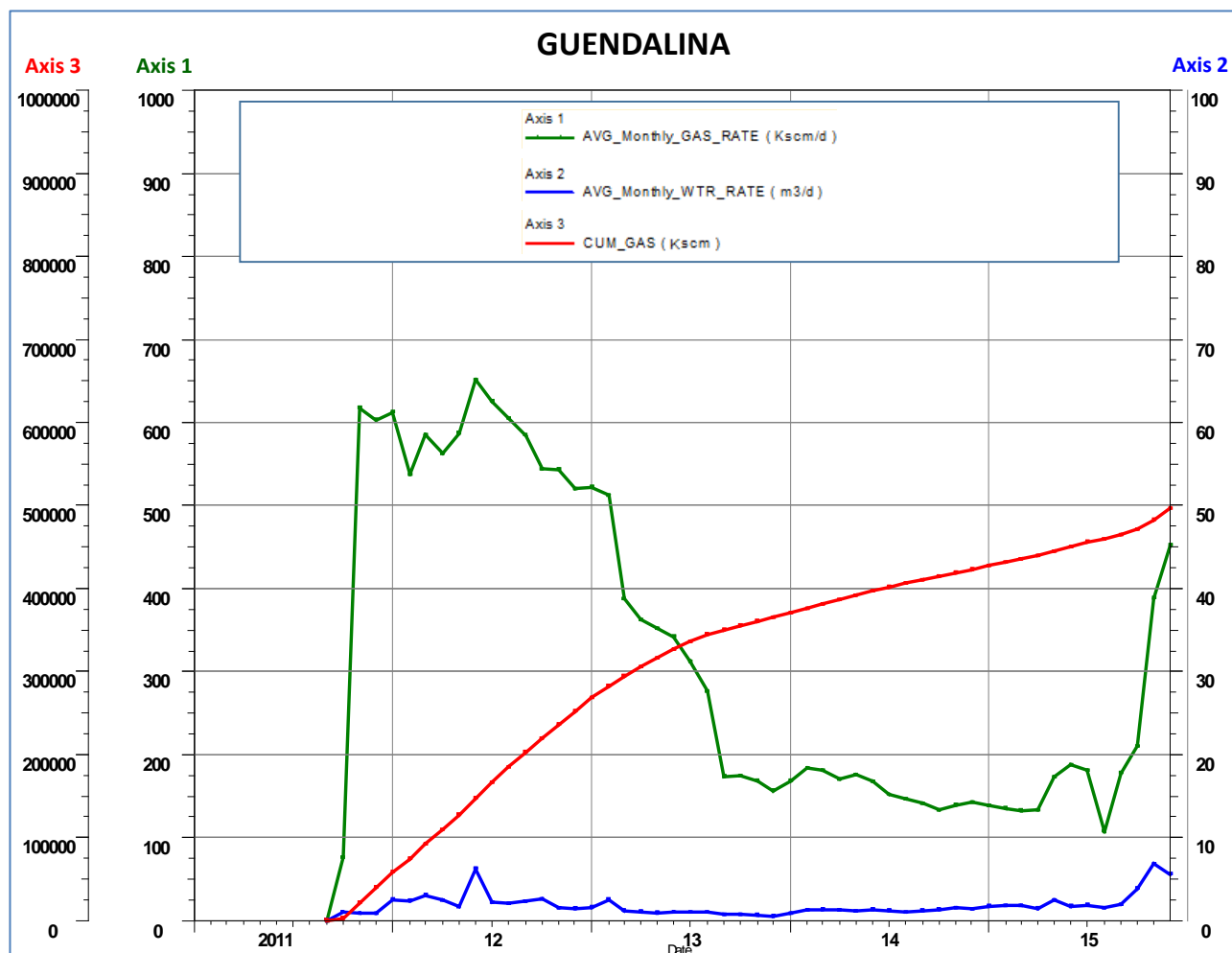
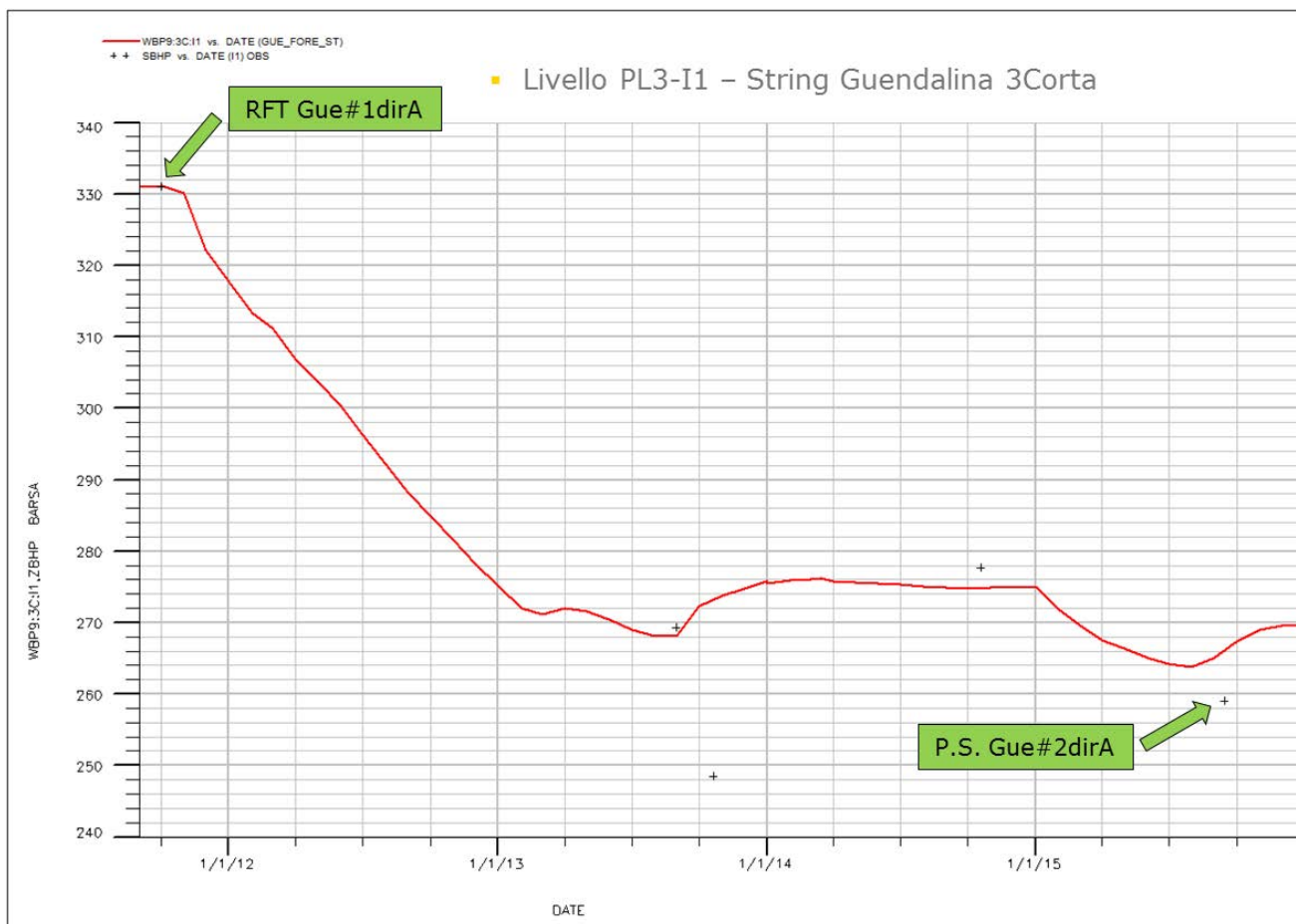


Figura 4 - Campo di Guendalina: grafico di produzione storica



CAMPO DI GUENDALINA

Data	Livello PL3-J3			Livello PL3-I1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
15/05/1998	339	1 Dir A		331	1 Dir A	
30/08/2013	190		3 L	269		3 C
20/10/2013				248		3 C
19/10/2014				278		3 C
15/09/2015				259	2 Dir A	



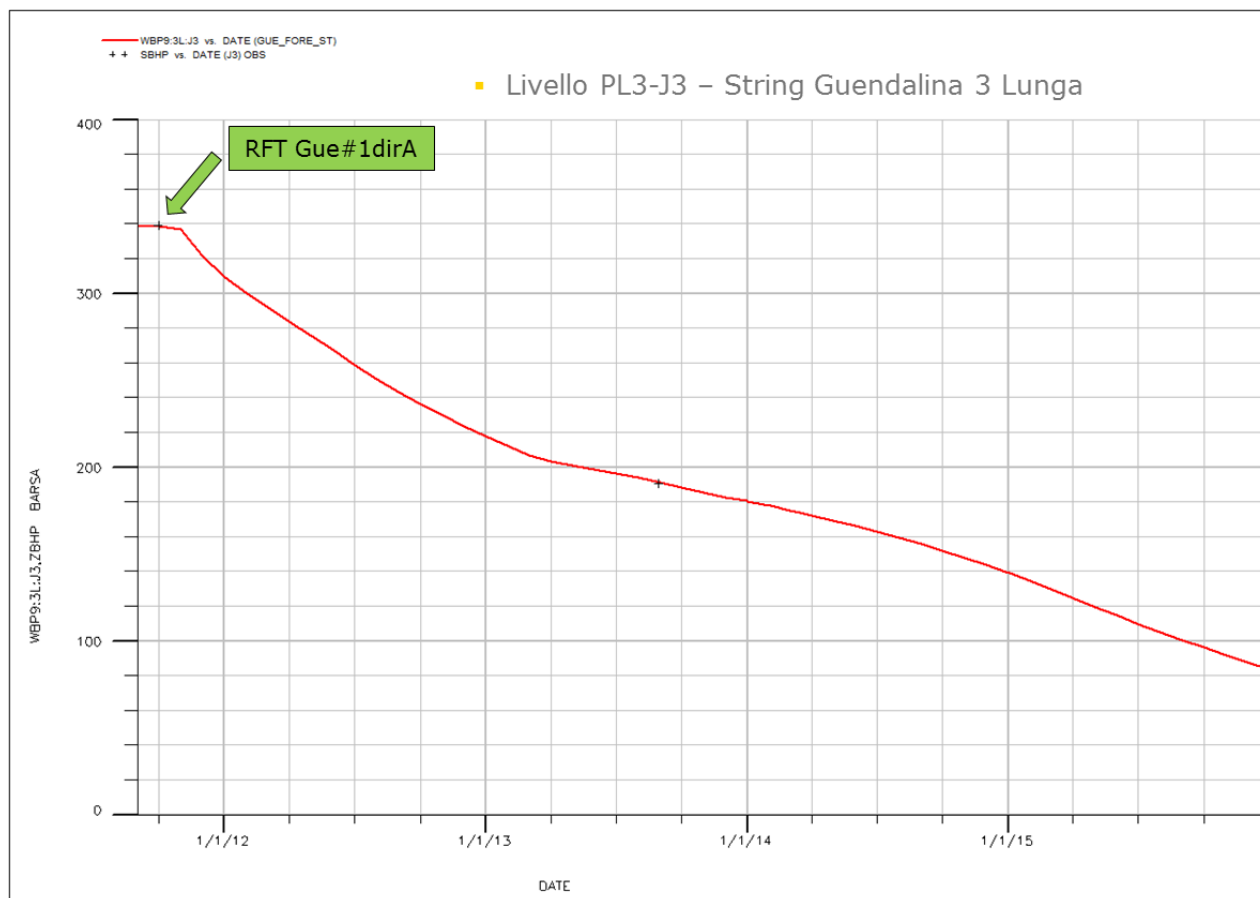


Figura 5 - Campo di Guendalina: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (liv. PL3-I1 e PL3-J3)

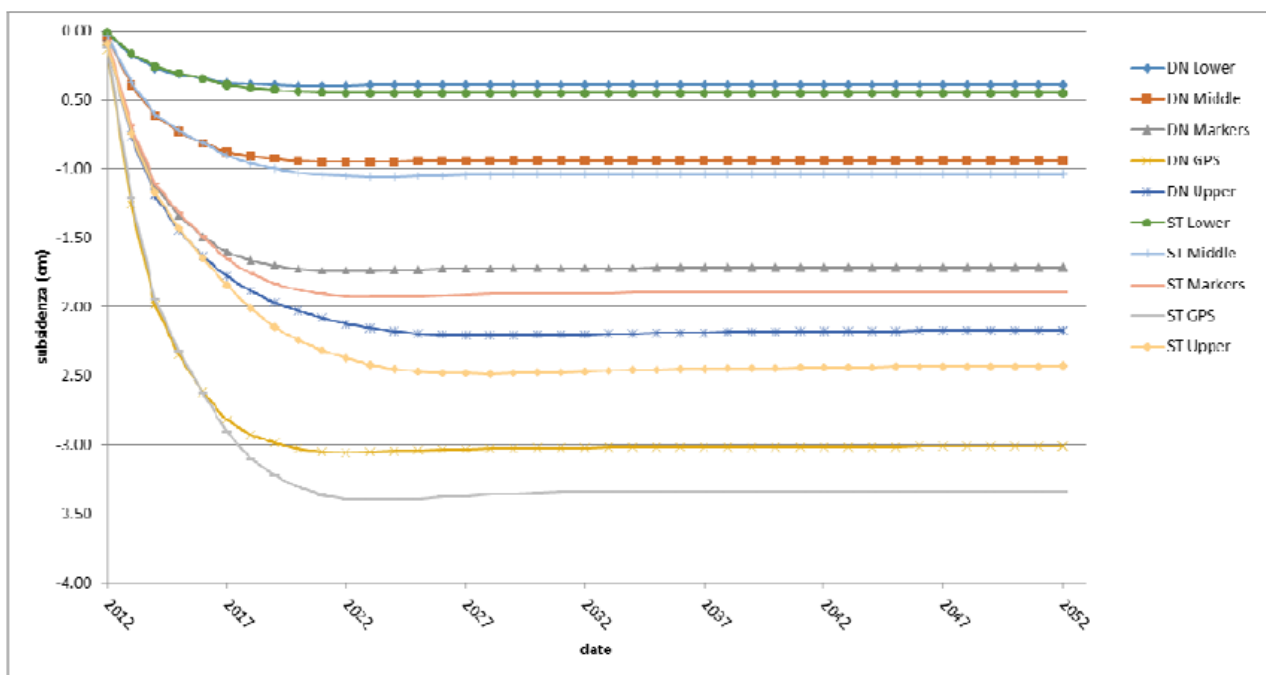


Figura 6 - Campo di Guendalina: evoluzione della subsidenza nel punto di massimo

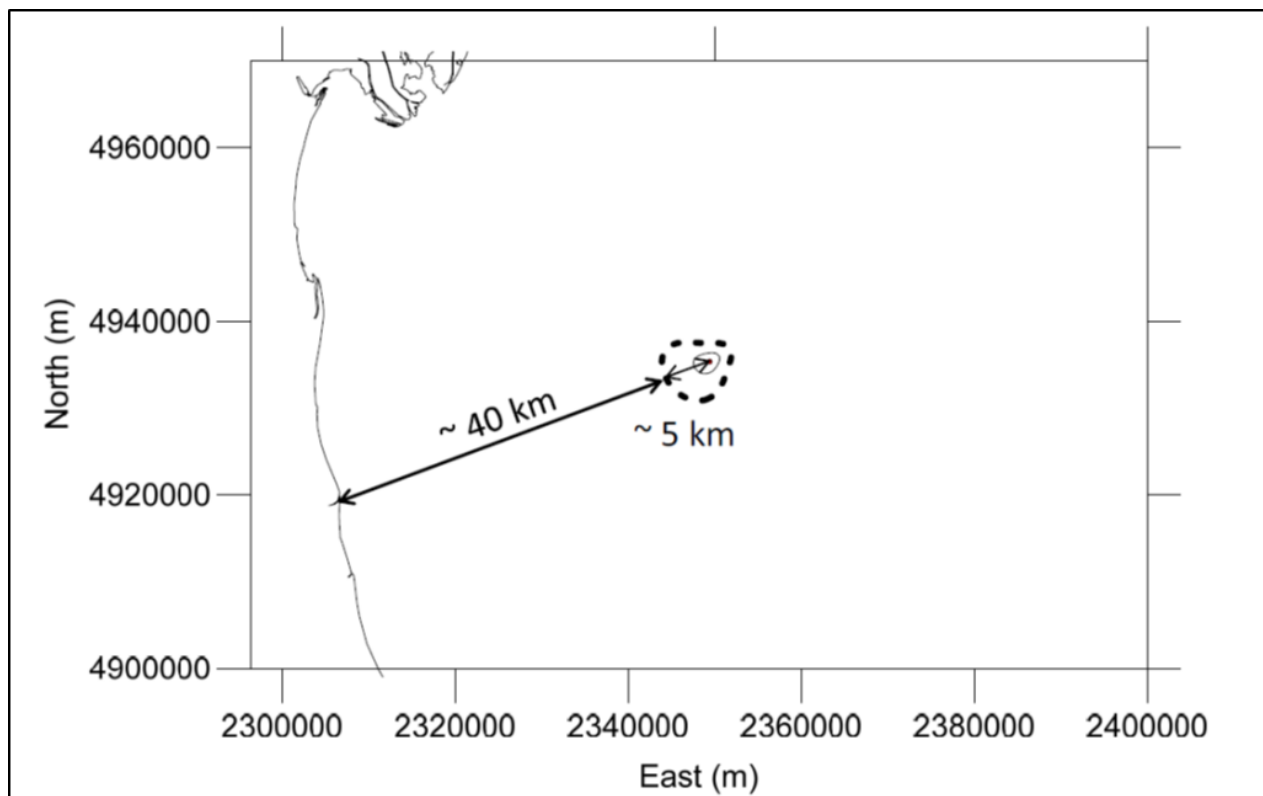


Figura 7 - Campo di Guendalina: curve d'isosubsidenza per il caso ST (GPS scenario) a fine simulazione (2052)

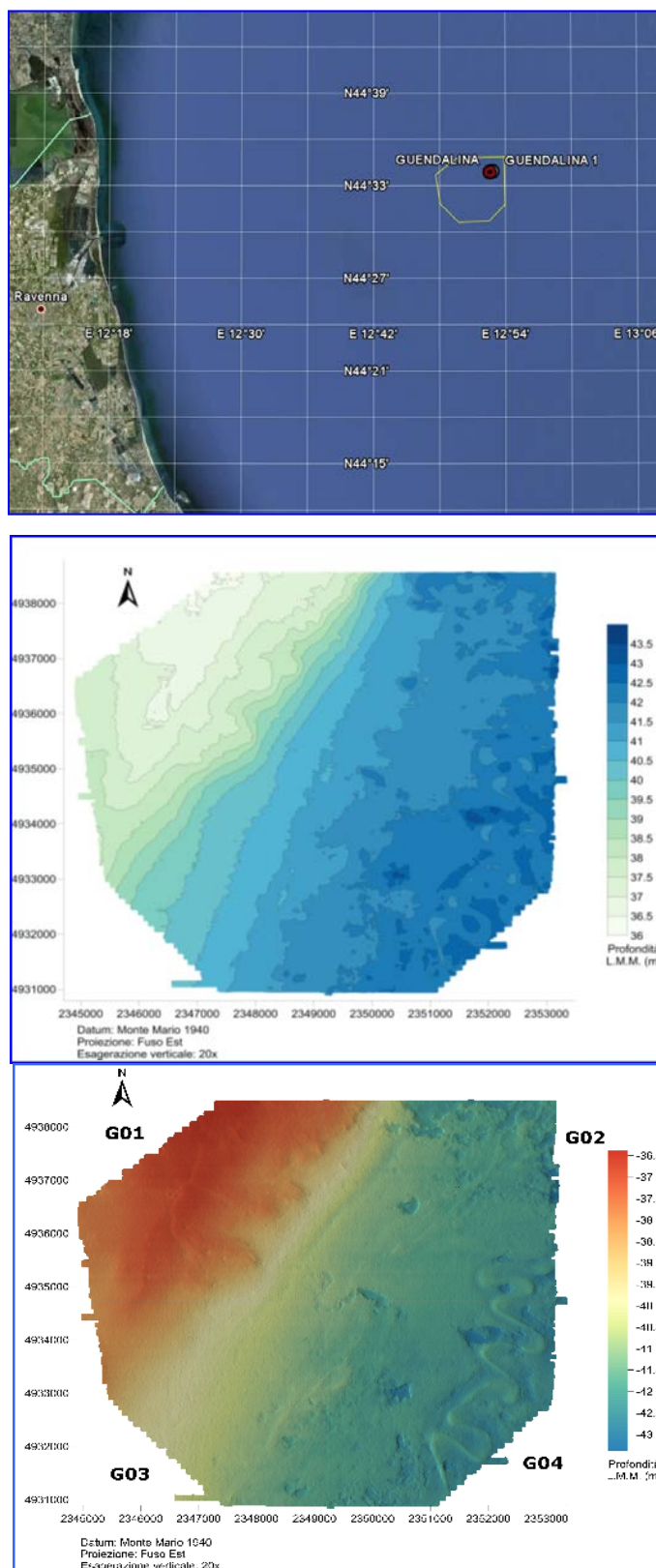


Figura 8 - Batimetria di Guendalina: perimetro dell'area rilevata (in alto),
mappa delle isobate e superficie 3D

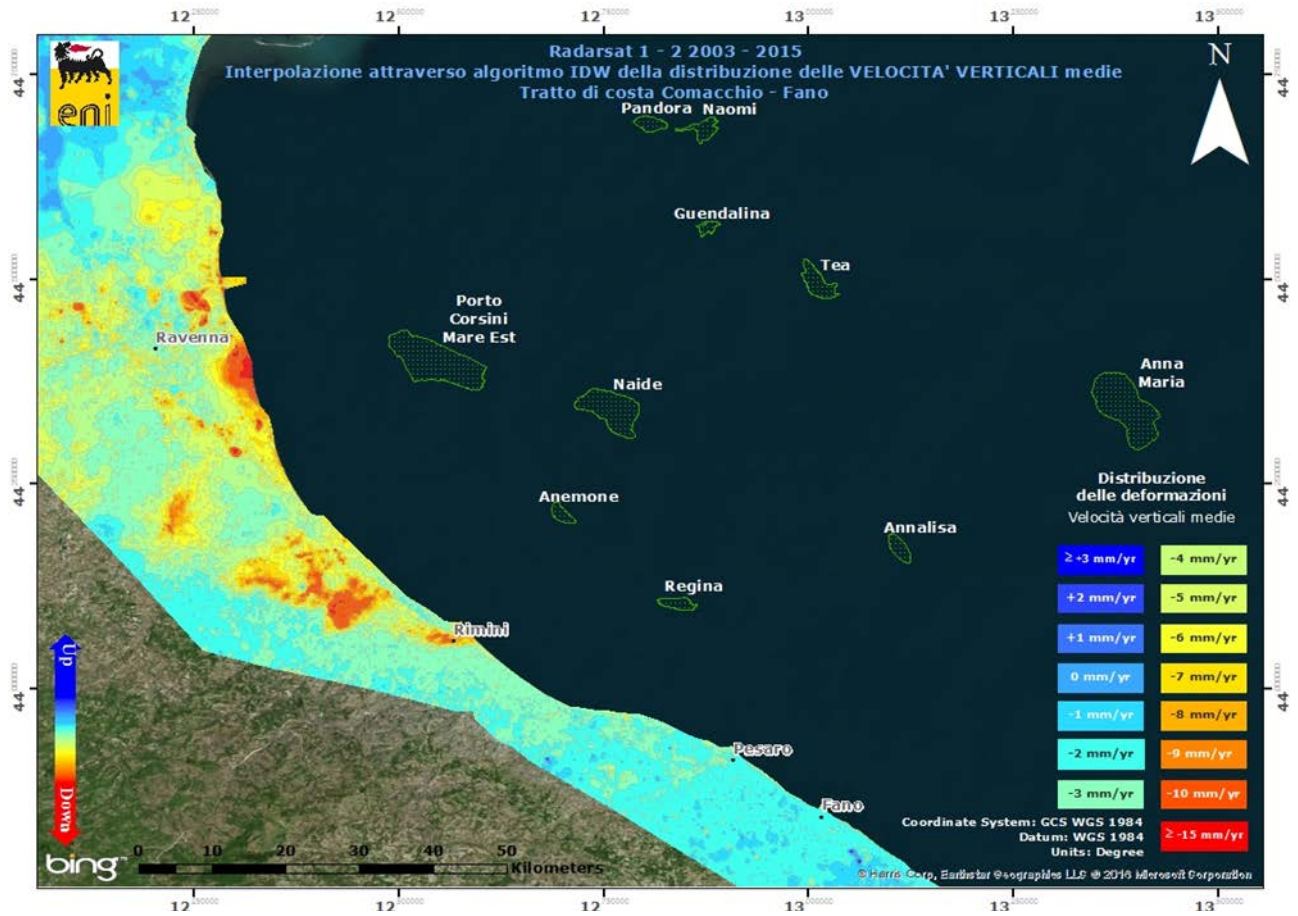
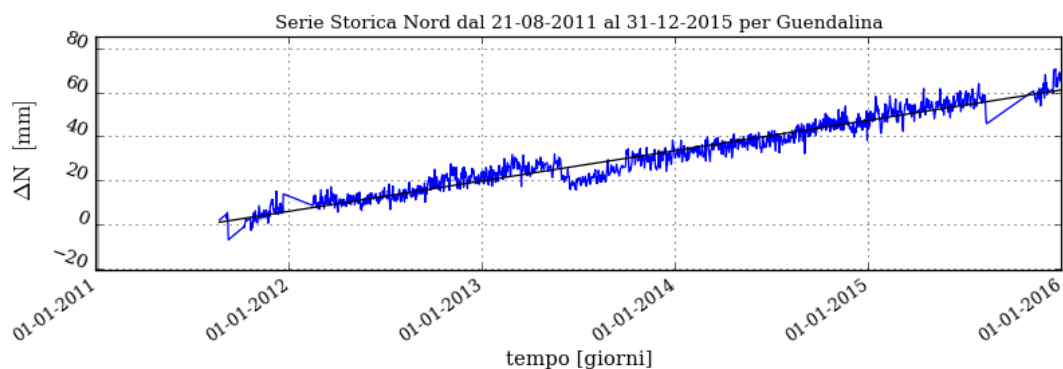


Figura 9 - Analisi dei dati SAR dal 2003 al 2015.

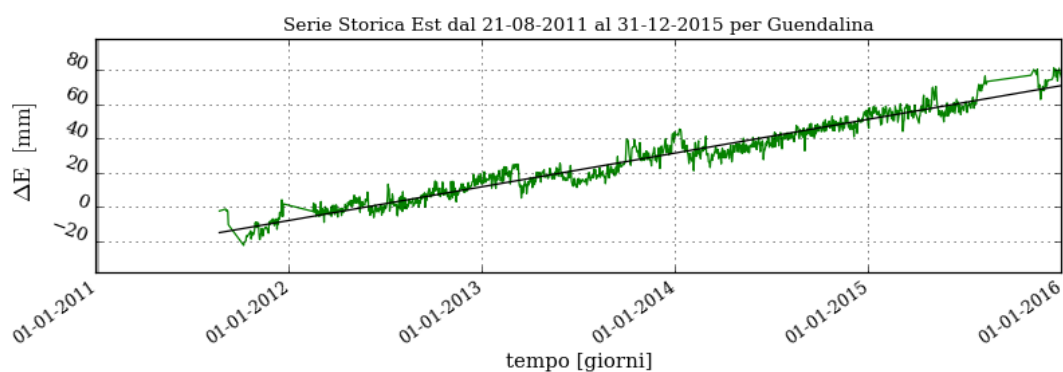


Serie storiche spostamenti IGB08 RETE Guendalina



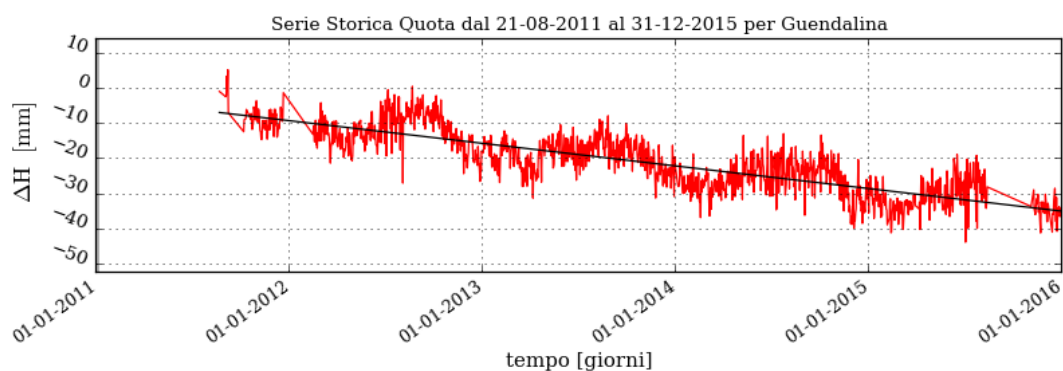
$Vel_n = 13.76 \pm 0.08$ mm/y
 $WRMS_n = 3.58$ mm
 $\chi^2 / DOF = 70.04$

— Nord
— Regressione lineare



$Vel_e = 19.7 \pm 0.1$ mm/y
 $WRMS_e = 4.45$ mm
 $\chi^2 / DOF = 169.31$

— Est
— Regressione lineare



$Vel_h = -6.43 \pm 0.11$ mm/y
 $WRMS_h = 4.69$ mm
 $\chi^2 / DOF = 9.96$

— Quota
— Regressione lineare

Figura 10 - Campo di Guendalina: serie storiche plano-altimetriche

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

Figura 11 - Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. modelli

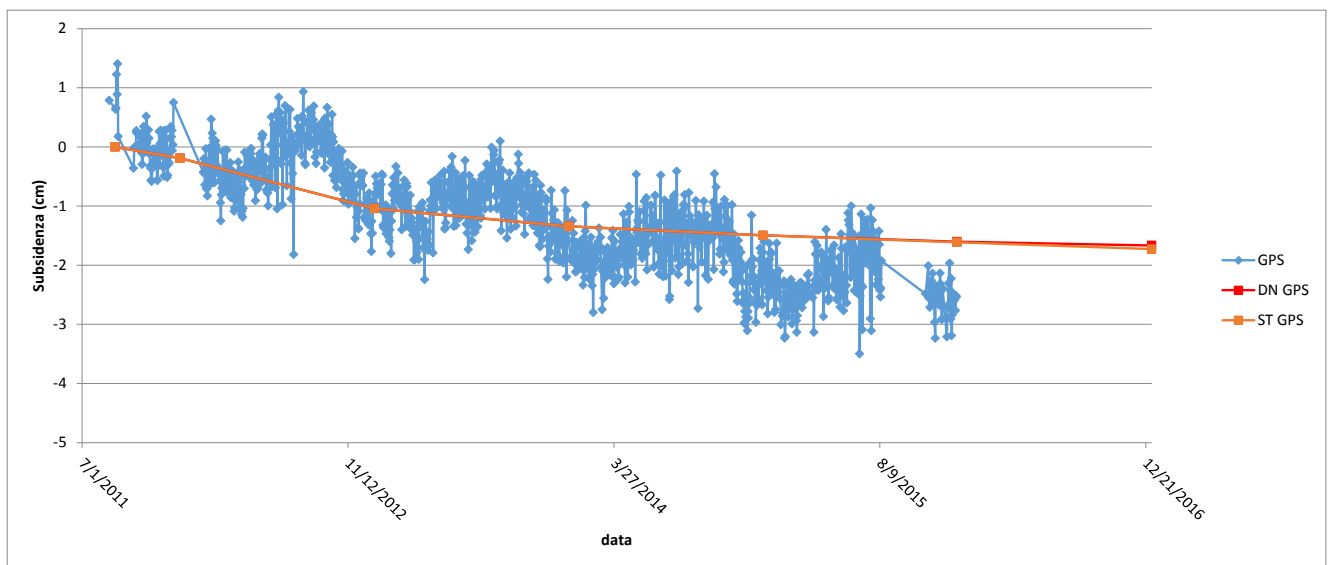


Figura 12 - Campo di Guendalina: CGPS (agg. 31 dic.2015) vs. modello di subsidenza (in corrispondenza della piattaforma)

Compattazione Guendalina			
spacing	top ref depth	bottom ref depth	Jul 2012
	MD	MD	Jun 2011
#	m	m	mm
16	3096.75	3107.25	6
15	3102.00	3112.50	1
14	3107.25	3117.75	-5
13	3112.50	3123.00	-2
12	3117.75	3128.25	2
11	3123.00	3133.50	3
10	3128.25	3138.75	0
9	3133.50	3144.00	-2
8	3138.75	3149.25	7
6	3149.25	3159.75	-17
4	3159.75	3170.25	-3
3	3165.00	3175.50	-3

Figura 13 - Pozzo Guendalina 2dir: misure di compattazione *in-situ* (da FSMT)

campo GUENDALINA (J.V. Eni 80% - Rockhopper 20%)			
DATI DI CAMPO		DEC. VIA n. 0009995 del 22 aprile 2009	
UBICAZIONE	offshore - 47 Km E costa romagnola	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (GUENDALINA)	
PROFONDITA' FONDALE	42 m	SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO
LITOLOGIA	terreni pliocenici sabbioso/argillosi	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "giu-luglio '07"
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Garibaldi	RISERVE (MSm3)	757
ZONA MINERARIA	PL3 e PL	MOD. GEOMECCANICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ agosto 2007
PROFONDITA' RESERVOIR	3000 - 3080 (TVDSS)	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1.5 (dopo 10 anni) - caso "Most Likely"
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa monotubolare - BEAF	MAX DIST. DAL CULMINE (Km)	2 km (caso "Upper")
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili		
	D.M @ aprile '09 @ 31 dic 2015	STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	A.C35.AG	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	25/11/2022	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014.	
N. POZZI	2	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	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)	757	MARKERS	
START UP PRODUZIONE	ott-11	MARKERS SU GUENDALINA 2DirA: ultimo survey @ ottobre 2015	
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2021	MARKERS SU GUENDALINA 2D: ultimo survey @ luglio 2012. SURVEY SOSPESO NEL 2013 PER INAGIBILITA' POZZO	
GAS PRODOTTO (MSm3)	497	CGPS	
% RISERVE PRODOTTE	69%	OPERATIVO DA AGOSTO 2011	
		SAR	
		ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT. 2015 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DEI CAMPI DI TLA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	

Figura 14 – Campo di Guendalina: scheda di sintesi

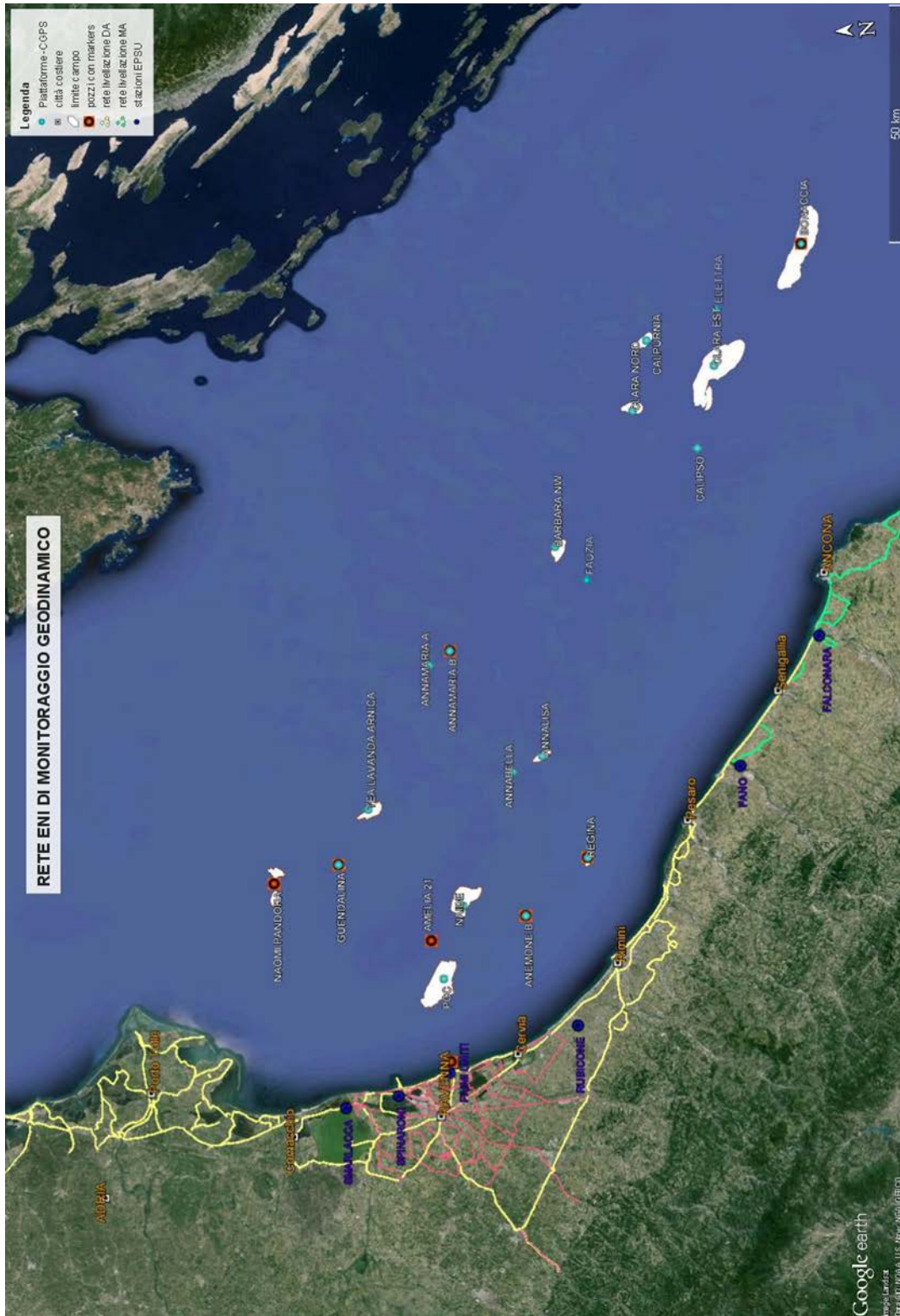


Figura 15 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2015

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

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

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

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



Fig. 1A - Mappa calibrazione dati SAR

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

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

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

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

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

In una prima fase si sono confrontate le velocità dei punti in comune tra l'area di Ravenna (calibrata con il CGPS di Smarlacca) e quella di Rimini (non calibrata - Fig. 2A-a). Successivamente si sono calibrate le misure dell'area di Ancona (non calibrata) sulla base dei dati disponibili per le aree di Ravenna e Rimini (calibrate al passo precedente - Fig. 2A-b e 2A-c). In entrambi i casi le velocità medie verticali sono state corrette per un valore pari a circa -3 mm/a.

Per verificare la correttezza di tutto il processo, sono state poi confrontate le velocità medie calibrate dei punti SAR ricadenti in un raggio di 200 metri dalle postazioni CGPS di Fano e

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

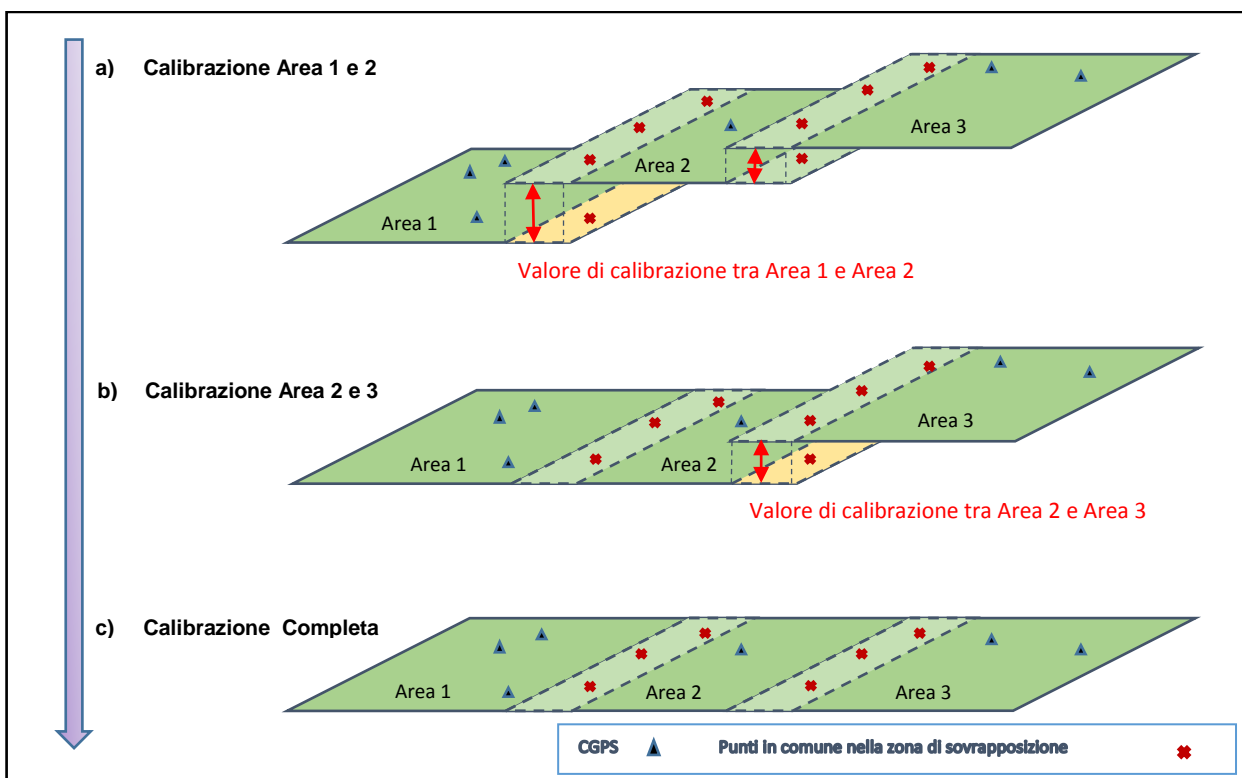


Fig. 2A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

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

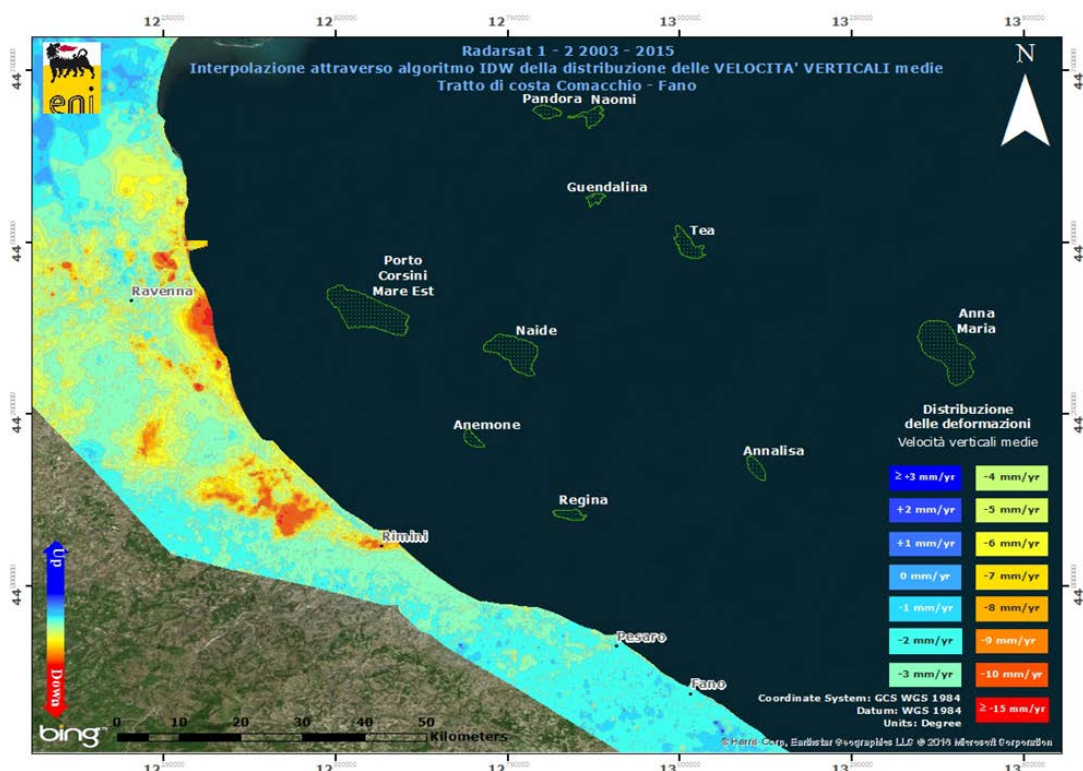


Fig. 3A –Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Comacchio a Fano: serie storica: 2003 – 2015

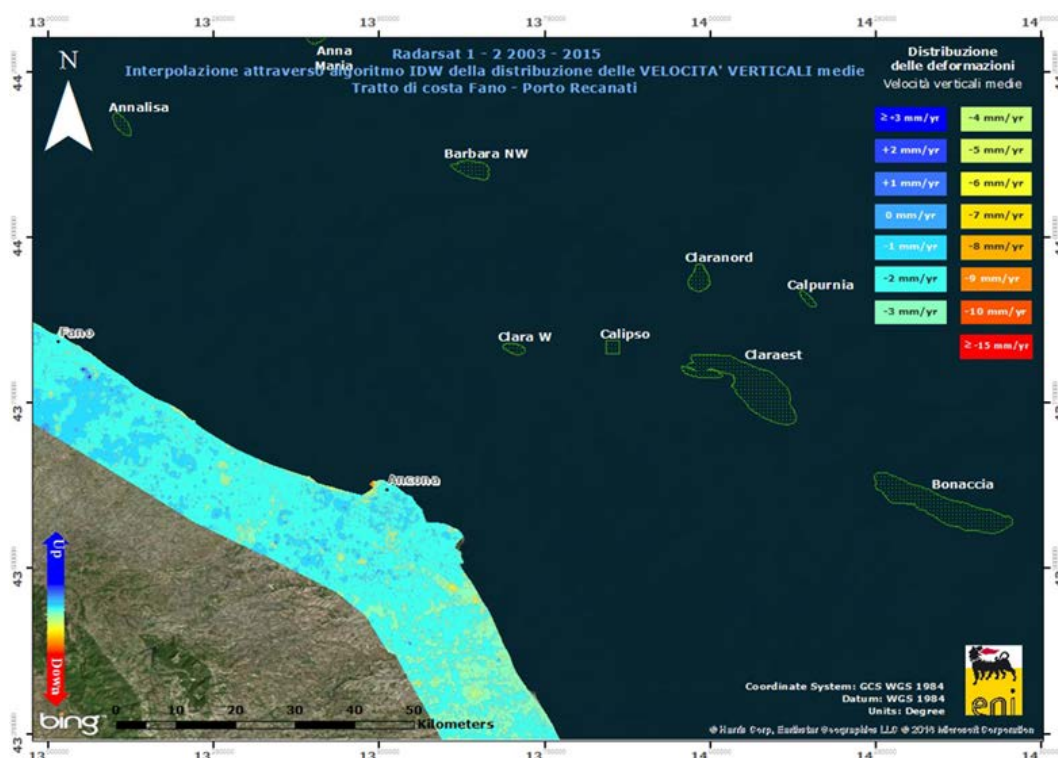


Fig. 4A –Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

Analisi del tratto di costa da Fano a Porto Recanati

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

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

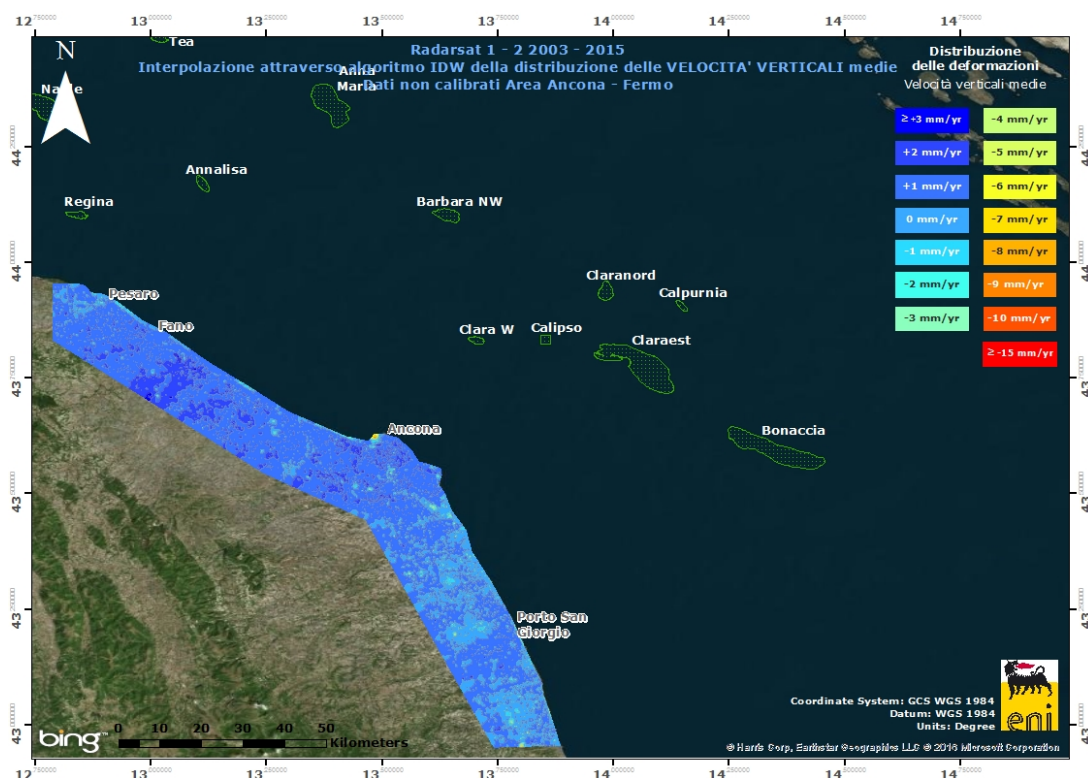
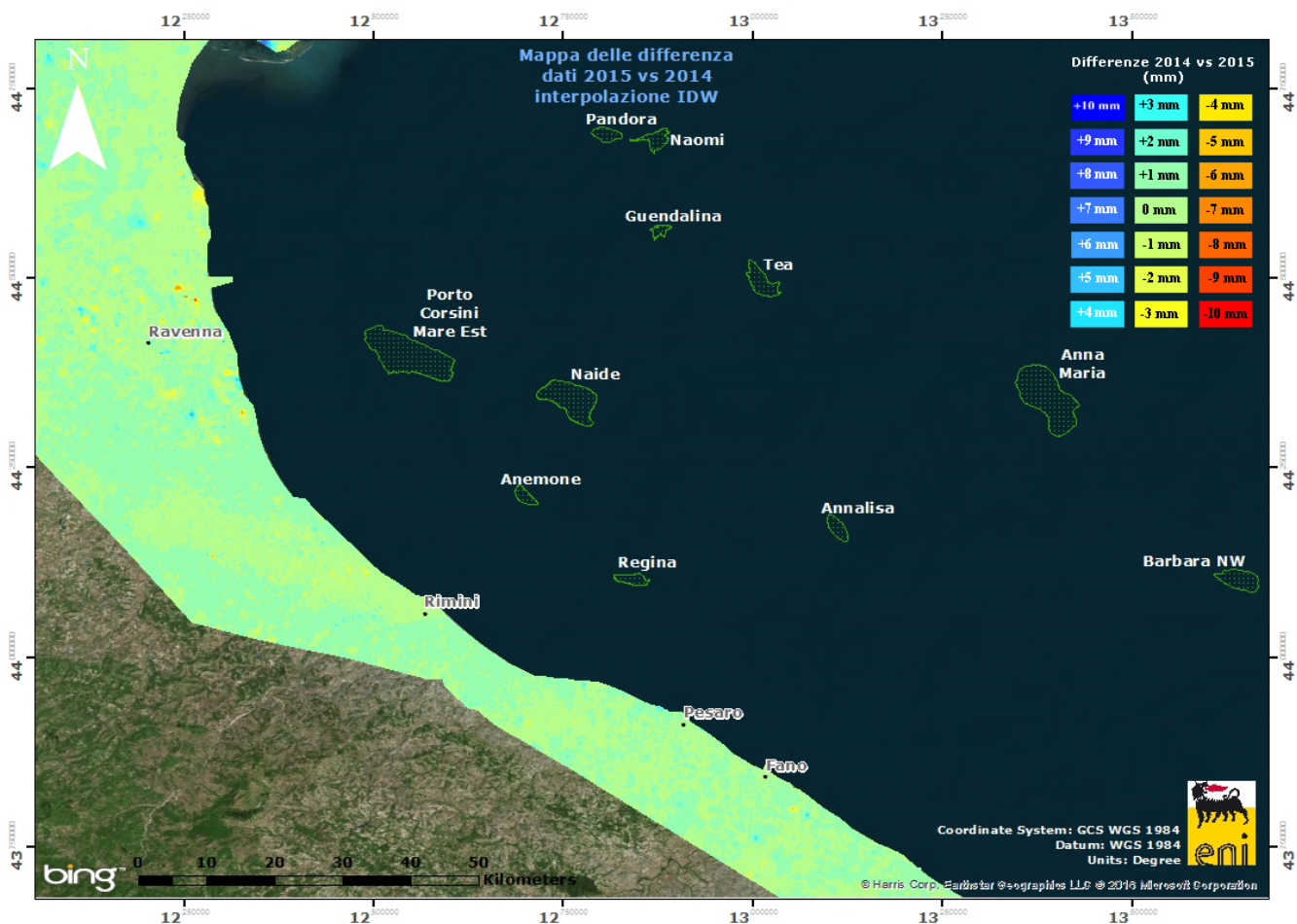


Fig. 5A- Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 non calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015

Confronto dati SAR 2003 – 2014 vs 2003 – 2015

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

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



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

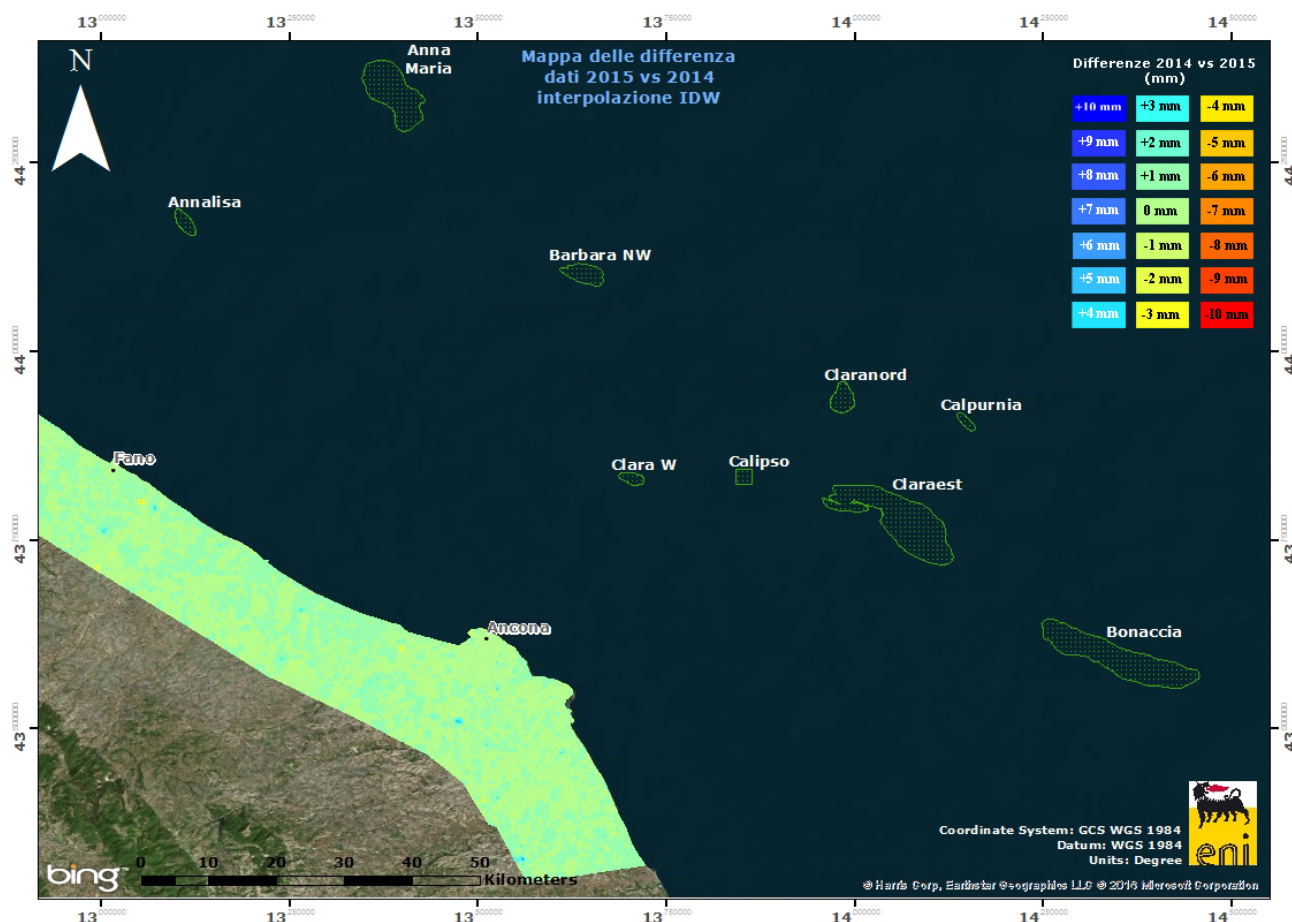


Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.
Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

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

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

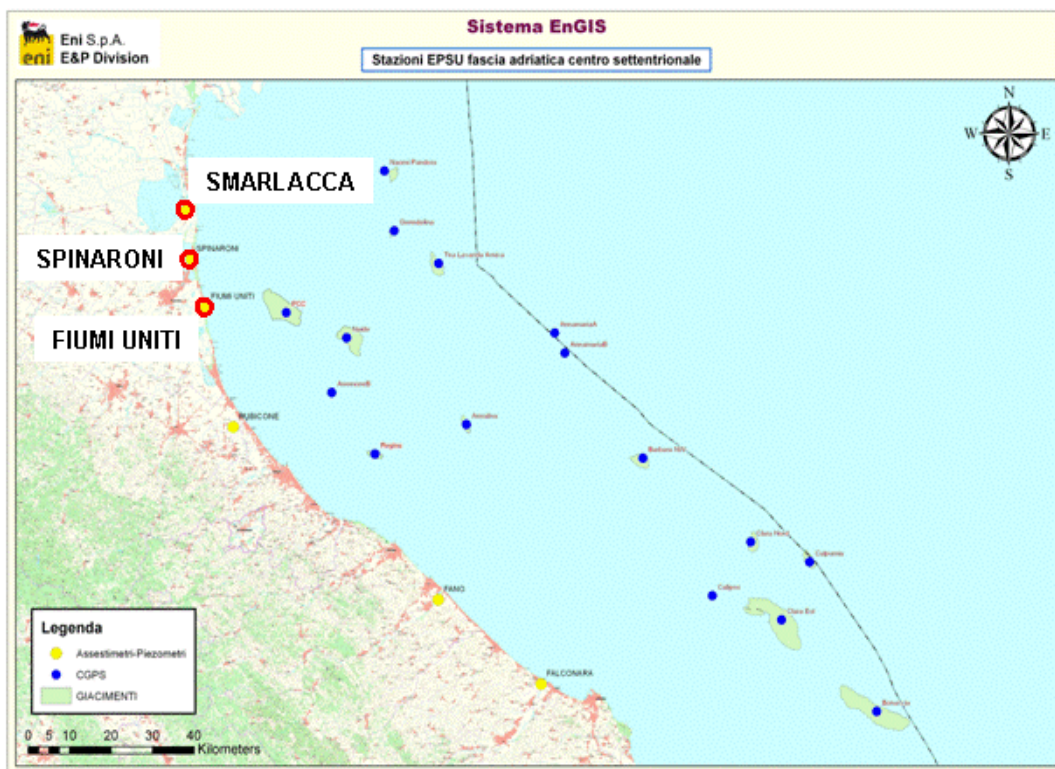


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

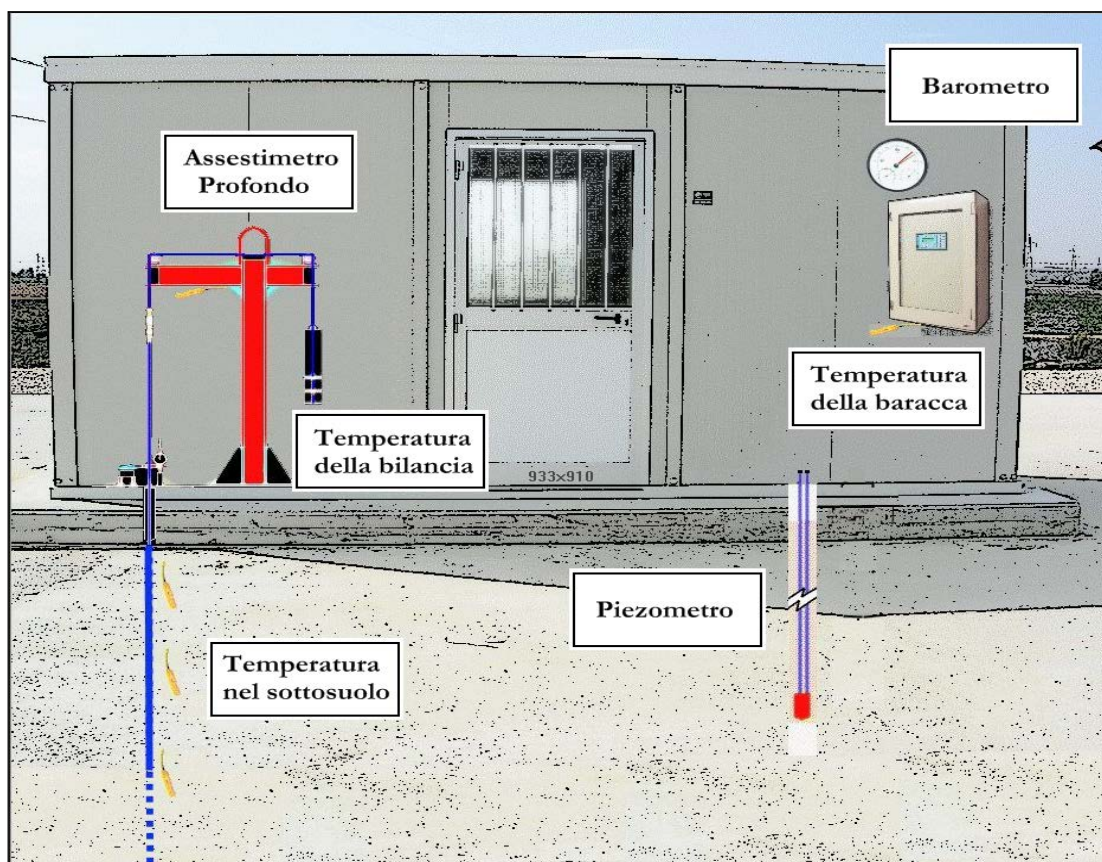



Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

 <p>eni spa exploration & production division</p>	<p>Campo di GUENDALINA novembre 2016</p>	<p>Page - 38 - of 62</p>
---	--	--------------------------

Per ciascuna stazione EPSU si allegano:

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

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

Stazione EPSU di Smarlacca (installata novembre 1997)

Strumentazione

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

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

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

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

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

fronto. I dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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

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

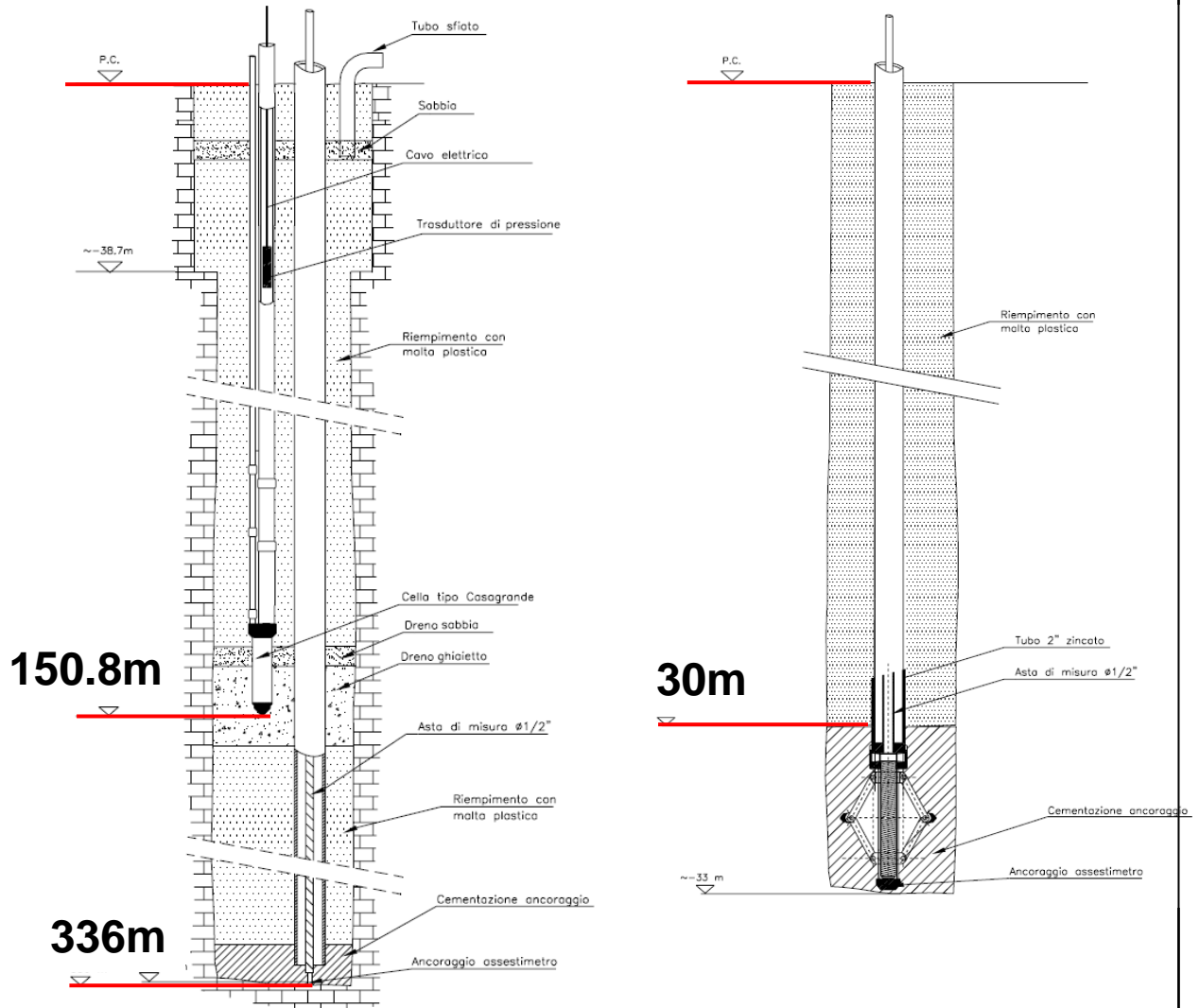


SMARLACCA

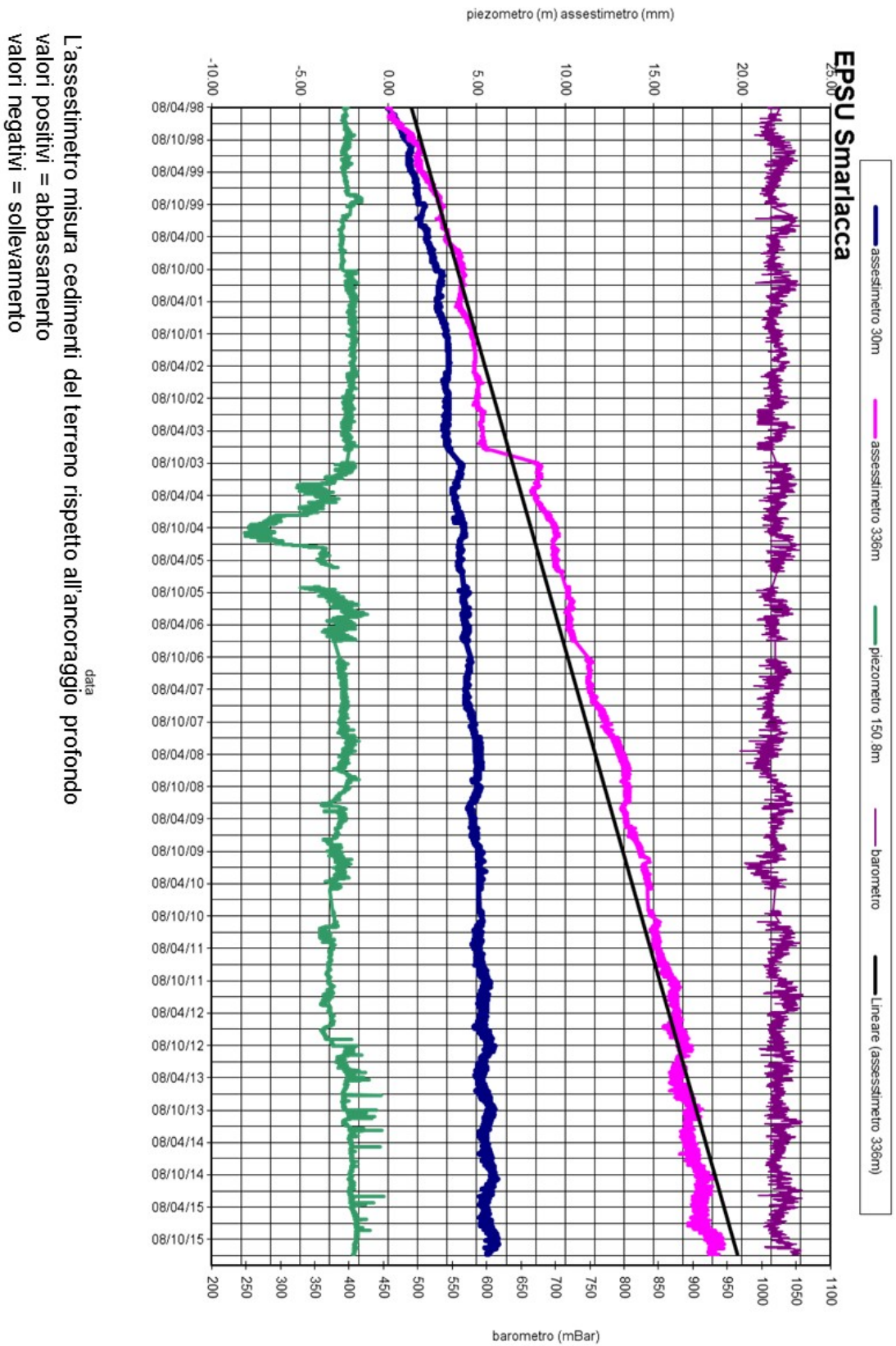
Piezometro

Assestimetro profondo

Assestimetro superficiale

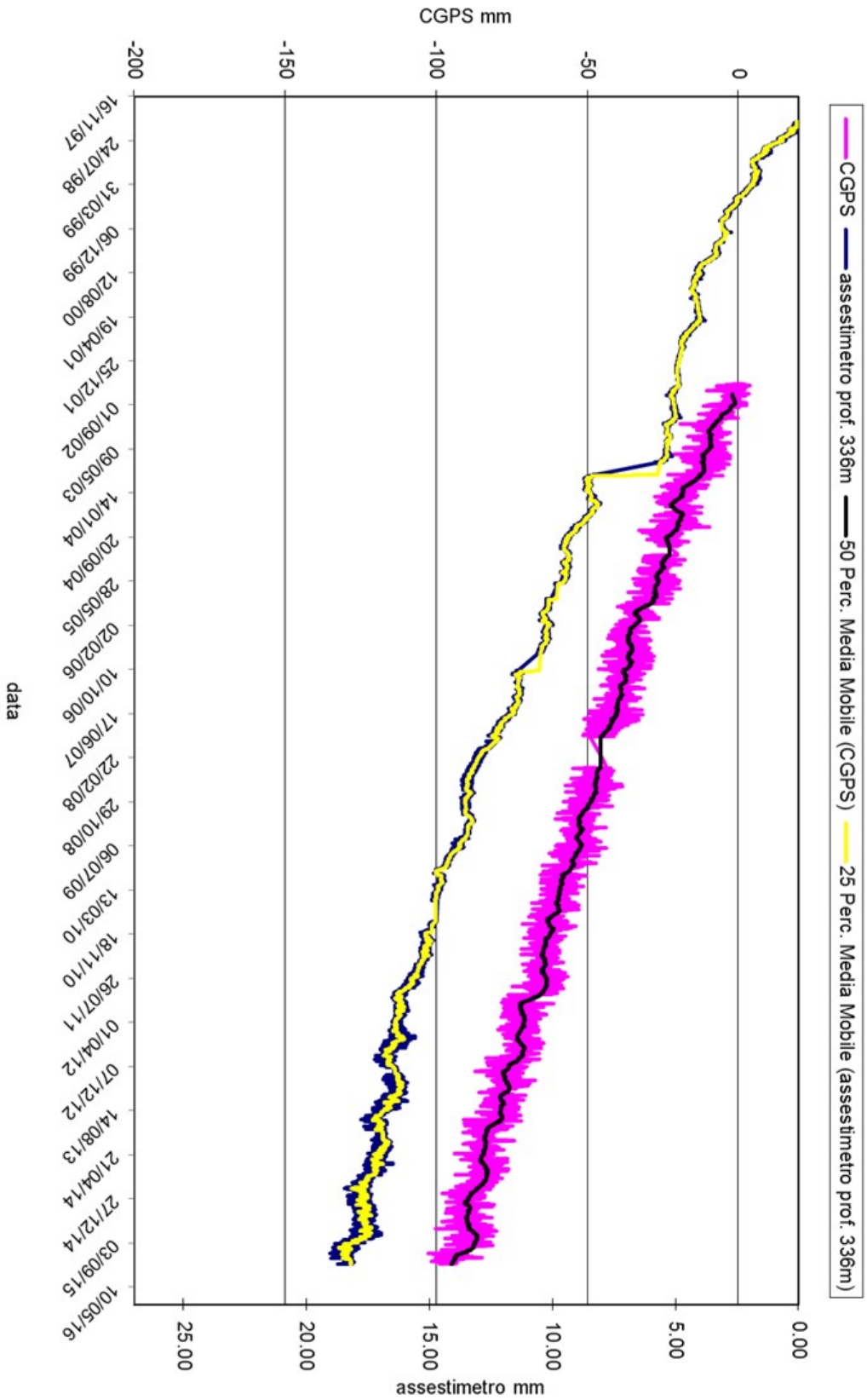


non in scala





SMARLACCA - Confronto GPS ed 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.

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

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

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

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

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

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

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

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

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

La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica GPS e assestimettrica) 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 assestimettrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

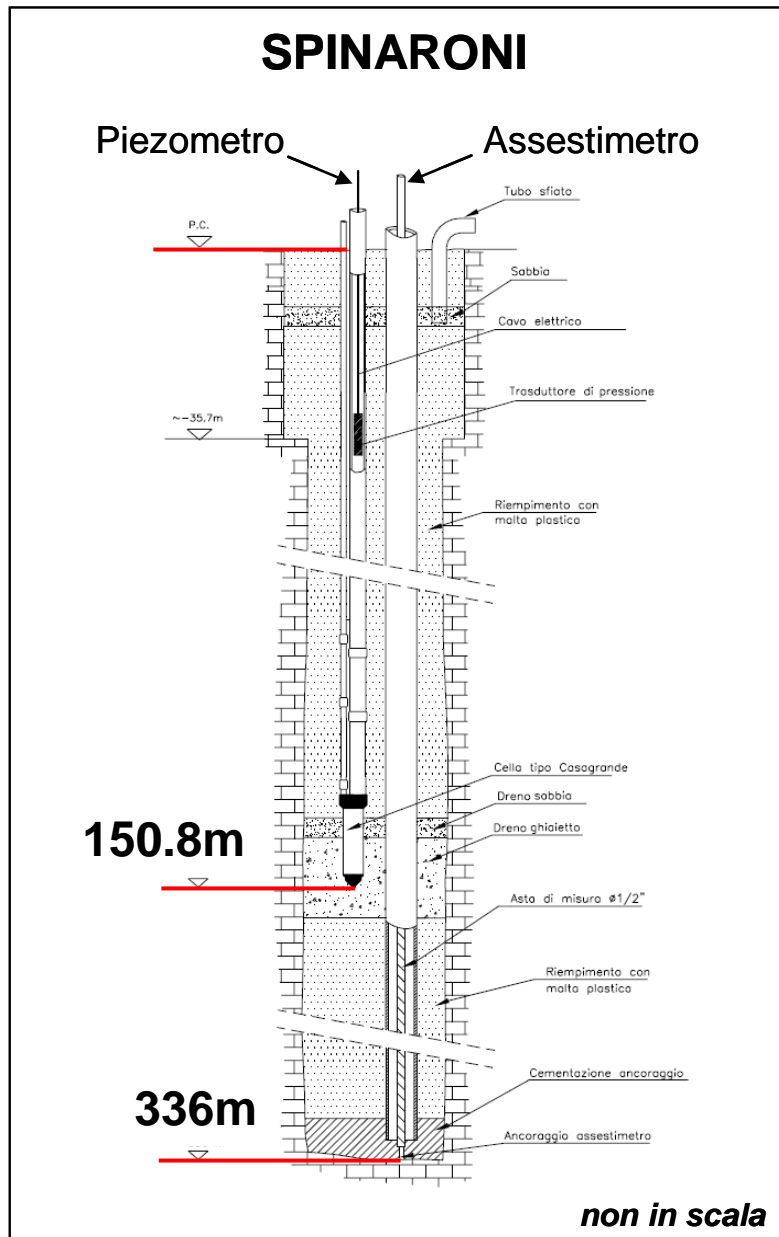
Analisi dei dati piezometrici

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

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

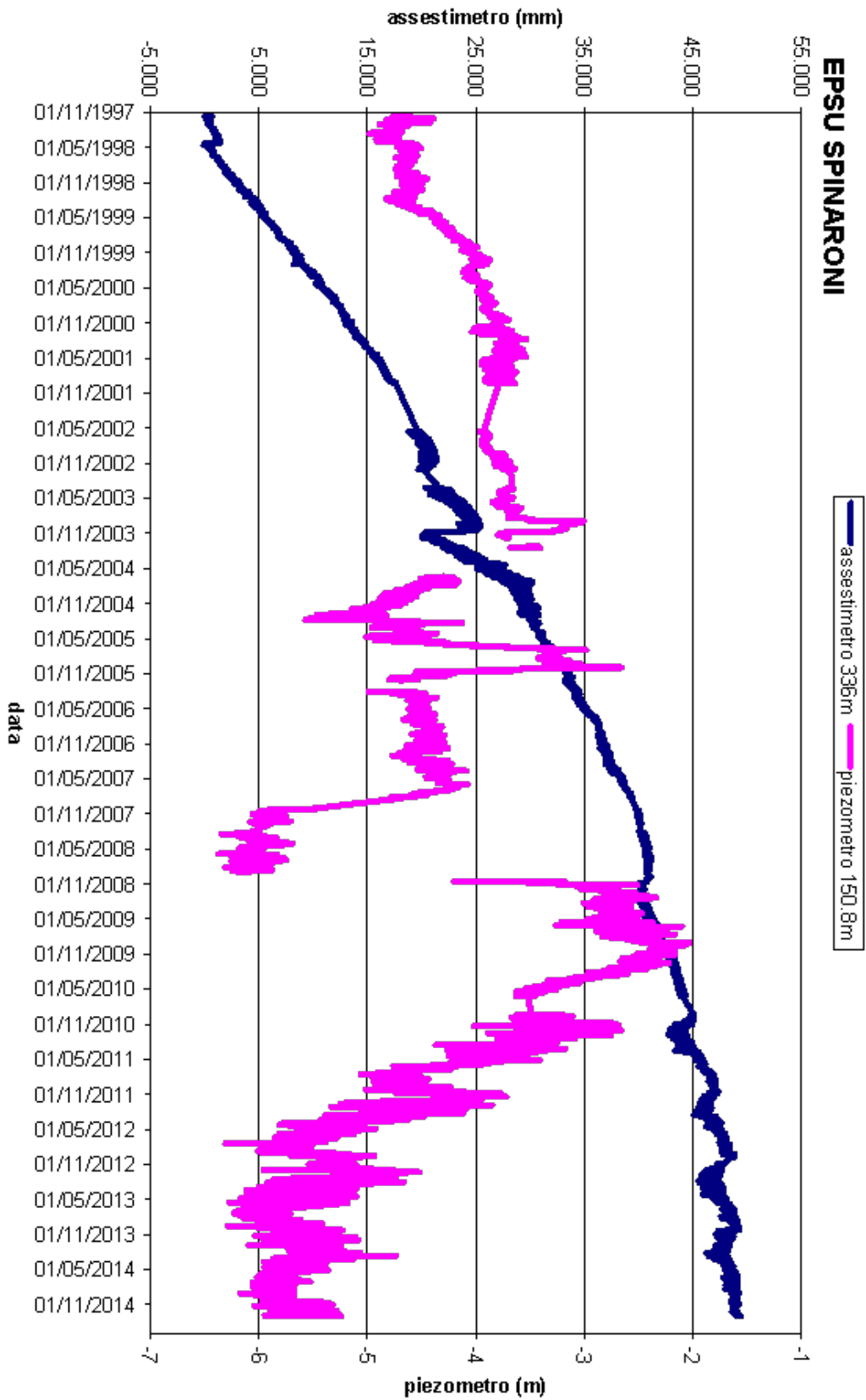
In data 31 gennaio 2006 è stato sostituito definitivamente il trasduttore di pressione nel tubo piezometrico, ponendolo alla profondità di 20 metri rispetto al piano della baracca.

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



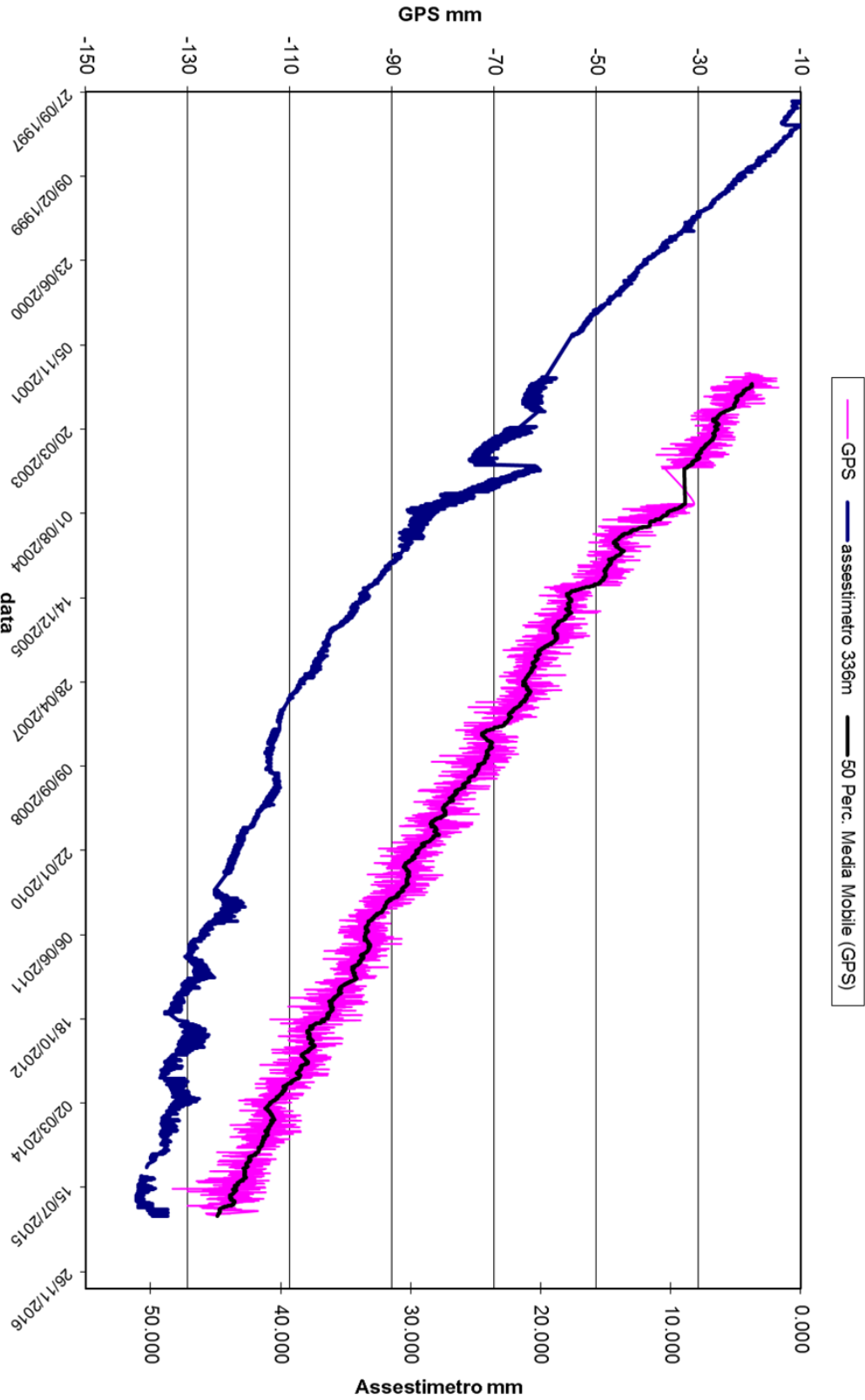


L'assestimetro misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento





SPINARONI - Confronto GPS ed assettimetro profondo



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

Stazione EPSU di Fiumi Uniti (installata settembre 1994)

Strumentazione

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

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

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

Questa stazione assestimetrica è stata completata nel settembre 1994.

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

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

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

Molto dubbio era anche il funzionamento del piezometro profondo.

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

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

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

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

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

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati sono riportati sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

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

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

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

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

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

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

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

- il confronto delle due curve, è stato fatto per lo stesso periodo di osservazione (2002-2015), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestimetro di circa 8 anni più lunga;
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

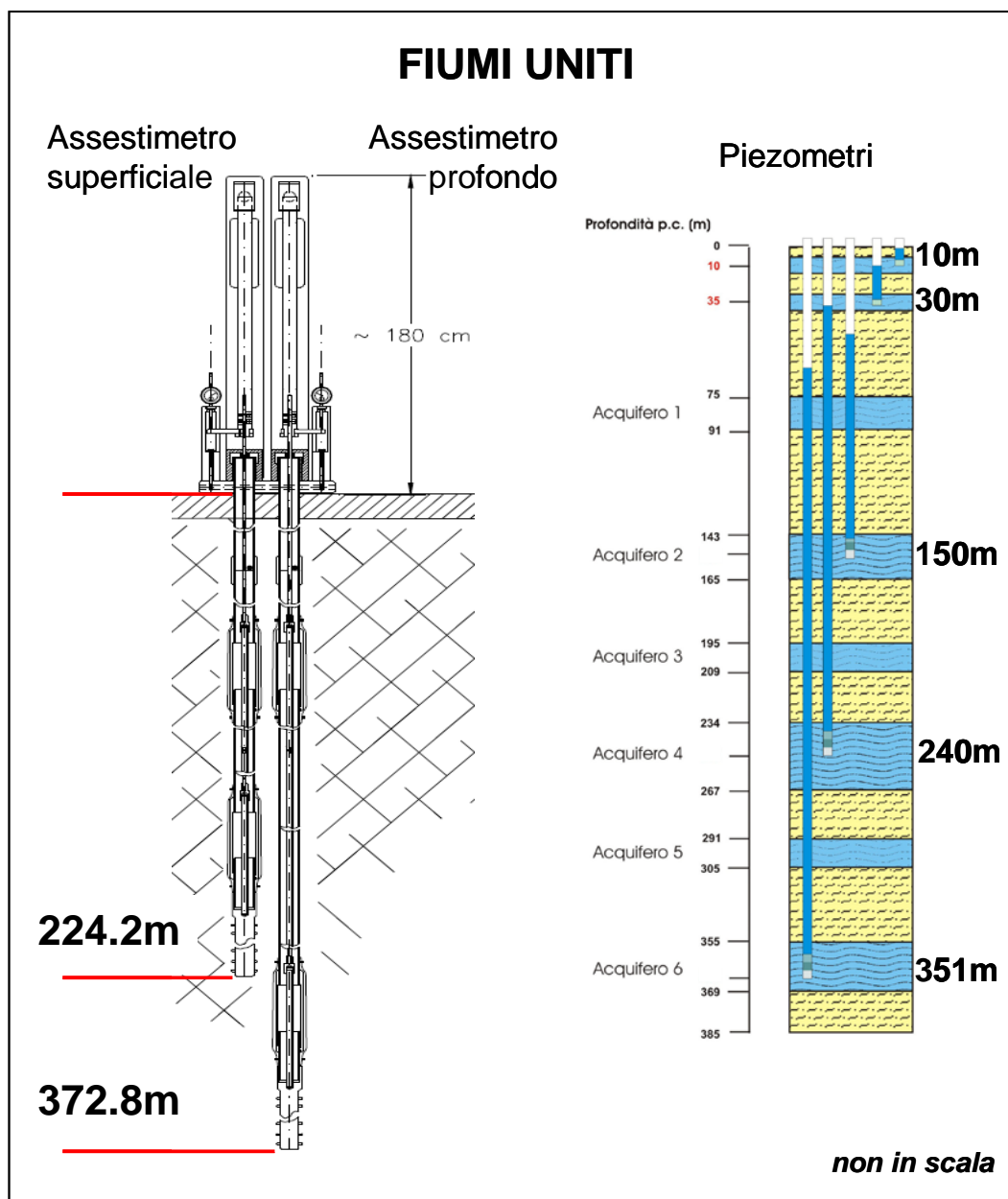
Analisi dei dati piezometrici

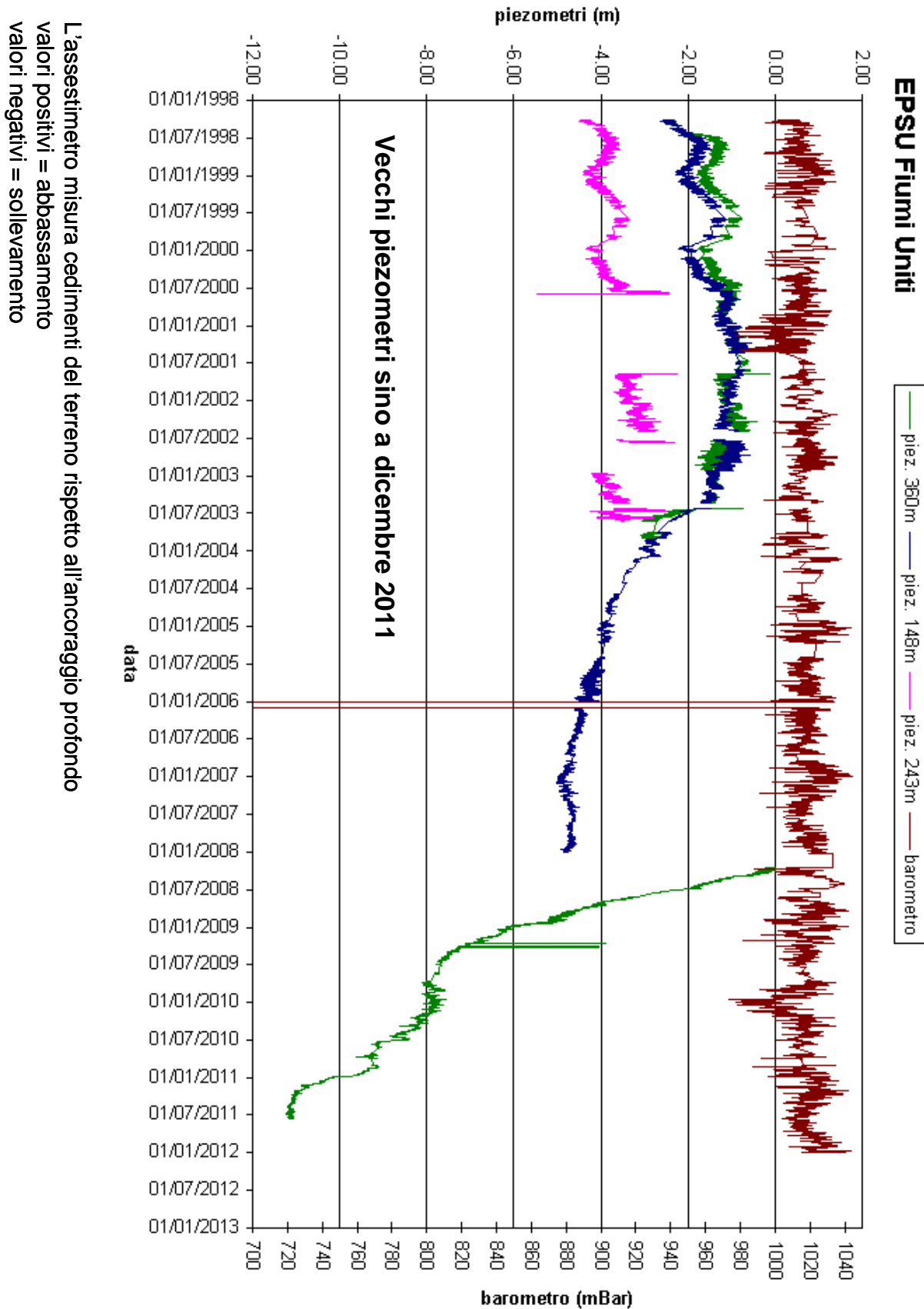
Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre verticali piezometriche che, però, nel corso del tempo si sono guastate. Per un lungo periodo di tempo, quindi, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezome-

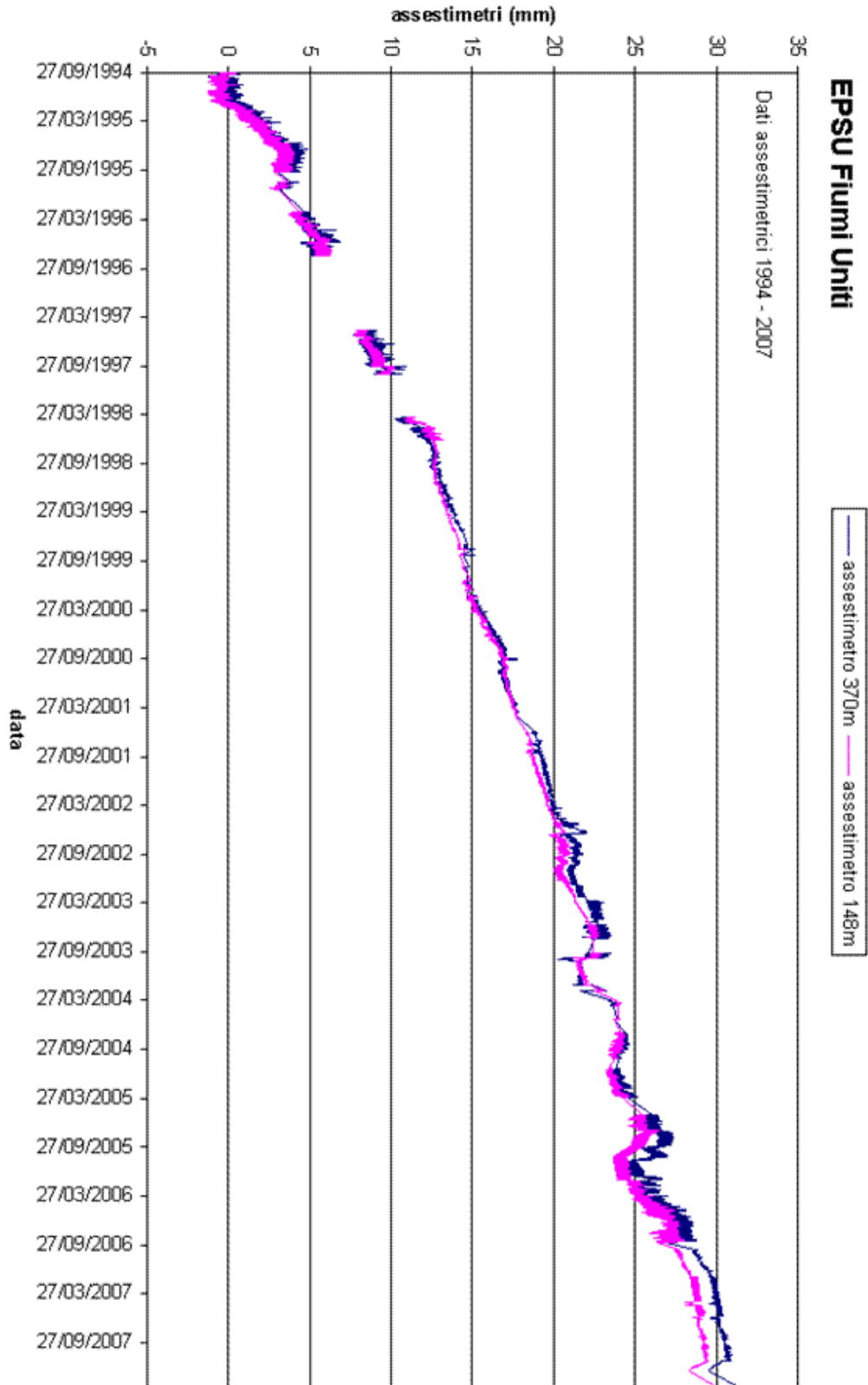


tro più profondo, ritenuto più attendibile.

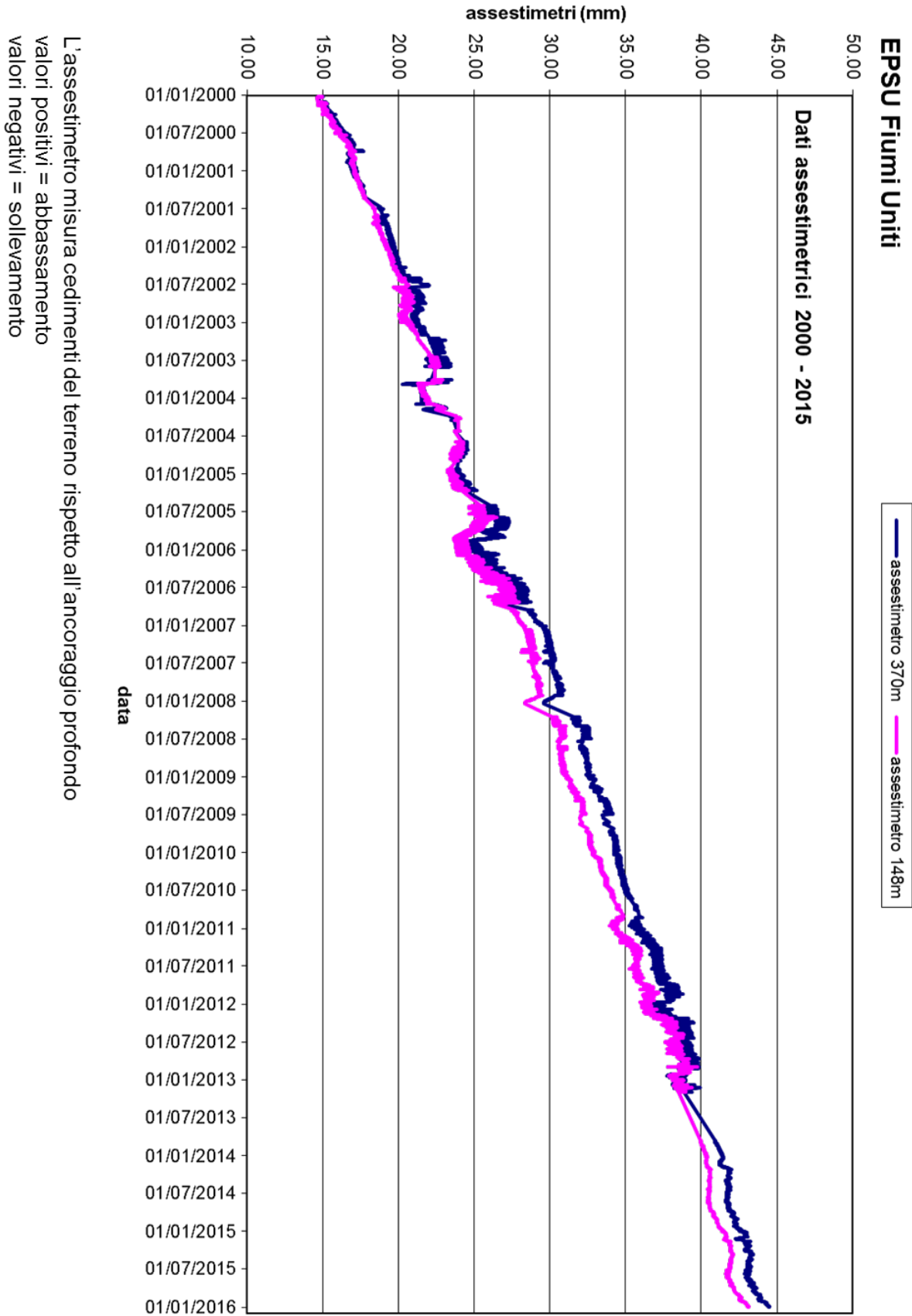
Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici.

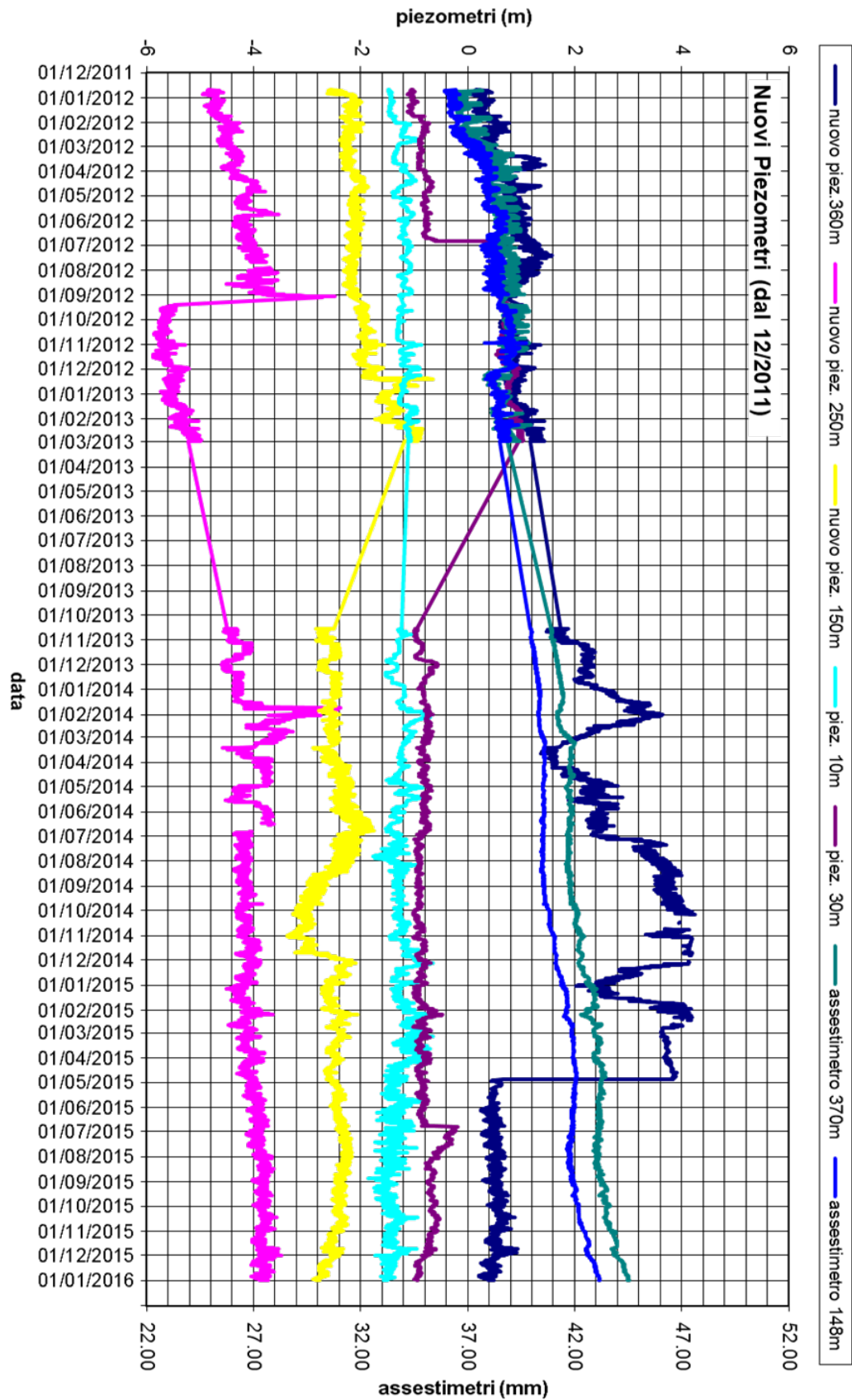


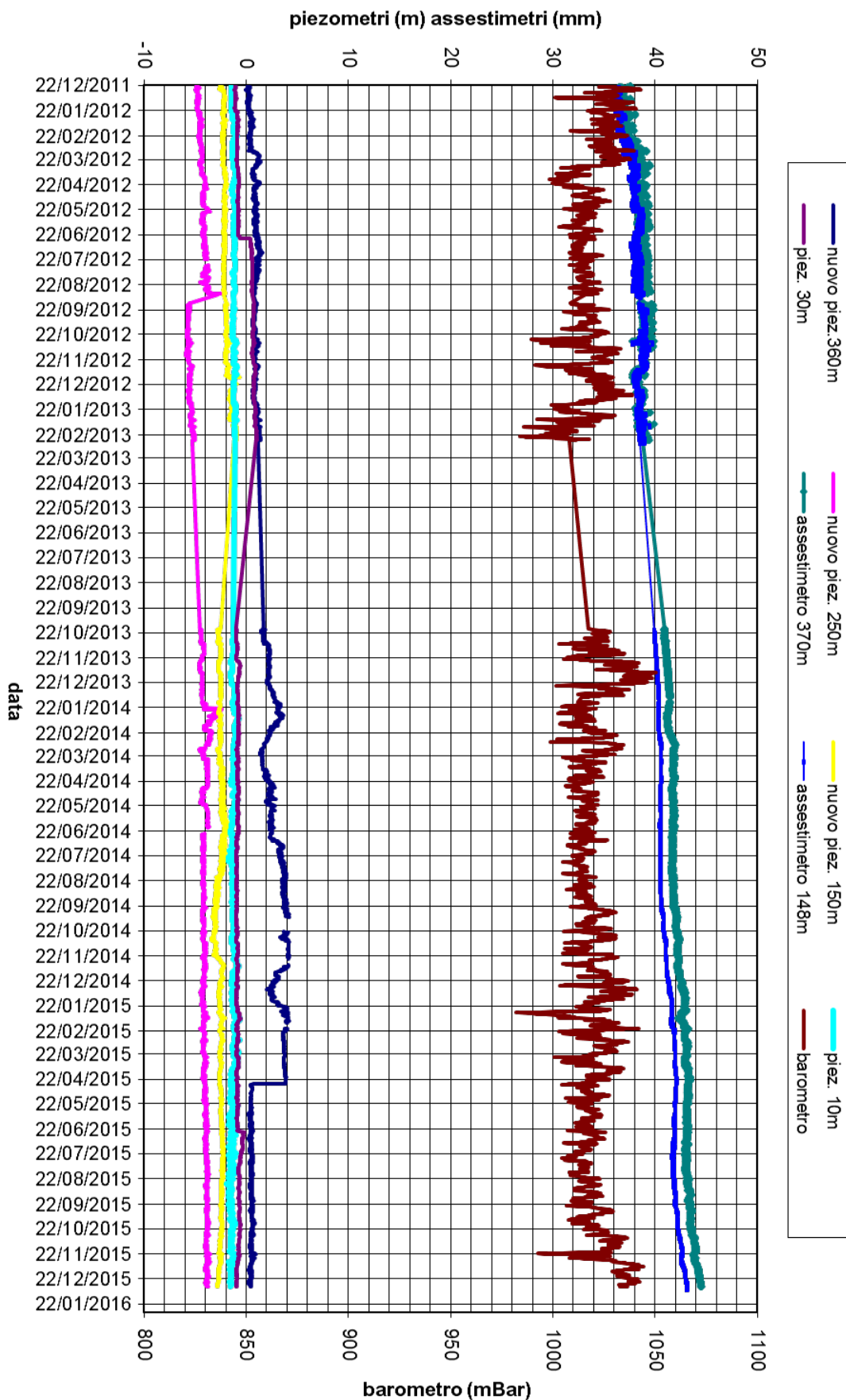




L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento

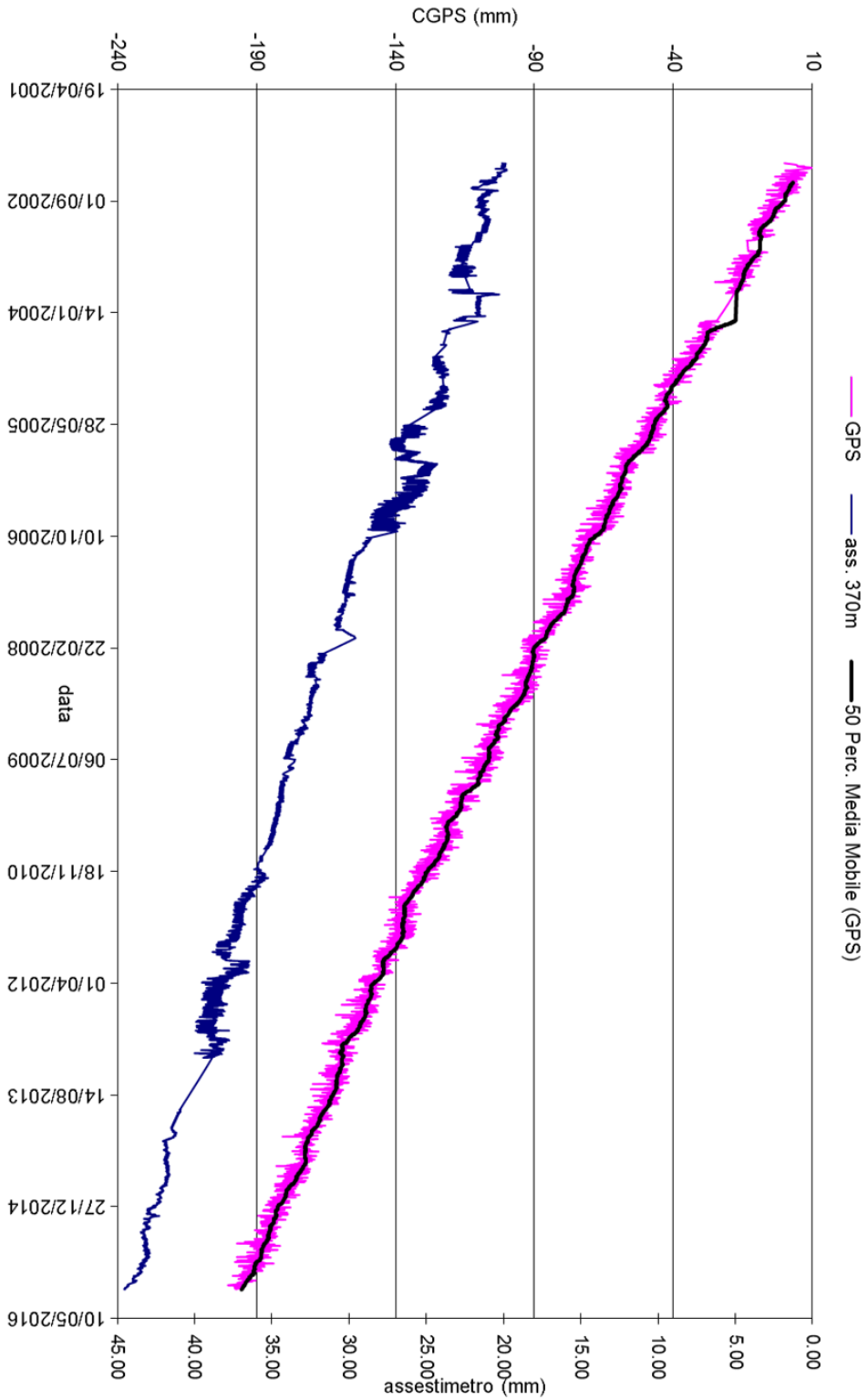








FIUMI UNITI - Confronto GPS ed assestimetro profondo



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

Conclusioni

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

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

Smarlacca

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

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

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

Spinaroni

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

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

I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

Fiumi Uniti

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

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

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

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

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