



Campo di ANNALISA

Aggiornamento al 31/12/2016

Il campo di Annalisa è situato nell'offshore Adriatico circa 34 km a NE di Pesaro, a una profondità d'acqua di circa 55 m, nella concessione A.C32.AG evidenziata in Figura 1.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C32.AG	30/11/24	Eni	Eni	100%	Marche

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse in direzione NW-SE e si estende per una superficie di circa 4,2 km². La serie mineralizzata è compresa tra i 2300 e 3400 m slm e interessa 52 livelli della serie PL3 della Formazione P.to Garibaldi (Figura 2).

Il campo è stato scoperto nel 1984 con il pozzo Annalisa 1; in seguito nel 1985 è stato perforato il pozzo di appraisal Annalisa 2 per meglio definire l'assetto della struttura.

Nel novembre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Annalisa e la posa del relativo sealine di collegamento. Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione, ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello Eclipse) del marzo 1997, che stimava riserve a vita intera pari a 1659 MSm³ producibili in 8 anni con un picco di produzione giornaliera di 1000 kSm³/g.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è stata stimata in 3,2 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 1,6 km verso la costa.

Per tale previsione sono stati utilizzati i parametri geomeccanici che, con le informazioni disponibili a tale data, venivano considerati come più rappresentativi del comportamento della formazione, in particolare:

- comprimibilità uniassiale $C_m = 0,367 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$
- coefficiente di Poisson $\nu = 0,33$.



In seguito al Decreto VIA n° 3547 del 7/01/99 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo maggio-dicembre 1999 si è sviluppato il campo perforando tre nuovi pozzi (Annalisa 3, Annalisa 4 e Annalisa 5) da una piattaforma di tipo BEAF.

La produzione di gas è iniziata nel marzo del 2000 con una portata di circa 900 kSm³/g che, però, è rapidamente declinata. In Figura 3 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm³/g), d'acqua (m³/g) e della produzione cumulativa di gas al 31/12/16 pari a 1865 MSm³.

Mentre i pozzi di sviluppo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura, la loro produttività è stata notevolmente inferiore a quanto atteso. Nei primi 4 anni d'erogazione, infatti, si è avuto un arrivo prematuro e inizialmente non previsto dell'acqua di formazione ai pozzi; tale comportamento produttivo ha, pertanto, reso necessario una revisione degli studi statico e dinamico del campo.

Con tale revisione (aprile 2005) non solo si è aggiornato il valore del GOIP che è risultato in diminuzione (*GOIP studio statico del marzo 1998 pari a 3091 MSm³, GOIP revisione studio statico dell'aprile 2005 pari a 2440 MSm³*), ma, soprattutto, si è potuto meglio calibrare il meccanismo di produzione, evidenziando una spinta dell'acquifero con conseguente sostegno della pressione nei singoli livelli messi in produzione. Ciò ha comportato una riduzione pari a circa il 46% delle riserve producibili a vita intera dal campo. Il nuovo profilo di produzione ha previsto, infatti, il recupero in 15 anni di 890 MSm³ con una graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale di acqua prodotta.

Nel maggio 2008 si sono di nuovo aggiornati i modelli statico e dinamico del campo di Annalisa (*Studio di giacimento - Nota Tecnica "Proposta pozzi di infilling" del maggio 2008 - rel. Eni-INPE n° 52-08*) allo scopo d'ottimizzarne la coltivazione e valutarne le residue potenzialità minerarie.

Il nuovo valore del GOIP è stato di 2637 MSm³, con un incremento di circa il 10% rispetto alla stima dell'aprile 2005.

Le riserve producibili in 21 anni sono a loro volta aumentate di circa 84% rispetto alla valutazione precedente, risultando pari a 1636 MSm³. Tale aumento è riconducibile sia a una rivalutazione delle riserve associate ai completamenti esistenti, sia al progetto di porre in produzione livelli mineralizzati non ancora sviluppati. Tale progetto è stato realizzato nel

2009 con la perforazione del nuovo pozzo Annalisa 6dir e l'esecuzione di due side-track dai pozzi Annalisa 3dir e Annalisa 5dir.

Nel maggio 2014 si sono rivisti gli studi statico e dinamico sia del campo di Annalisa, sia di quello di Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella - Studio di giacimento - rel. GISE n°13-14 - ottobre 2014"*). I due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi.

Nei nuovi modelli di giacimento di Annabella e di Annalisa si è tenuto conto dei dati storici di produzione sino ad aprile 2014, onde valutare ancora le residue potenzialità minerarie di detti campi e, inoltre, individuare interventi mirati ad aumentarne il fattore di recupero finale. In base ai risultati di questa revisione è stato perforato un side-track (Annalisa 4dirA) sul pozzo Annalisa 4dir, che ha dato risultati positivi quanto a performance produttiva. Nel corso del 2015, infatti, tale sidetrack ha inizialmente erogato 280 KSm³/g di gas contro i 160 KSm³/g previsti da modello Eclipse (Figura4).

Il nuovo valore del GOIP per il campo di Annalisa è stato valutato in 3966 MSm³, con un incremento di circa il 50% rispetto alla precedente stima del maggio 2008. Sempre per il campo di Annalisa, le riserve a vita intera sono a loro volta aumentate di circa 23%, risultando pari a un volume di 2012 MSm³ di gas producibile al 2023 (Figura 4).

In Figura 5 sono riportati per il campo di Annalisa sia i profili di pressione statica di giacimento calcolati con il modello Eclipse dell'ottobre 2014 sia le pressioni statiche misurate nei livelli ritenuti più rappresentativi (PL3 B10-B12, PL3 B10-B11, PL3 G1-H1, PL3 D4a-b).

L'analisi di tali dati mostra come la pressione misurata nel 2016 nella string 3dirB lunga si discosti dal profilo previsto dalle simulazioni. Per tale motivo si procederà in futuro a un aggiornamento/revisione dei modelli di giacimento e geomeccanico.

Già nel marzo 2009 è stata rivista la previsione iniziale di subsidenza, seguendo l'approccio modellistico e le metodologie di lavoro descritte nel provvedimento direttoriale del Ministero dello Sviluppo Economico del 20/03/08. Per tale nuova previsione, si sono considerati i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra il campo di Annalisa e il campo di Annabella data la loro vicinanza (7 km ca.). La descrizione tecnica dello studio e i risultati

ottenuti sono riportati in dettaglio nella “*rel. Eni-TERA n° 02-09 del marzo 2009*”. Tali previsioni di subsidenza sono eseguite per tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato valutato assumendo un diverso valore (Low, Medio, Up) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione.

Una sintesi dei risultati ottenuti è presentata nella seguente Tabella 1.

Tabella 1 – Scenari di subsidenza

Scenario	2006			2022			2045		
	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)
Low	1	-	-	2	-	-	2	-	-
Medio	3	9	1	6	11	3	6	11	3
Up	8	13	3	18	14	5	18	15	5

In tutti i casi esaminati si può notare come la subsidenza massima a fine produzione (anno 2022) raggiunga valori modesti, e, soprattutto, come la distanza del cono di subsidenza dalla costa sia sempre superiore ai 27 km.

L’ultima revisione (ottobre 2014) degli studi statico e dinamico di giacimento per i campi Annalisa-Annabella ha comportato anche l’aggiornamento del relativo modello geomeccanico (*rel. Eni-TERA n° 07-2014 del dicembre 2014*), che a sua volta è stato fatto tenendo sempre conto dei possibili effetti d’interferenza idraulica e meccanica fra i campi stessi.

Come nello studio del 2009, per le nuove previsioni di subsidenza si sono considerati tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato ottenuto assumendo un differente valore del coefficiente di compressibilità uniassiale (Lower, Middle, Upper) per i livelli soggetti a compattazione.

Le simulazioni con modello geomeccanico sono state protrate fino al 2061 (a pozzi chiusi) così da seguire nel tempo l’evoluzione della pressione nei livelli mineralizzati e negli acquiferi dopo la fine della produzione (anno 2027).

I principali risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 2:

Tabella 2 - Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per i tre scenari considerati.

Scenario	1-gen-2015		Fine produzione		1-gen-2061	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
Lower	3	9	4	10	4	10
Middle	8	12	10	13	10	13
Upper	16	13	21	14	21	14

L'analisi di tali risultati consente di concludere che:

- il valore massimo di subsidenza è previsto verificarsi per tutti e tre gli scenari esaminati in corrispondenza del punto di coordinate 2366492 m E 4899497 m N, ed è pari a 4 cm per lo scenario Lower, 10 cm per lo scenario Middle (scenario più probabile e, quindi, assunto di riferimento) e 21 cm per lo scenario Upper;
- la massima estensione del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) per lo scenario di riferimento risulta rispettivamente pari a 13 km (fine produzione – Figura 6) e a 14 km (fine simulazione) lungo la direzione parallela alla costa;
- la distanza del cono di subsidenza dalla costa è sempre di circa 27 km per i tre scenari (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.

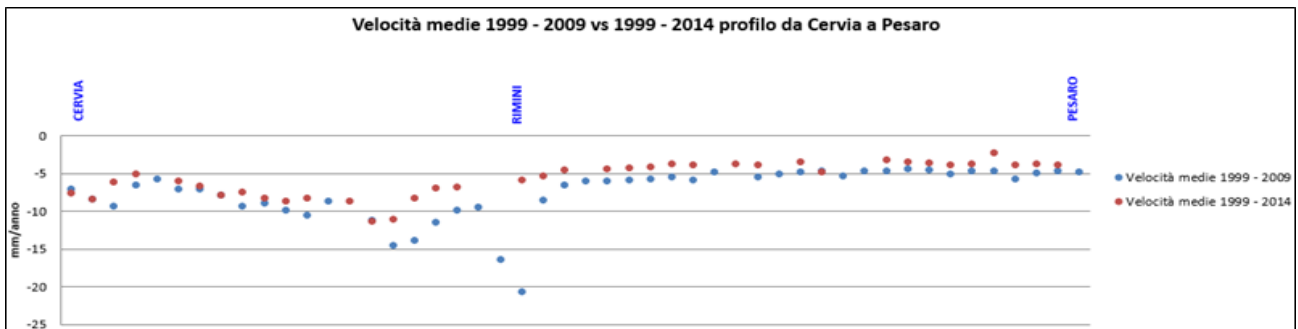
Si ritiene opportuno sottolineare che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle 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 Ortona e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati GPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara.

Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2014, 12 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in seguito a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

I valori di velocità media d'abbassamento del suolo, stimati con regressione lineare e relativi ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportati in Figura A sia per il periodo 1999-2009 sia per quello 1999-2014. Il confronto fra le misure di tali periodi mostra che negli ultimi anni la

velocità di abbassamento del suolo è generalmente in diminuzione; tale diminuzione è, mediamente di circa 2 mm/a e solo per pochi capisaldi supera detto valore.

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



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

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza V_a^1 di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

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

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2014 mostra per l’area in esame un quadro di generale abbassamento, anche se gli attuali valori di velocità di subsidenza sono più contenuti e generalmente in leggera diminuzione rispetto a

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



quelli misurati nelle campagne fatte fino al 2011. Il 50% dei punti, infatti, ricade nella classe 2, il 45% dei punti in quella 3 e solo il 5% (due capisaldi) ha valori di V_a di poco superiori a 10 mm/a (11,3 mm/a come valore massimo).

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2017) potranno eventualmente meglio definire tale trend d'abbassamento, anche se non si possono escludere cedimenti locali dovuti a instabilità dei capisaldi stessi che saranno, comunque, oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

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

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2016) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 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 GPS acquisite nelle stazioni messe in opera nel periodo 2014 - 2016, sono però ancora troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una trave di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice 2); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche 3 pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

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

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

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

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Annalisa, certificati fino al 2014, sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS.

Si segnala che la serie storica di misure CGPS presenta un'interruzione nel periodo 2009-2010 e, in seguito, al 19/12/2014 per operazioni di work-over in piattaforma e a causa di un guasto della strumentazione che non ha permesso d'acquisire dati nel 2015 e nei primi mesi del 2016.

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 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
Annalisa	17,89	21,00	-4,73	17,94	21,19	-4,62	-0,05	-0,19	0,11

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
 - 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 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 Annalisa, sulla base di una serie storica di misure GPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale² pari a -4,1 mm/a (Figura 9 e Figura 10), sostanzialmente invariata rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-4,7 mm/a al 2015).

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del dicembre 2014 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS, senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale. Come si vede dalla Figura 11, le misure CGPS si collocano sullo scenario *Middle (scenario di riferimento)*, confermando l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza e il carattere conservativo delle previsioni fornite.

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 Annalisa 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 12 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 13 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

² 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.

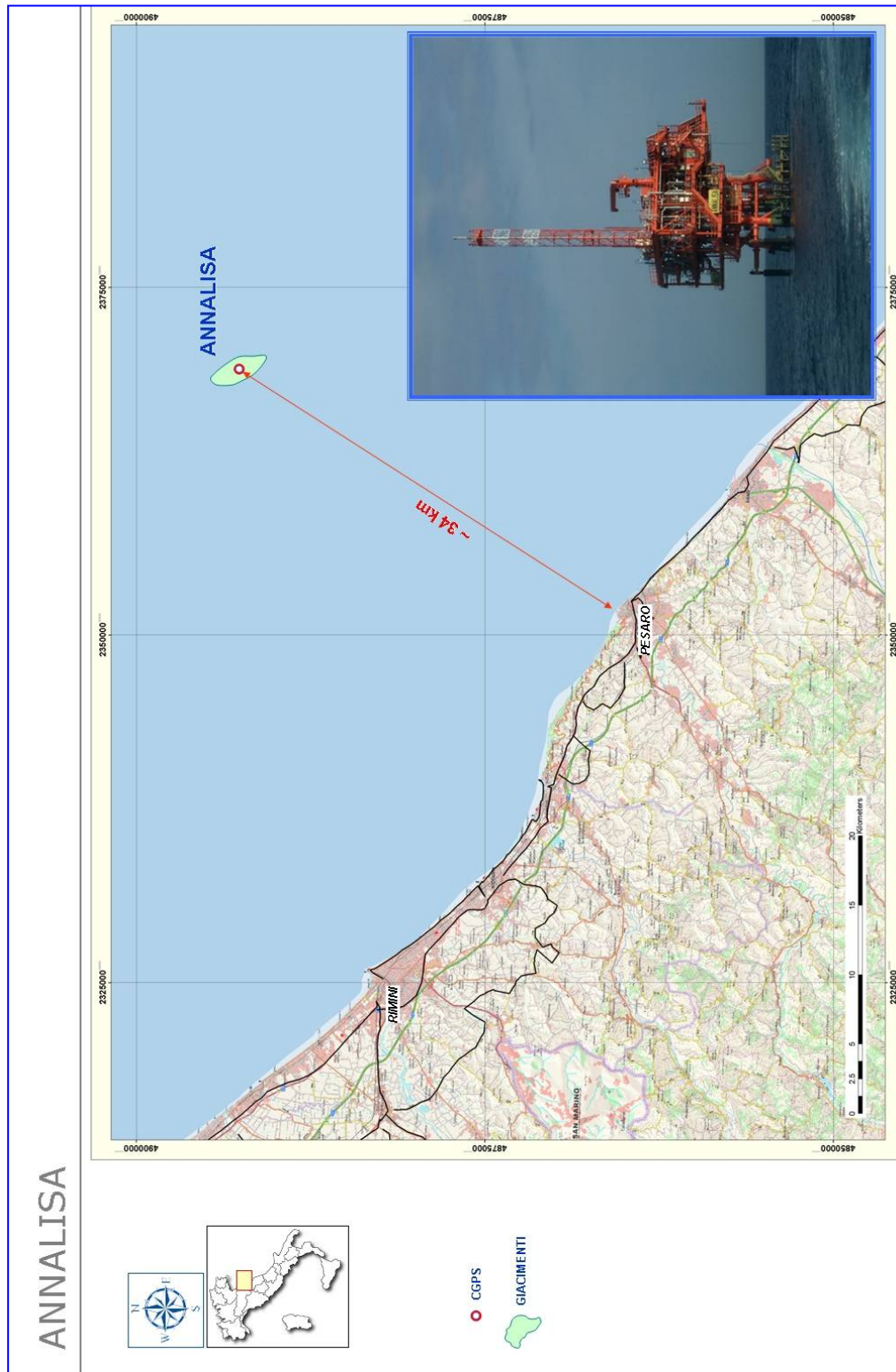


Figura 1 – Ubicazione del campo di Annalisa

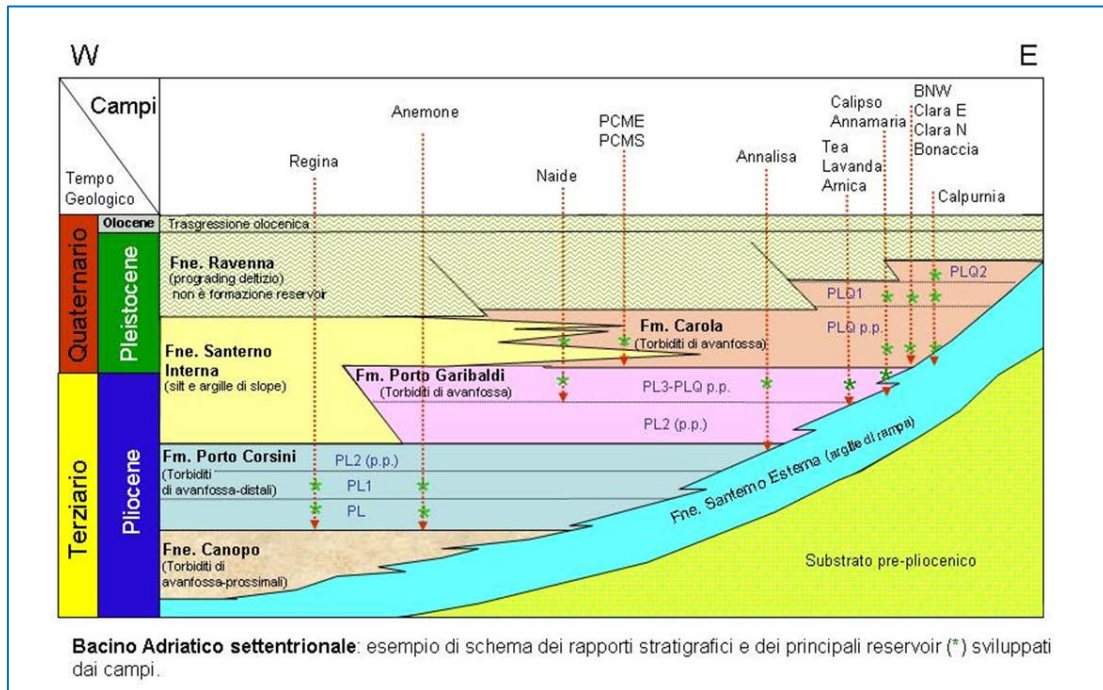


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

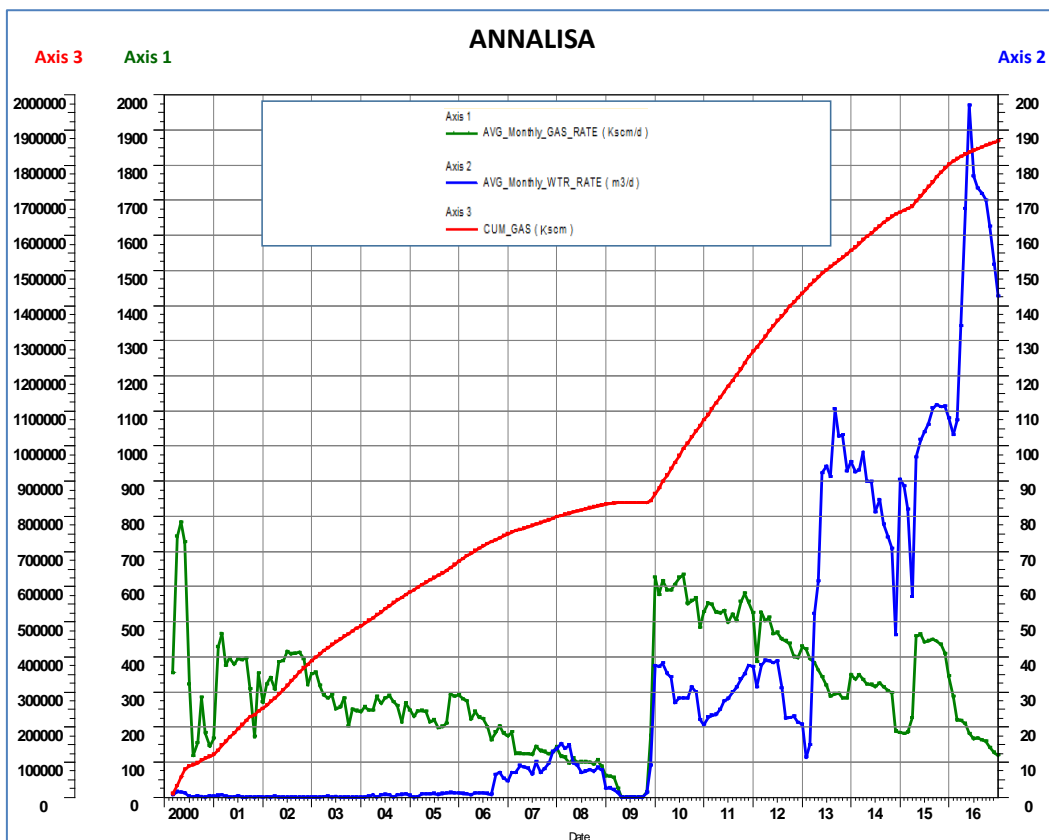


Figura 3 – Campo di Annalisa: grafico della produzione storica



CAMPO DI ANNALISA					
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	
2000	116	116	116	116	6%
2001	128	128	245	245	12%
2002	133	133	378	378	19%
2003	103	103	481	481	24%
2004	96	96	576	576	29%
2005	86	86	663	663	33%
2006	82	82	744	744	37%
2007	50	50	794	794	39%
2008	39	39	833	833	41%
2009	12	12	845	845	42%
2010	214	214	1058	1058	53%
2011	195	195	1254	1254	62%
2012	168	168	1422	1422	71%
2013	124	124	1546	1546	77%
2014	114	119	1660	1666	83%
2015	132	46	1792	1711	89%
2016	73	92	1865	1804	93%
2017		65		1869	
2018		52		1921	
2019		22		1943	
2020		18		1960	
2021		29		1989	
2022		18		2006	
2023		5		2012	
2024					

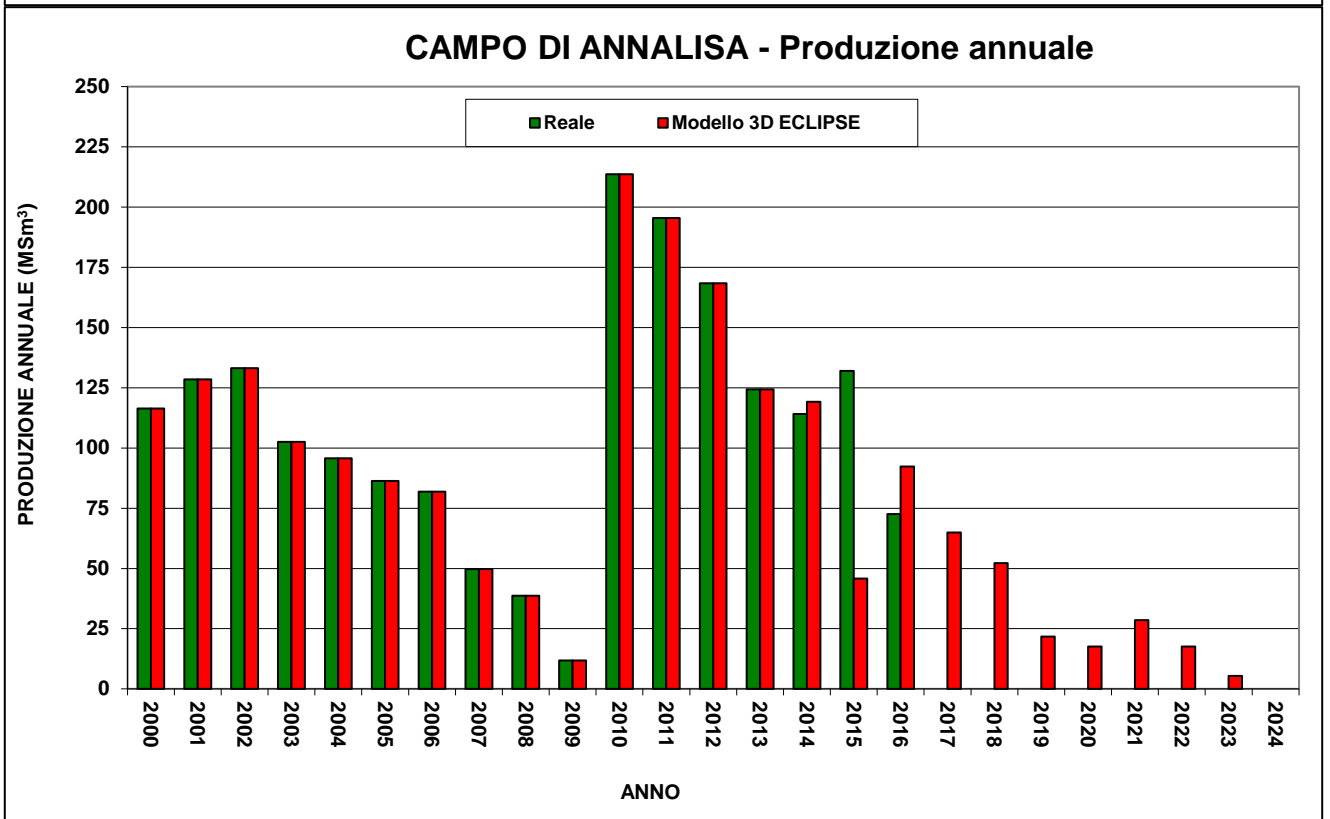
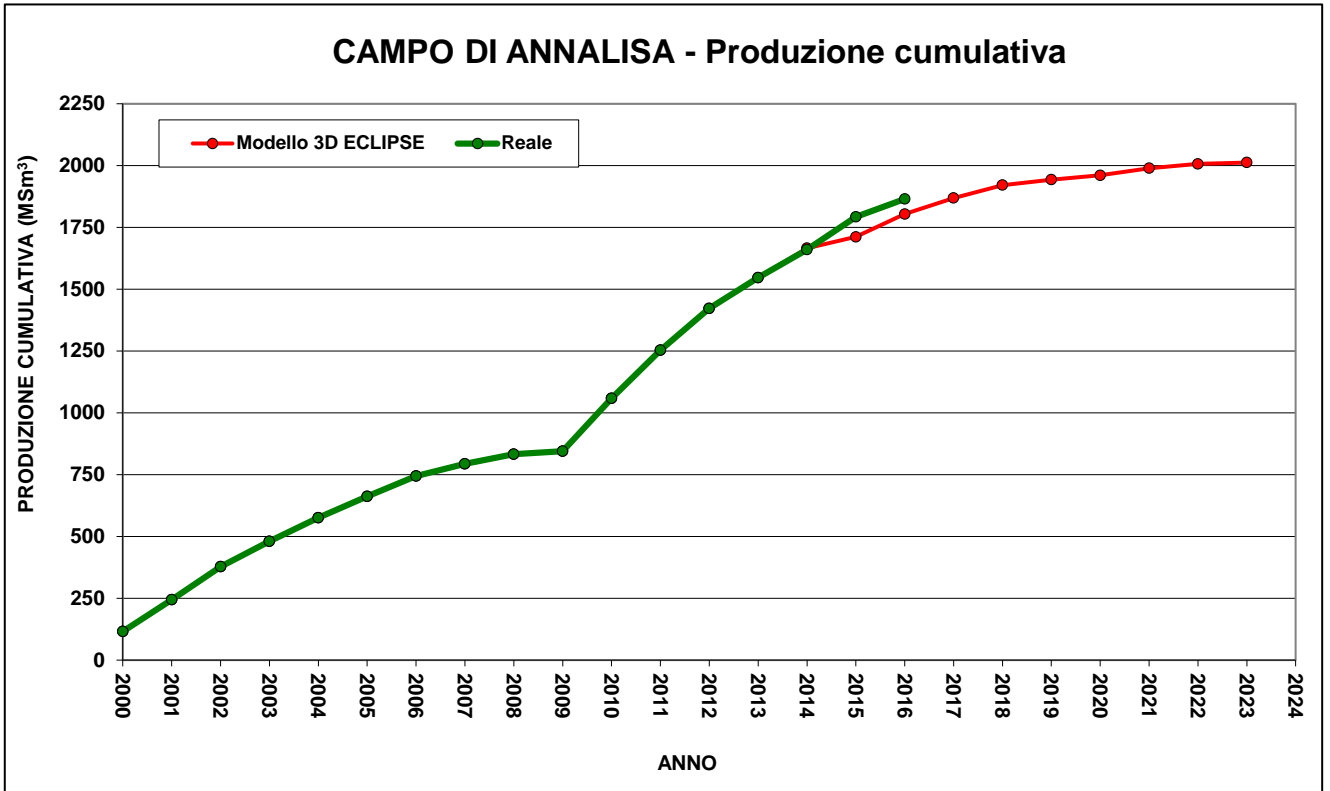


Figura 4 – Campo di Annalisa: tabella e grafici di produzione vs. modello Eclipse 2014



CAMPO DI ANNALISA															
Data	Livelli PL3-B10+B12			Livelli PL3-B10+B11			Livelli PL3-G1+H1			Livelli PL3-D4+D4b			Livelli PL3-D4+D4b+D5a+D5b		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
20/07/2003	223		4 C	220		5 C				253		3 L			
23/10/2006	199		4 C	192		5 C				214		3 L			
22/09/2010							285		6 L						
24/10/2012							265		6 L						
21/11/2014													231		3 L
17/10/2015													190		3 L
29/09/2016													152		3 L

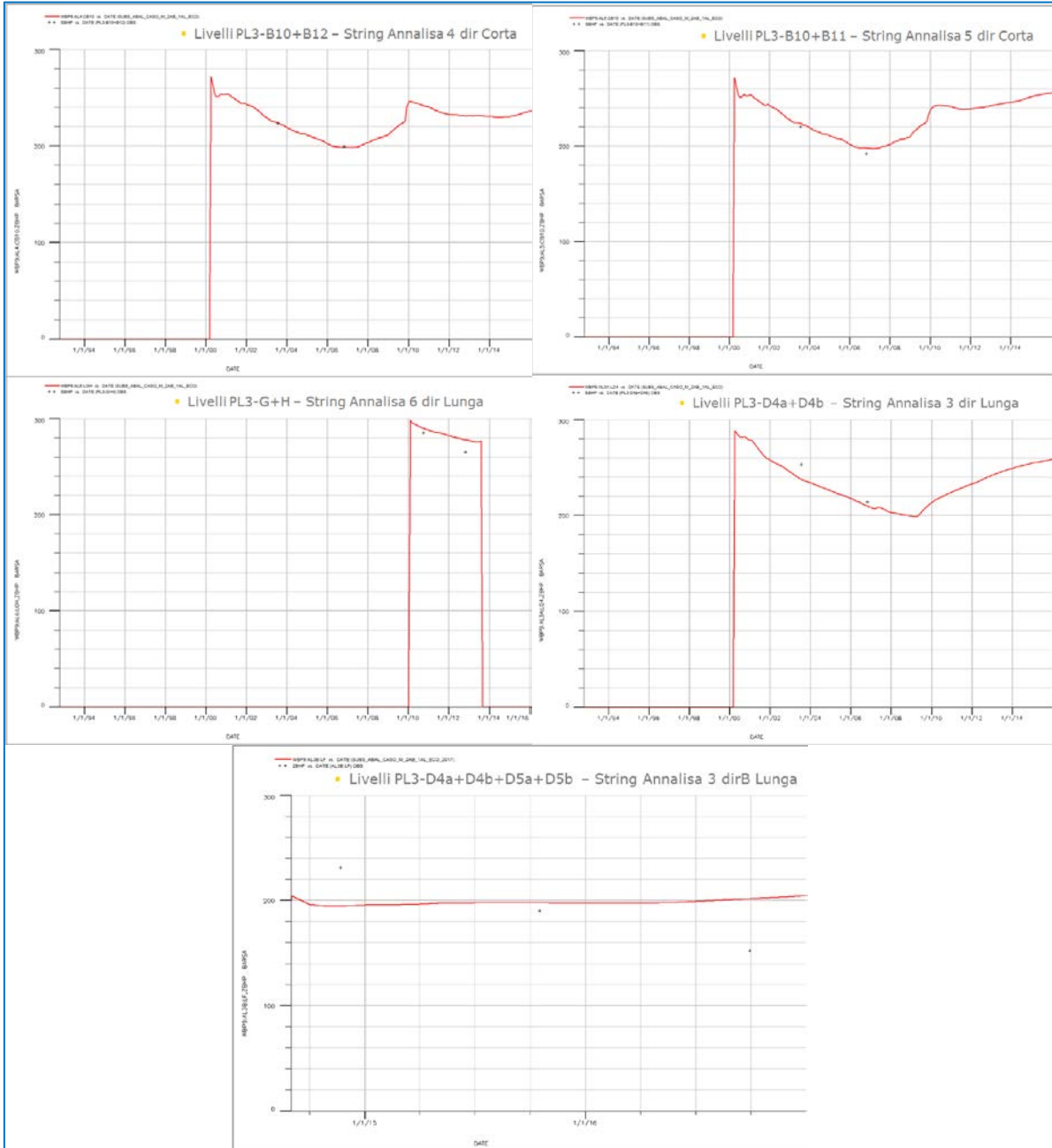


Figura 5 - Campo di Annalisa: confronto fra i dati misurati di pressione statica e i profili di pressione calcolati (modello Eclipse - Ott. 2014)

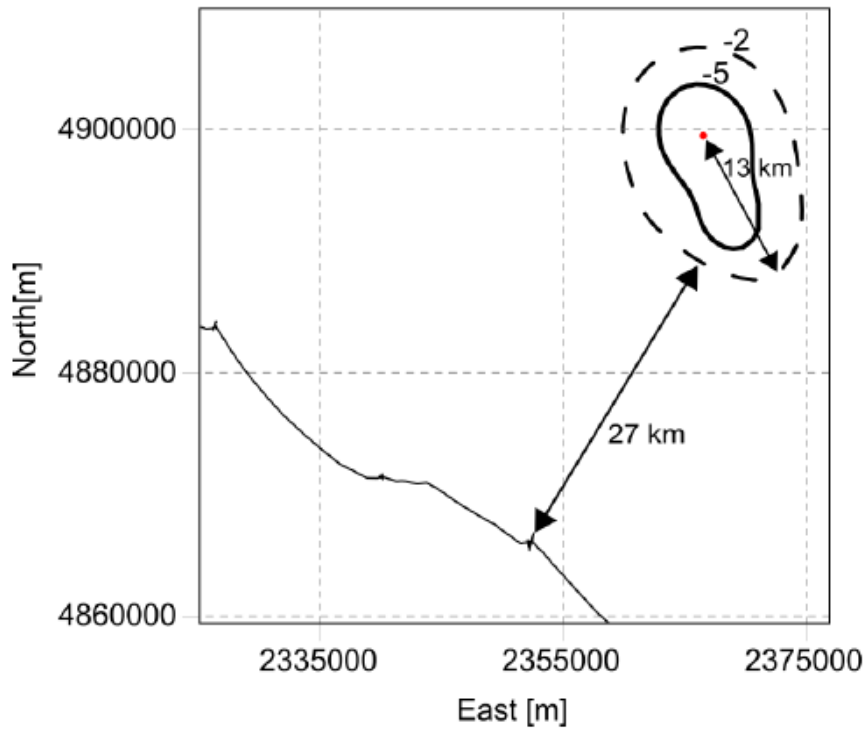


Figura 6 - Campo di Annalisa: mappa di subsidenza al 2027 (fine prod.) per lo scenario di riferimento

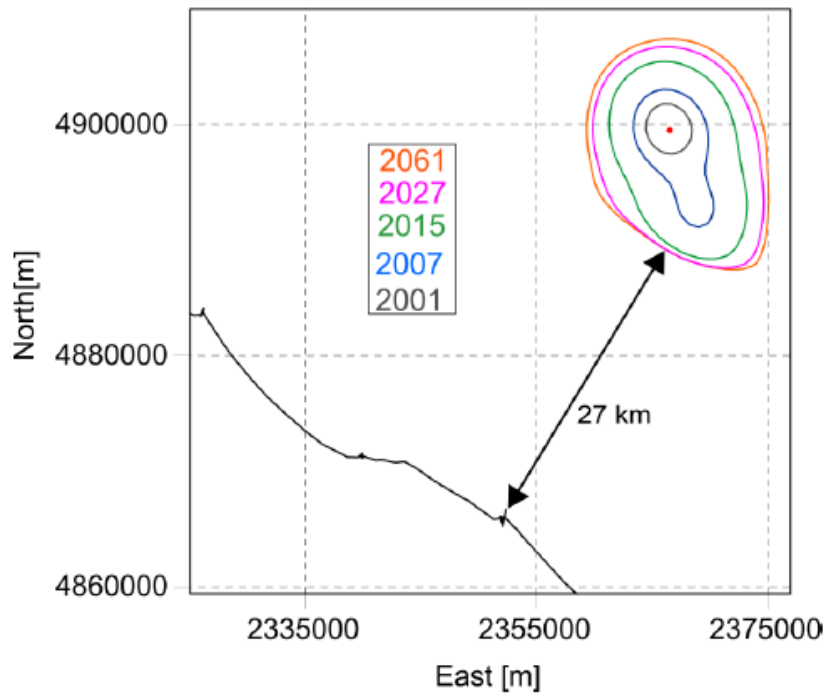


Figura 7 - Campo di Annalisa: evoluzione nel tempo della linea di iso-subsidenza di 2 cm per lo scenario di riferimento

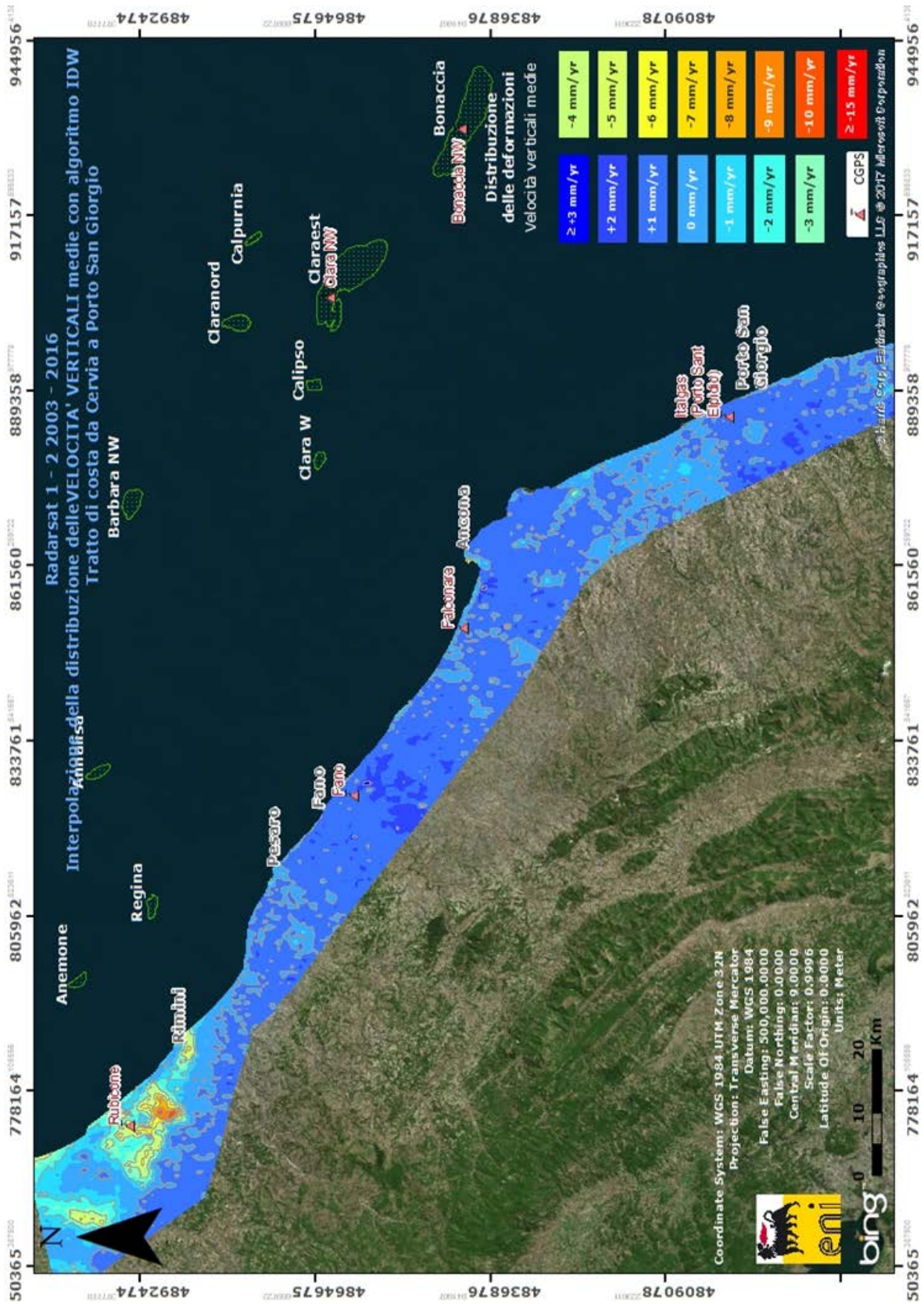
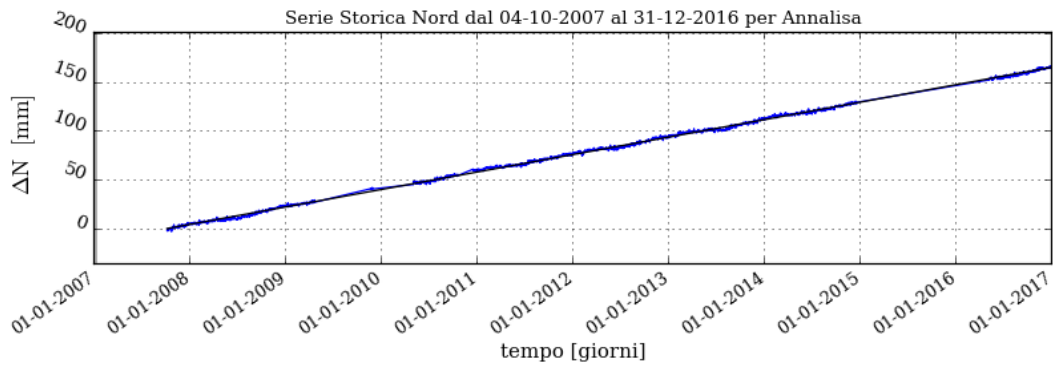


Figura 8 - Campo di Annalisa: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2016



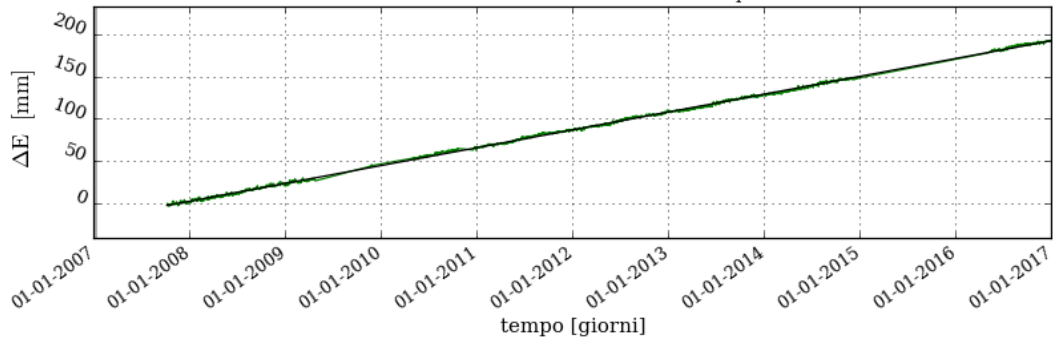
Serie storica spostamenti IGb08 RETE Annalisa



$Vel_n = 17.83 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_n = 1.34$ mm
 $\chi^2 / DOF = 10.17$

— Nord
— Regressione lineare

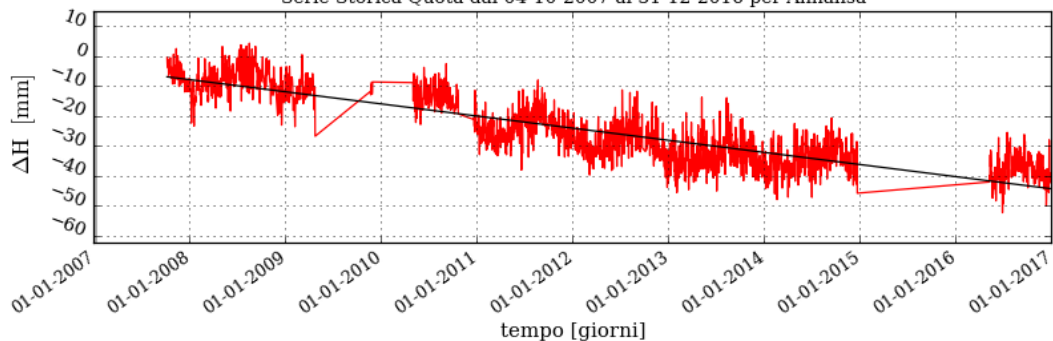
Serie Storica Est dal 04-10-2007 al 31-12-2016 per Annalisa



$Vel_e = 21.09 \pm 0.01$ mm/y
 $WRMS_e = 1.33$ mm
 $\chi^2 / DOF = 15.72$

— Est
— Regressione lineare

Serie Storica Quota dal 04-10-2007 al 31-12-2016 per Annalisa



$Vel_h = -4.11 \pm 0.05$ mm/y
 $WRMS_h = 5.67$ mm
 $\chi^2 / DOF = 14.52$

— Quota
— Regressione lineare

Figura 9 - Campo di Annalisa: serie storiche plano-altimetriche CGPS



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

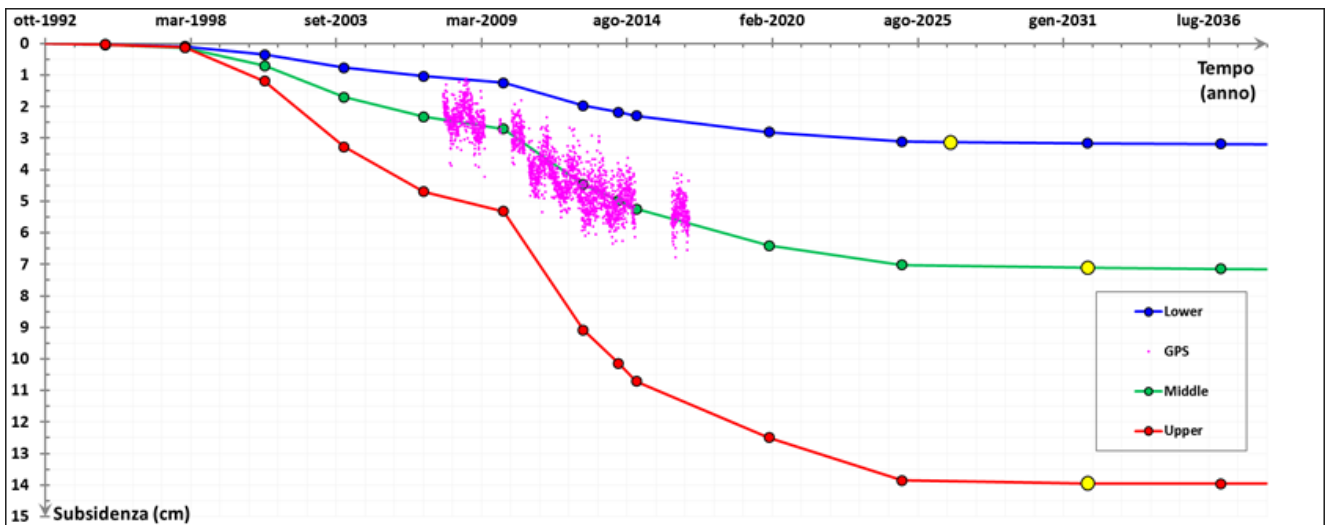


Figura 11 – Campo di Annalisa: misure CGPS vs. previsioni di subsidenza da modello geomeccanico (in corrispondenza della piattaforma)



campo ANNALISA (Eni 100%)				DECRETO VIA n. 3547 del 7 gennaio 1999	
DATI DI CAMPO				AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNALISA)	
UBICAZIONE	offshore - a circa 34 Km a NE di Pesaro				
PROFONDITA' FONDALE	55 m				
LITOLOGIA	sabbie fini				
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Garibaldi				
ZONA MINERARIA	Plus				
PROFONDITA' RESERVOIR	2300-3400 (TVSS)				
TIPO DI PIATTAFORMA	BEAF				
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	bianda anticlinale				
	D.M @ gen '99 @ 31 dic 2016				
CONCESSIONE	A.C32.AG				
DATA SCADENZA CONCESSIONE	30/11/2024				
N. POZZI	3	9			
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3)	1659	2012			
START UP PRODUZIONE	mar-00				
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2007	2023			
GAS PRODOTTO (MSm3)		1865			
% RISERVE PRODOTTE		93%			
<p>STUDIO DI GIACIMENTO MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MARZO '97" Campi di Annabella e Annalisa - Studio di giacimento, Rel. GISE-13/14 (ottobre 2014)</p> <p>RISERVE (MSm3) 1659 2012</p> <p>MOD. GEOMECCANICO GEERTSMA CILINDRICO ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ 12/2014</p> <p>MAX SUBS SUL CAMPO (cm) 3,2 (dopo 10 anni) 10 @ 2027 (scenario di riferimento-Middle)</p> <p>MAX DIST. DAL CULMINE (Km) 1,6 (dopo 10 anni) 13 @ 2061 (scenario di riferimento-Middle)</p> <p>N.B.: IL MODELLO DI SUBSIDENZA E' STATO AGGIORNATO COERENTEMENTE ALLA REVISIONE DEL MODELLO DINAMICO DI CAMPO. I RISULTATI DELLO STUDIO TENGONO CONTO ANCHE DELL'INTERFERENZA CON IL VICINO CAMPO DI ANNABELLA. LA DISTANZA DEL CONO DI SUBSIDENZA DALLA COSTA RISULTA SEMPRE SUPERIORE AI 27 KM.</p>					
<p>STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI</p> <p>LIVELLAZIONI ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011 e 2014. I DATI SONO STATI CERTIFICATI (fino al 2014) DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM IL PROSSIMO RILIEVO DELLA "DORSALE ADRIATICA" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI</p> <p>MARKERS NON PRESCRITTI</p> <p>CGPS NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA</p> <p>SAR ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2016 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.MA ANNALISA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO</p>					

Figura 12 – Campo di Annalisa: scheda di sintesi



Figura 13 - 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 GPS 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 ($< 1 \text{ mm/a}$) rispetto a quelli che si otterrebbero dagli stessi dati GPS, utilizzando però una serie storica di misure leggermente ridotta, avente cioè la stessa data d'inizio di quella dei dati SAR.

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

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

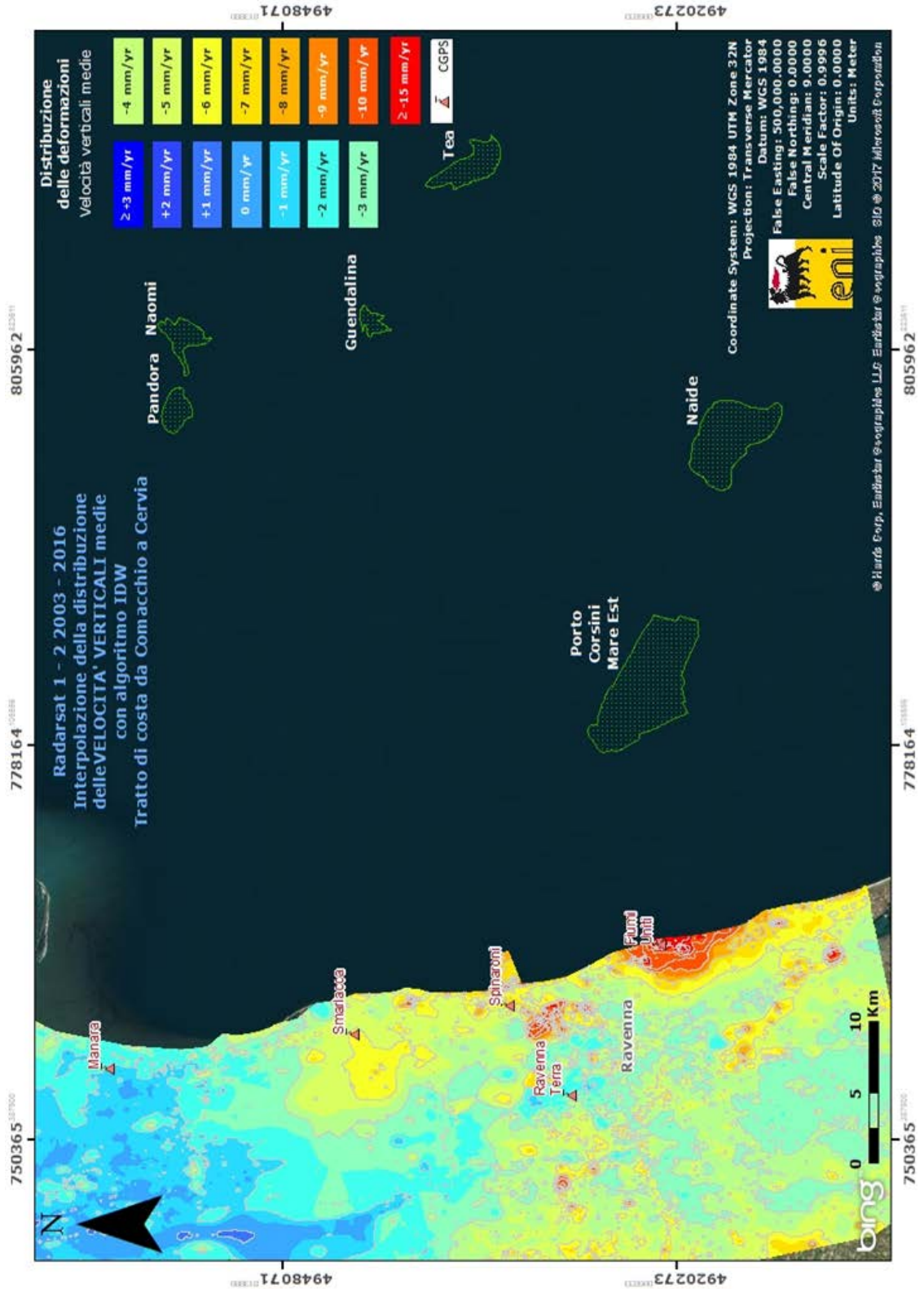


Fig. 2A - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Comacchio a Cervia

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

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

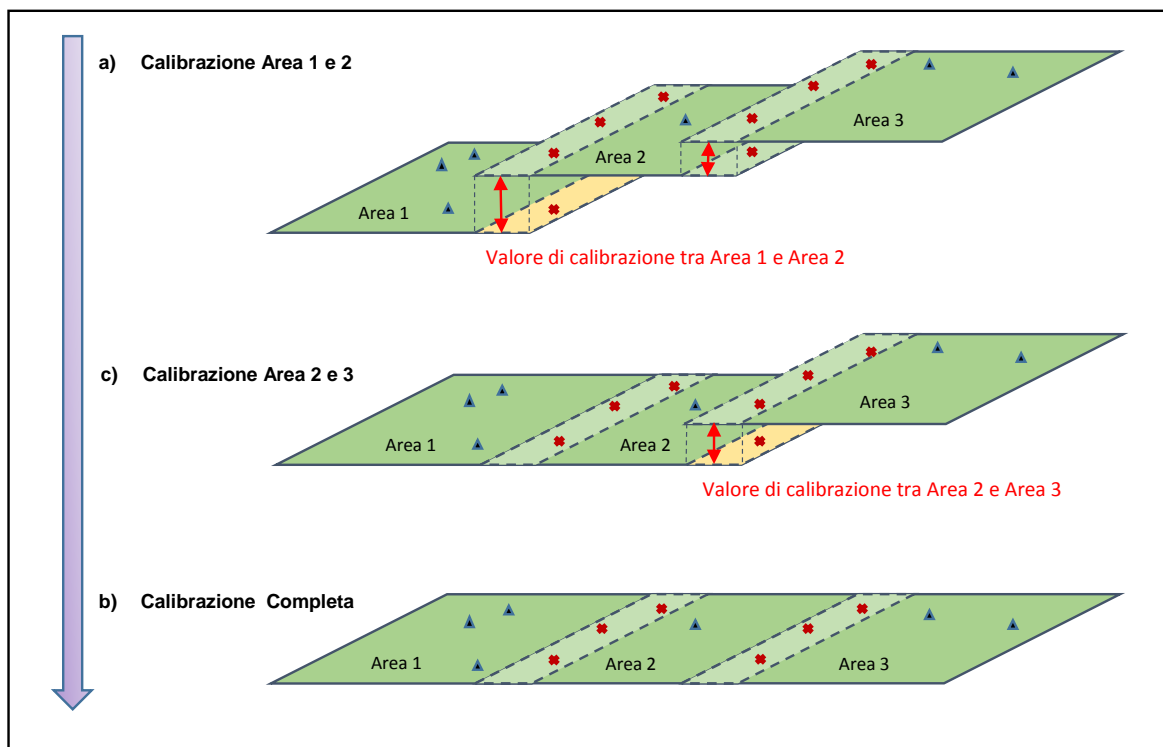


Fig. 3A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS



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

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

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

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

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

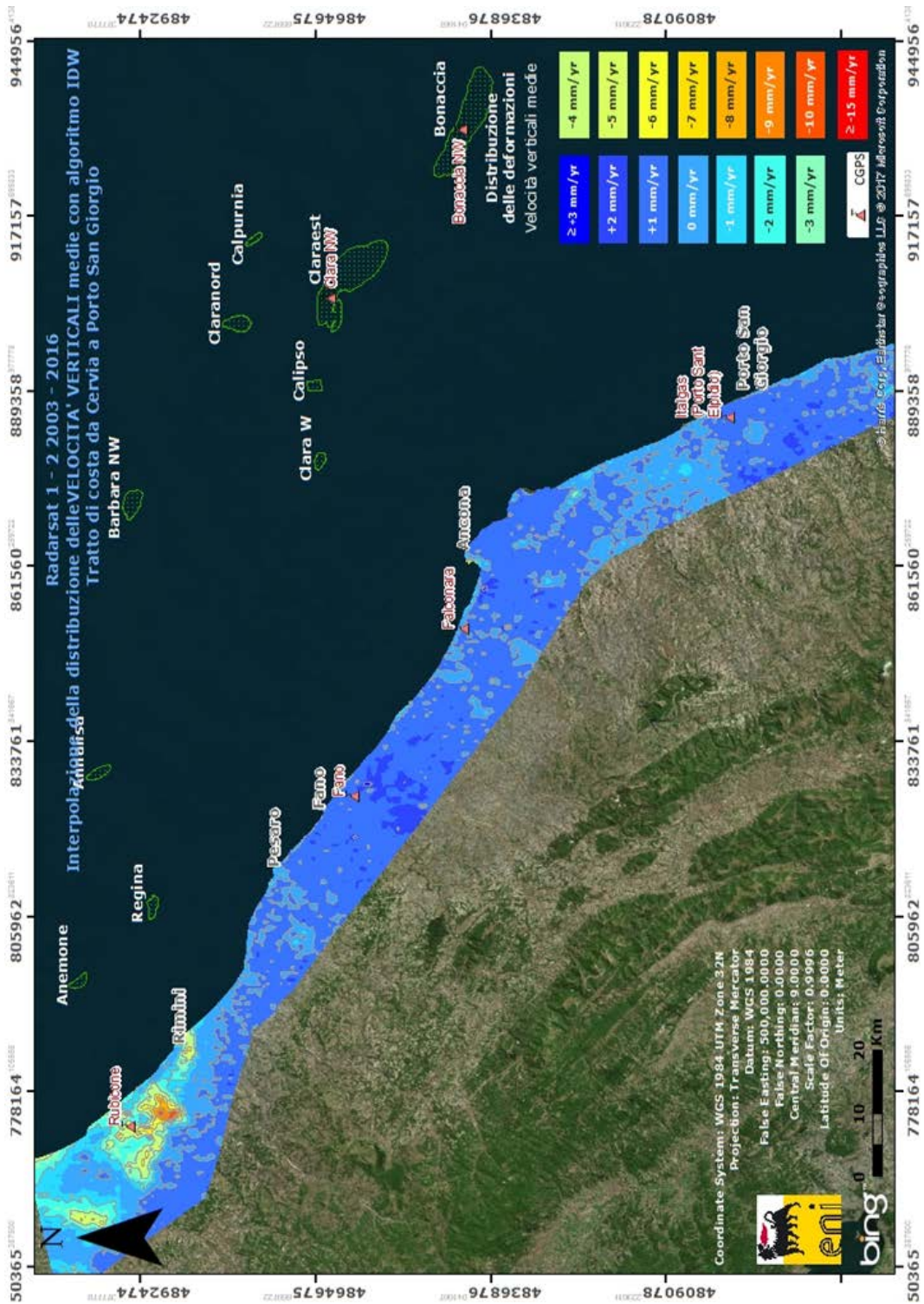


Fig. 4A- Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2016, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Cervia a Porto San Giorgio

Confronto dati SAR 2003 – 2015 vs 2003 – 2016

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

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

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

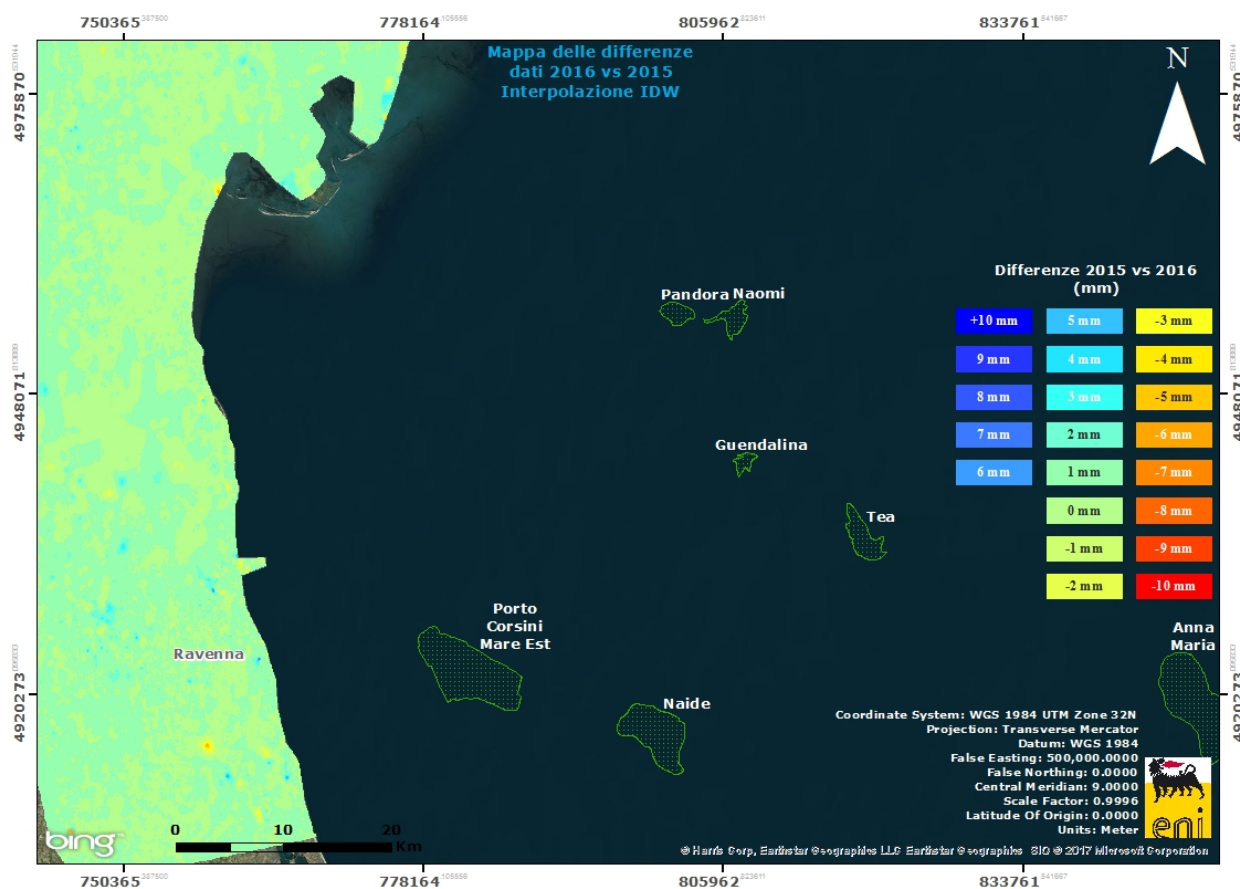


Fig. 5A – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Comacchio a Cervia

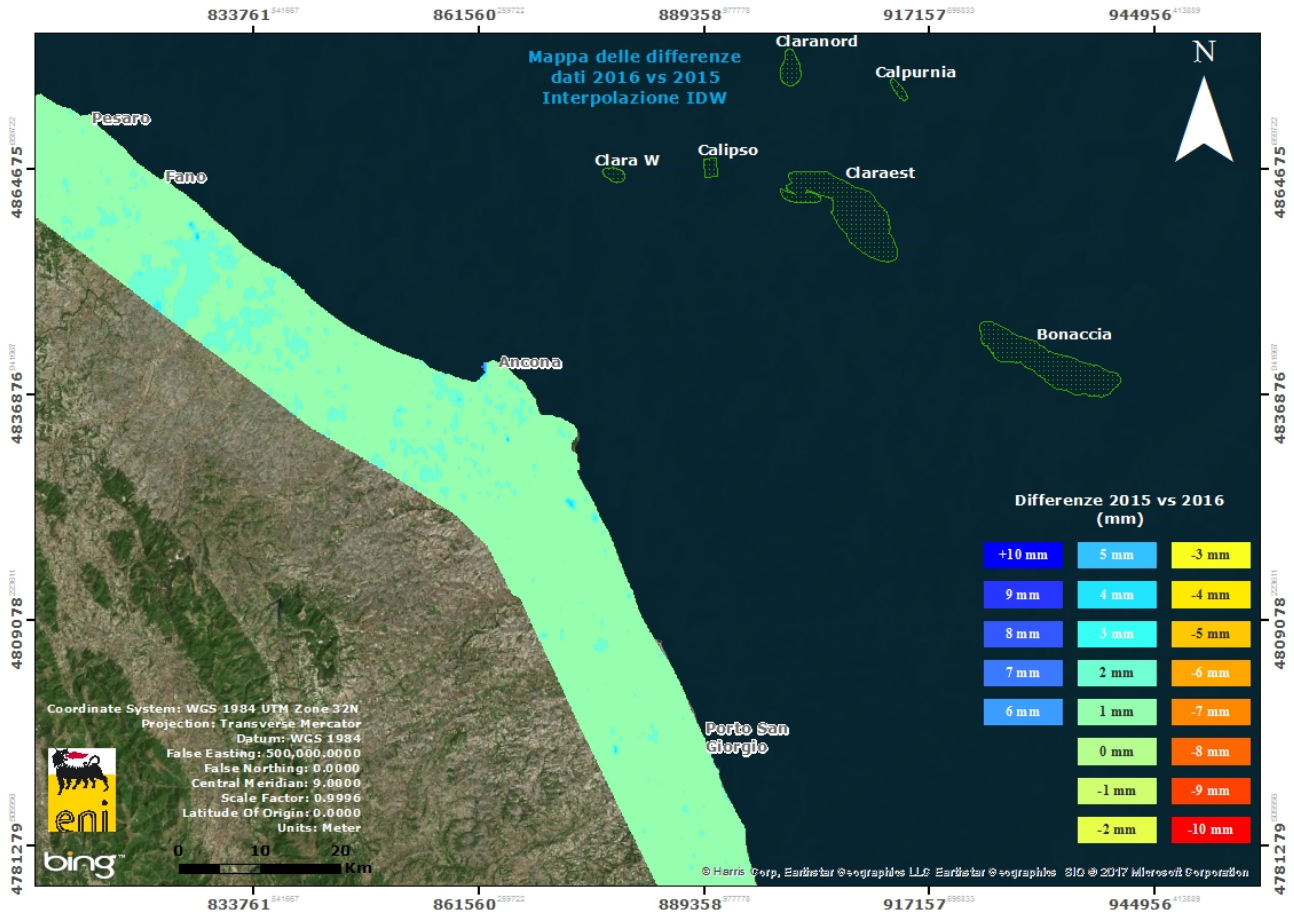


Fig. 6A - Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2015 e il 2003-2016, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Fano a Porto San Giorgio

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

Il monitoraggio della compattazione superficiale, lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Cervia e Ancona, è effettuato tramite 3 stazioni EPSU (Extensometric Piezometric Survey Unit) denominate: Rubicone, Fano e Falconara. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 2008 e il 2009, è riportata in figura 2A.

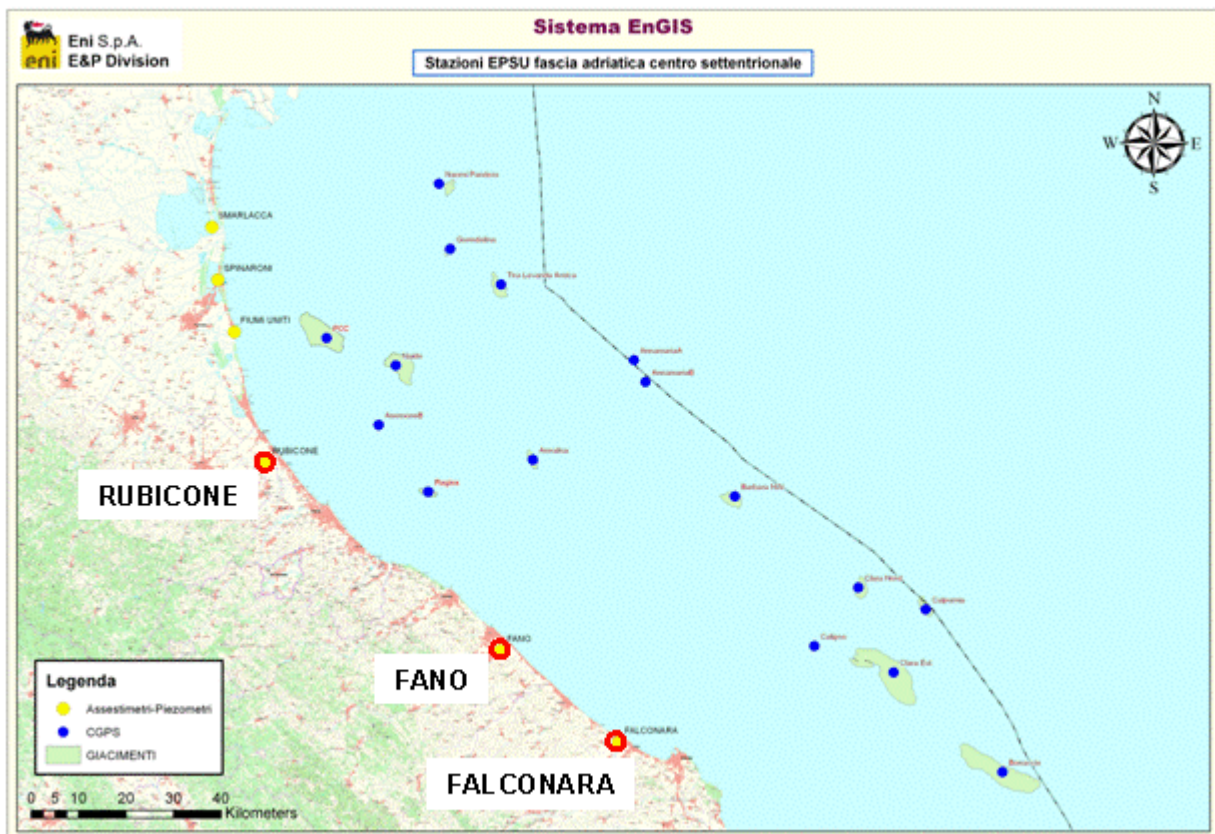


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

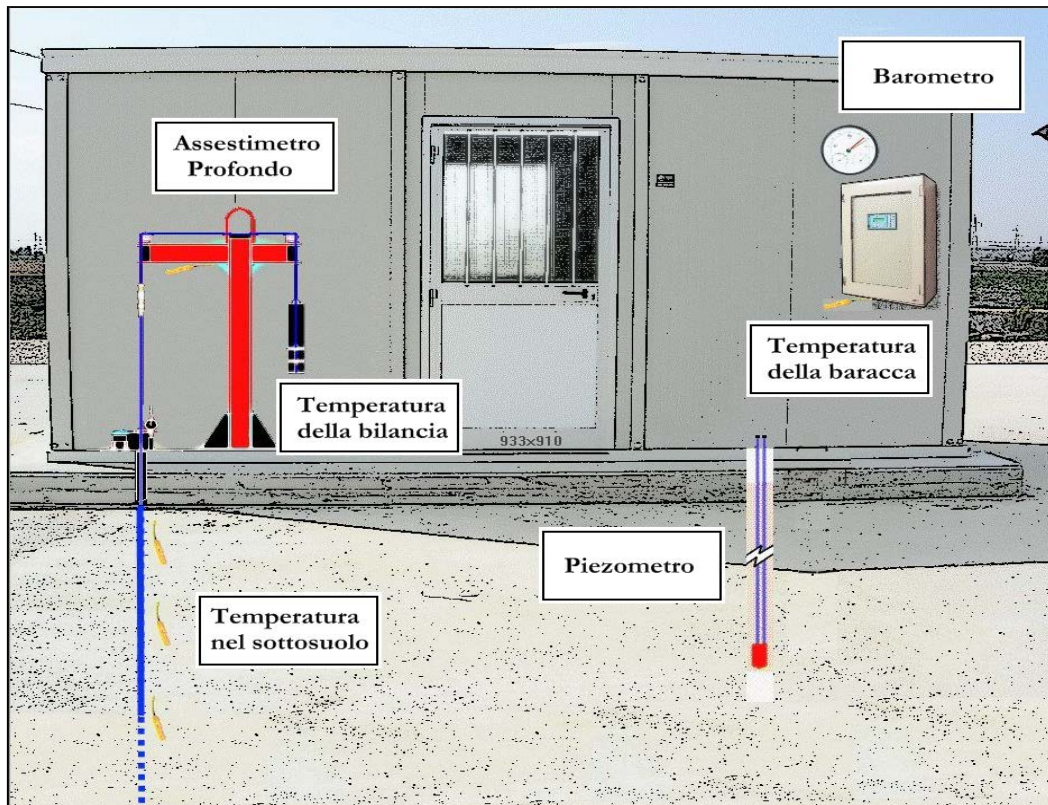


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione EPSU si allegano:

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

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

Stazione EPSU di RUBICONE (installata dicembre 2009)

Strumentazione:

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

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

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

- 8 aprile 2009 - 22 maggio 2009 una misura ogni ora;
- 22 maggio 2009 - 2 novembre 2009 una misura ogni 2 ore;
- dal 2 novembre 2009 una misura ogni 6 ore.

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione.

Nel 2011 c'è da segnalare un black-out dei dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre.

L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori è stata fatta nel dicembre 2016.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano campagna (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (316 m da p.c.).

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

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

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

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

Nella stessa area della stazione assestimetrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento del suolo rilevata dai dati GPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestimetriche. Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012. La velocità media annua calcolata con regressione lineare della serie storica di misure GPS è risultata, infatti, di -2,0 mm/a, ed è abbastanza prossima a quella ottenuta in modo analogo dalle misure assestimetriche che è pari a -2,4 mm/a. Ciò potrebbe indicare che la causa principale d'abbassamento del suolo dipenda principalmente dalla compattazione dei primi 320 m di terreno e sia causata dalle oscillazioni stagionali delle falde acquifere.

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

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



Analisi dei dati piezometrici

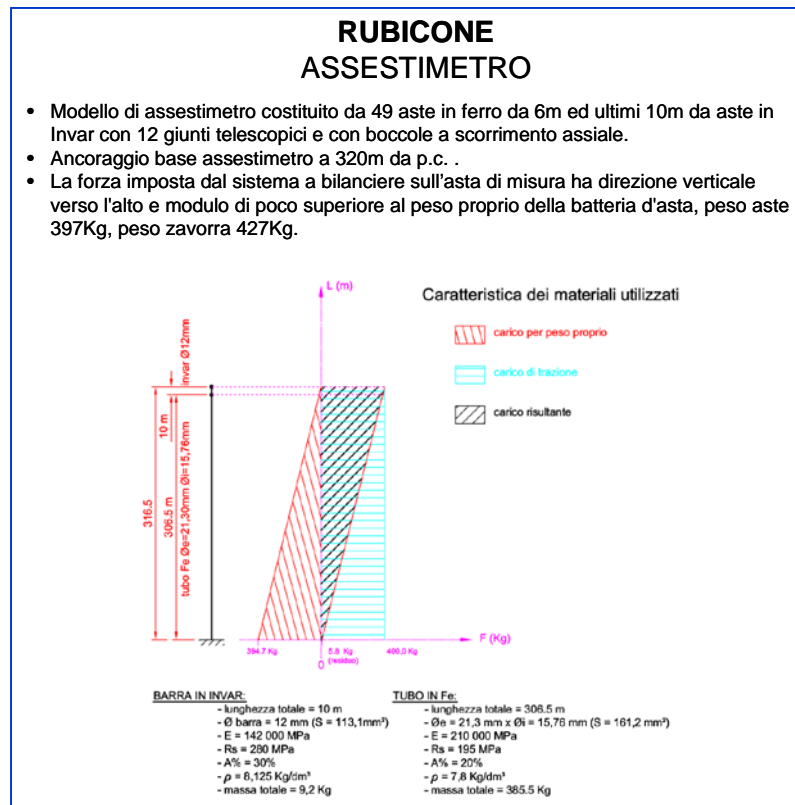
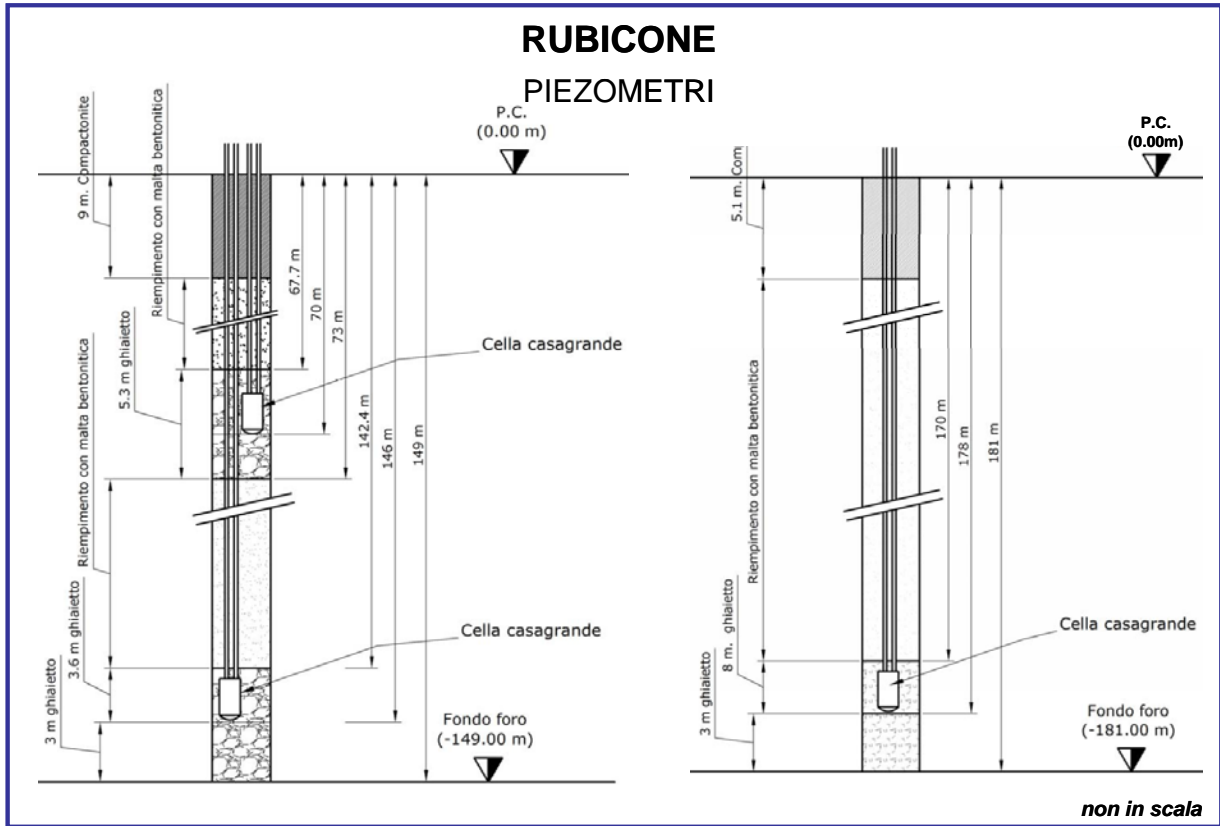
Nei grafici dei piezometri l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

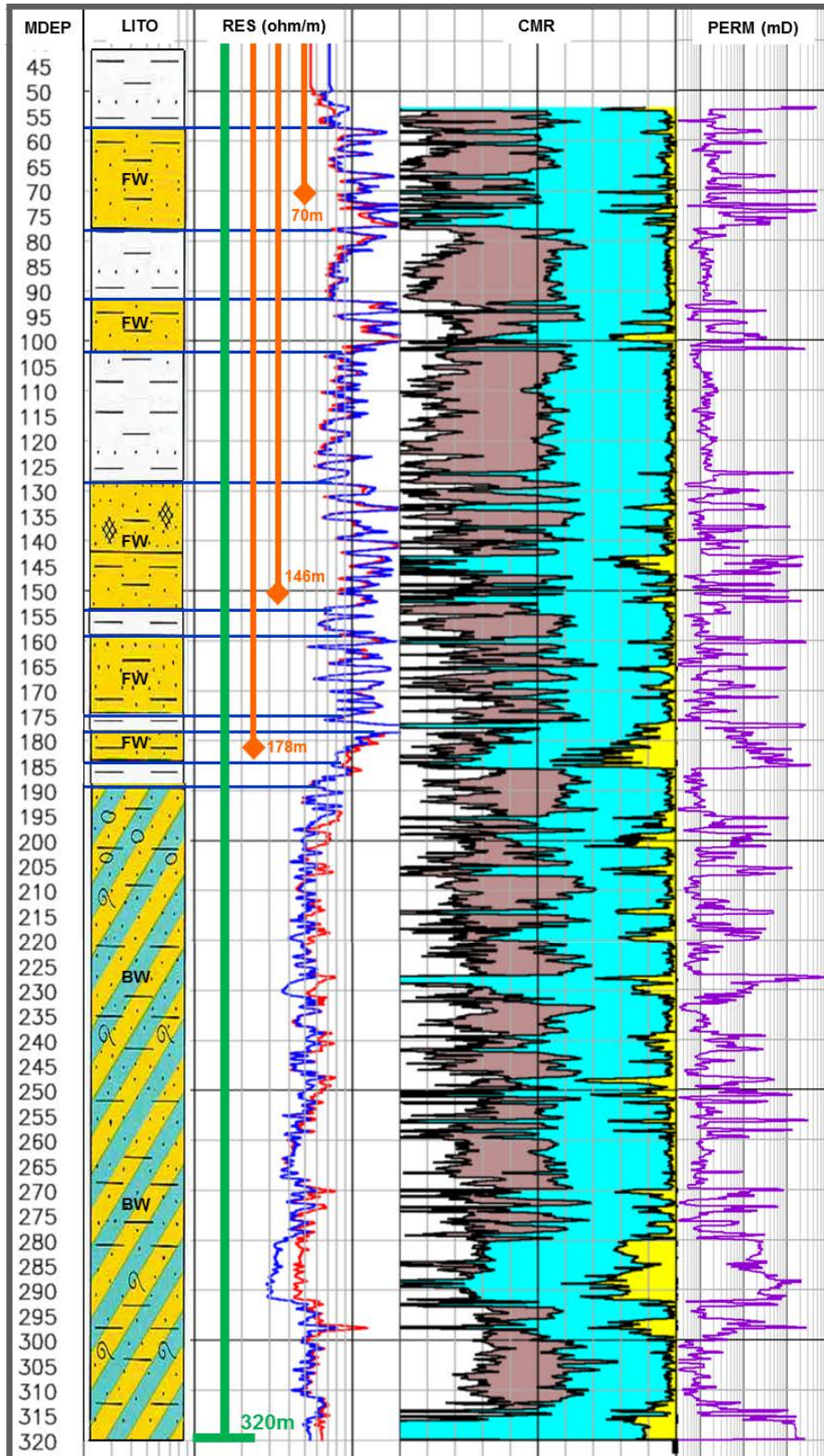
Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno del resto era già osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei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

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

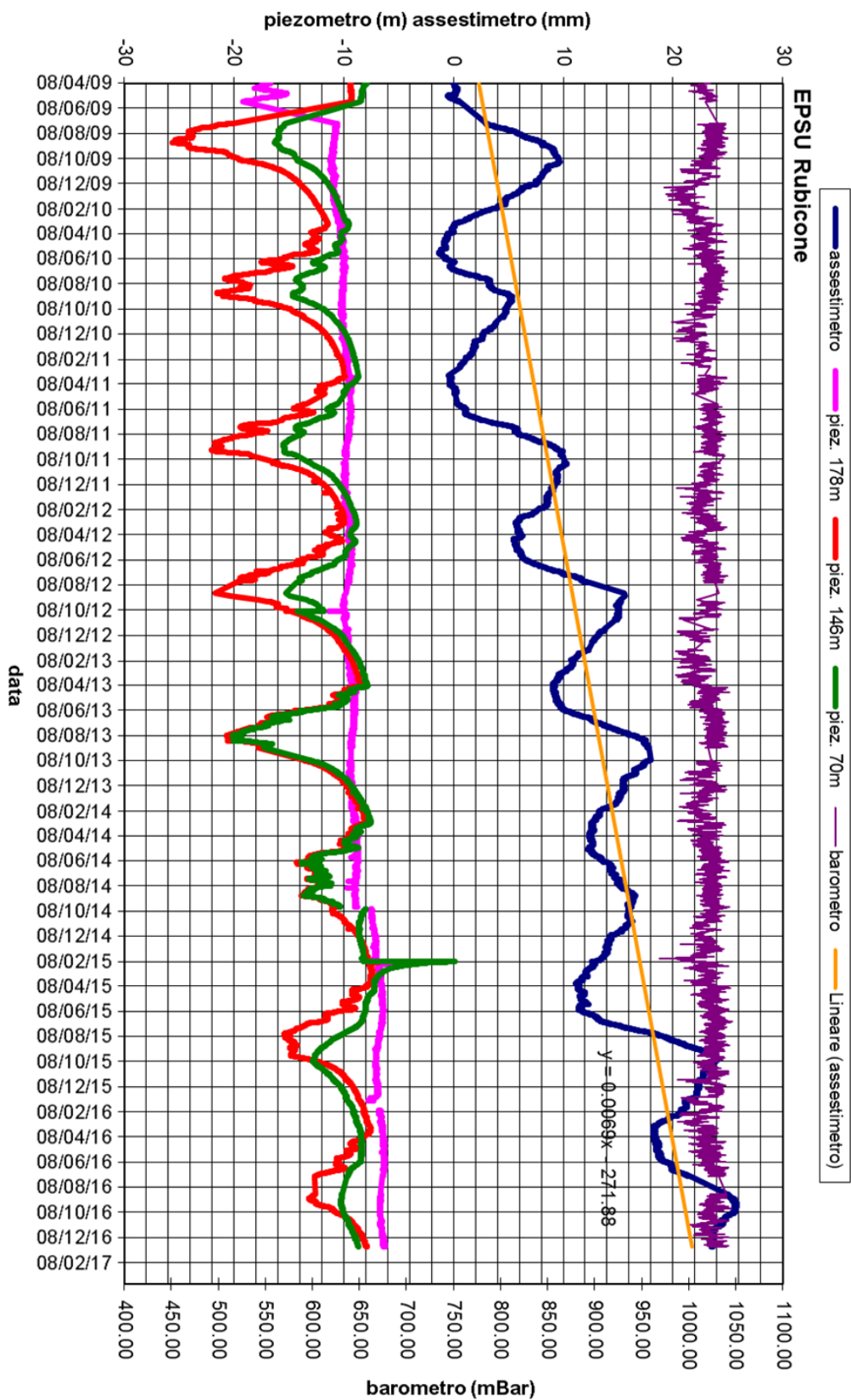
Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014, controllando accuratamente piezometri e trasduttori. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata accertata facendo alcune misure manuali con freatimetro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche, consentendo di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

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





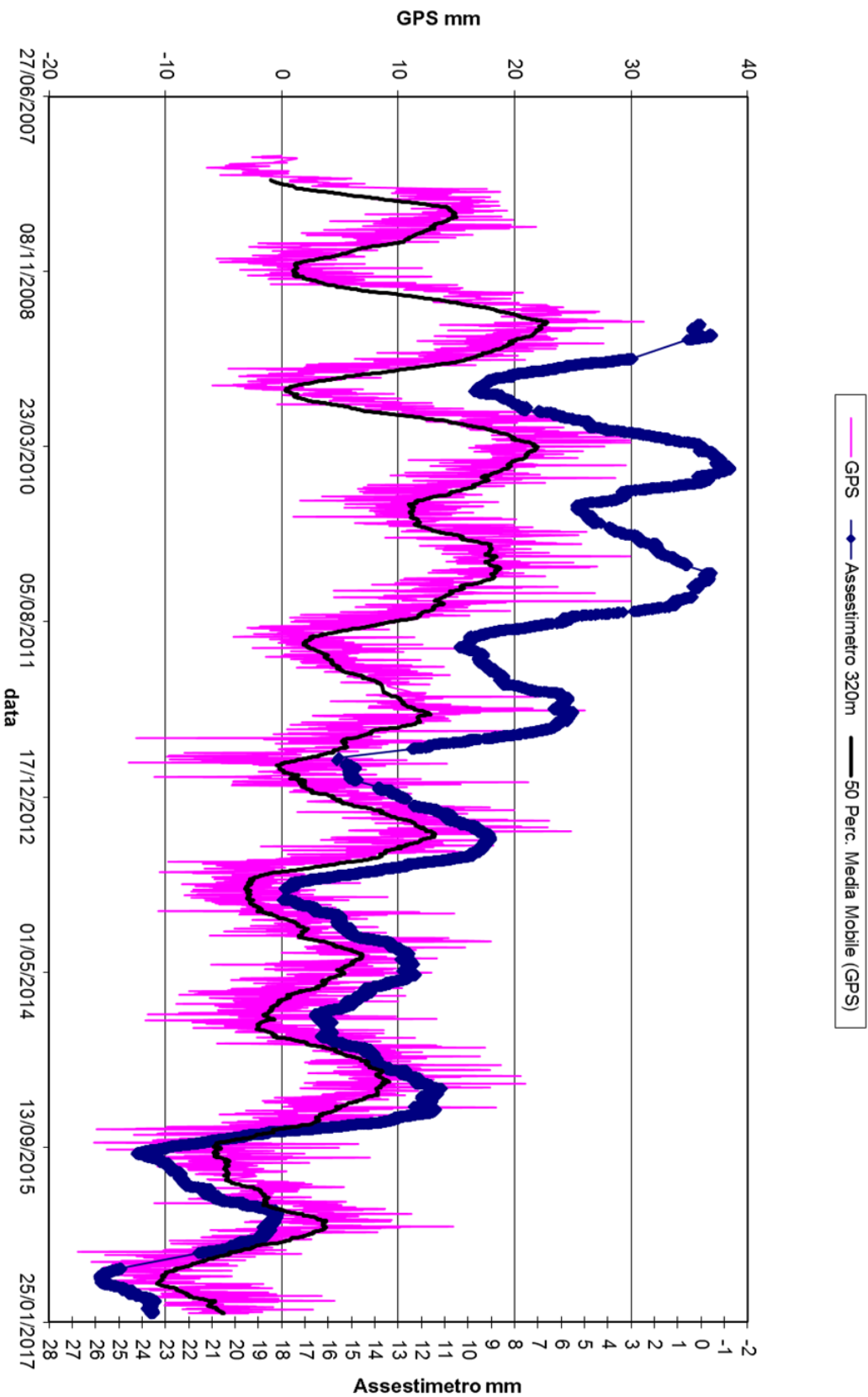
Stazione EPSU Rubicone. Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.



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



RUBICONE - Confronto GPS ed assestimetro profondo



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



Stazione EPSU di FALCONARA (installata ottobre 2008)

Strumentazione:

- assestimetro - quota bottom: 40,3 m da p.c.
- piezometro a cella singola – quota cella: 22 m da p.c.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto “lo zero” dei sensori di misura.

L’acquisizione dati è stata fatta con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 16 ottobre 2008 - 18 maggio 2009 una misura ogni ora,
- 8 maggio 2009 - 31 dicembre 2014 una misura ogni 6 ore.

Nei periodi 7 ottobre 2011 - 2 novembre 2011 e 3 dicembre - 13 dicembre 2011 si è avuto un problema d’alimentazione all’apparecchiatura d’acquisizione automatica dei dati, con conseguente mancata registrazione degli stessi. Identico problema si è verificato tra febbraio e aprile 2012; si è perciò sostituito parte dell’hardware del sistema d’acquisizione.

L’ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata nel dicembre 2016.

Analisi dei dati assestimetrici

L’assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano di campagna (p.c.) e il punto più profondo d’ancoraggio dello strumento (40,3 m da p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. I dati relativi all’assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale (“misura di zero”). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestimetro indicano, quindi, una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio



molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua monitorata a 22 metri di profondità dal piezometro.

L'assestometro, che reagisce quasi immediatamente all'escursione massima e minima annuale di tale falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno senza apprezzabile compattazione. Identico andamento emerge dall'analisi delle misure di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. La correlazione tra le due curve, assestimetrica e geodetica, è estremamente elevata, il loro sfasamento temporale è pressoché nullo e le "pulsazioni" (espansioni e compattazioni) del terreno (tutte di piccolissima entità) sono correlate alle variazioni di livello della falda acquifera.

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

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

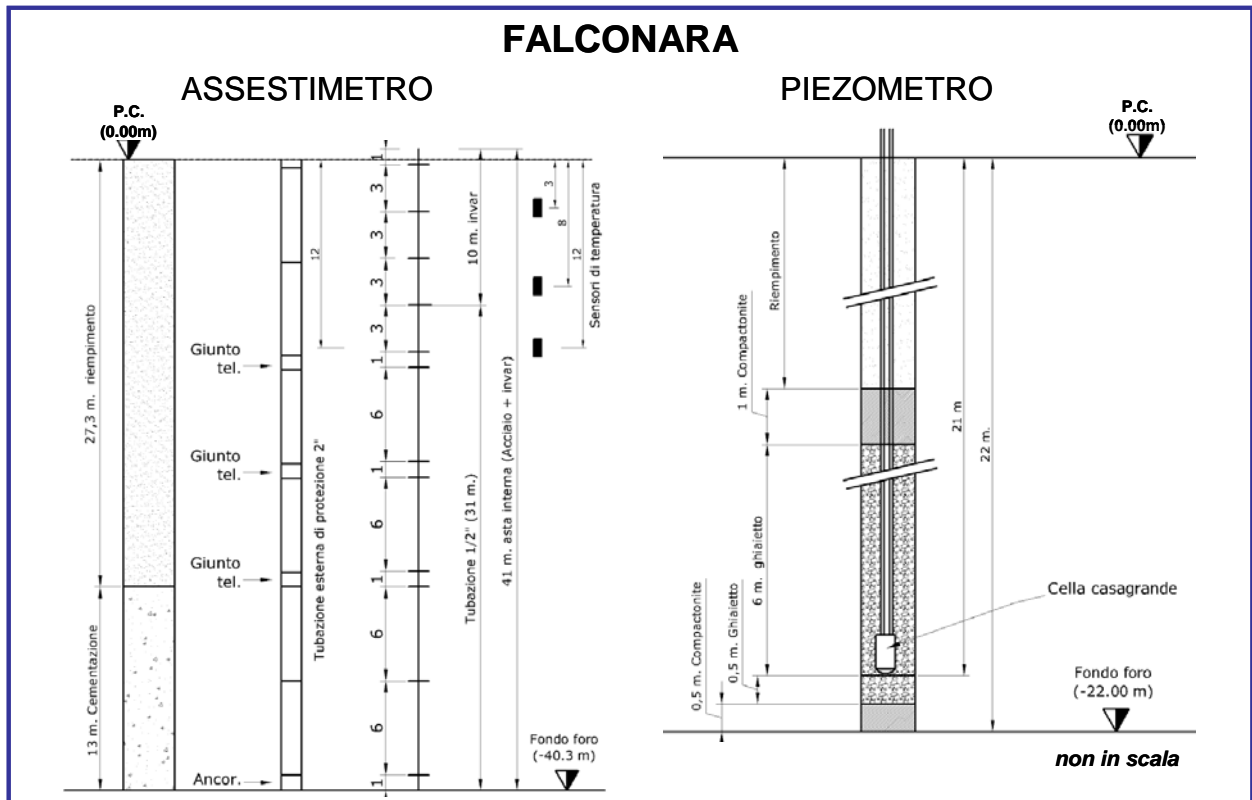
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti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

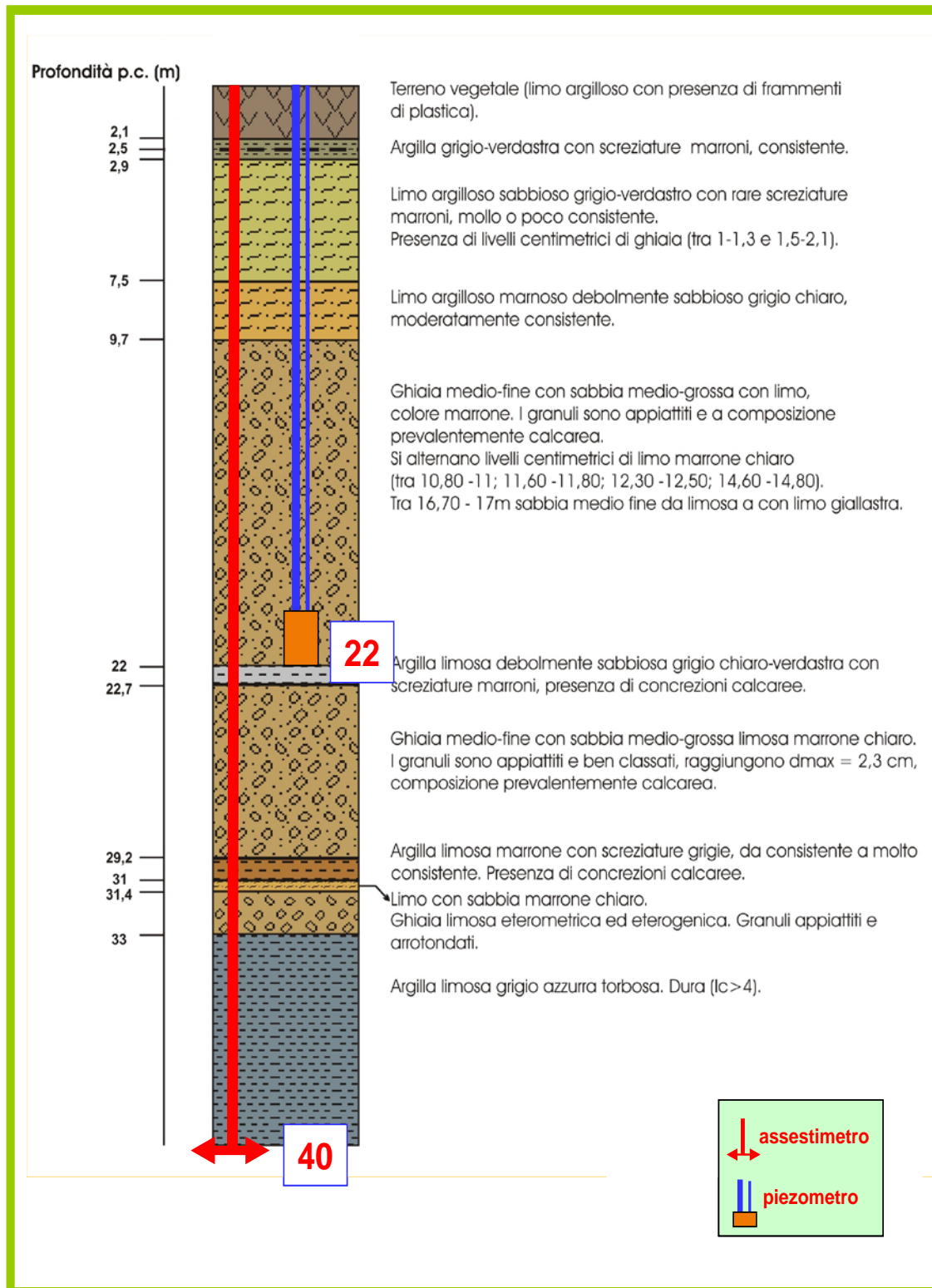
Analisi dei dati piezometrici

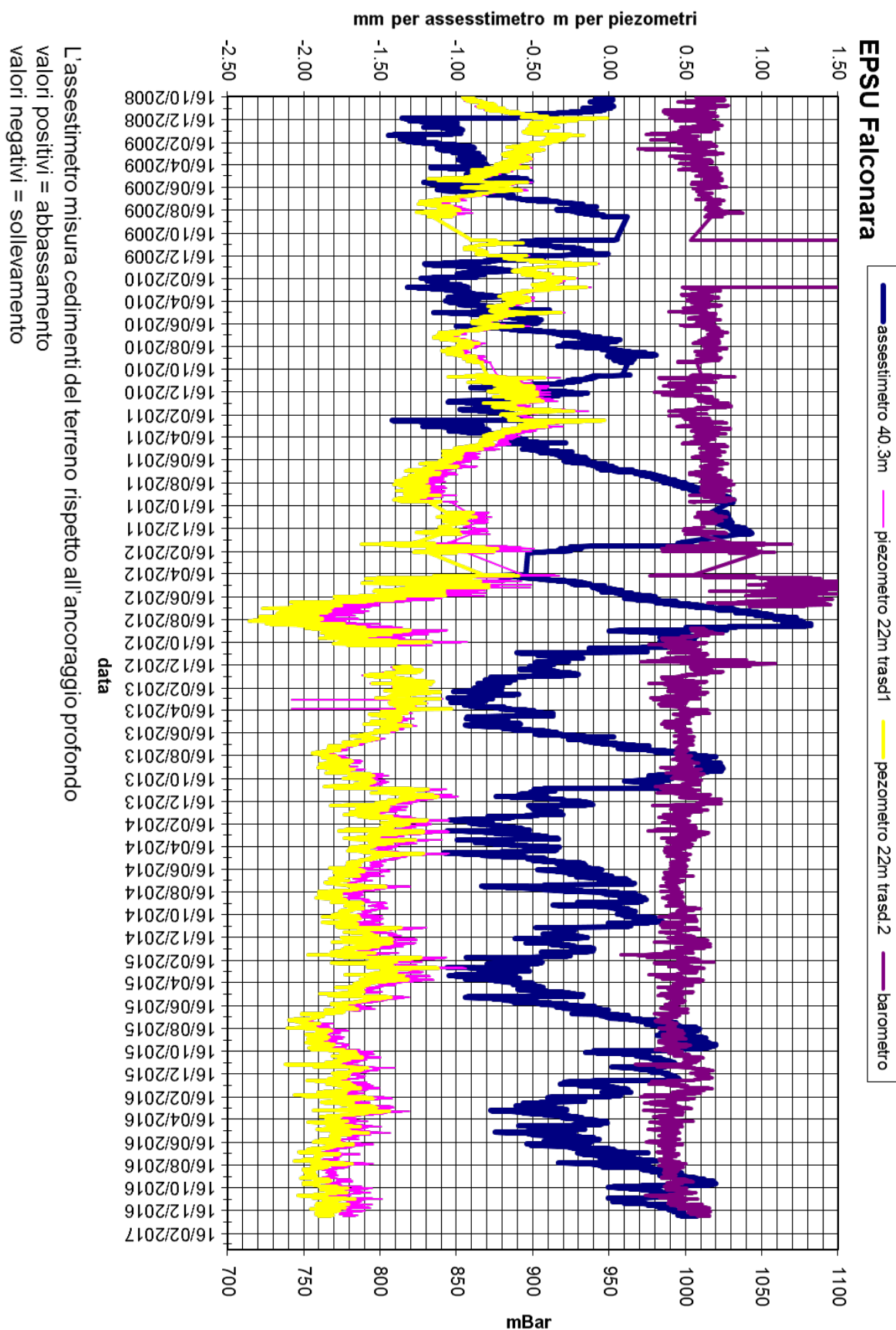
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico è riportato anche il valore della pressione barometrica.

Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

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

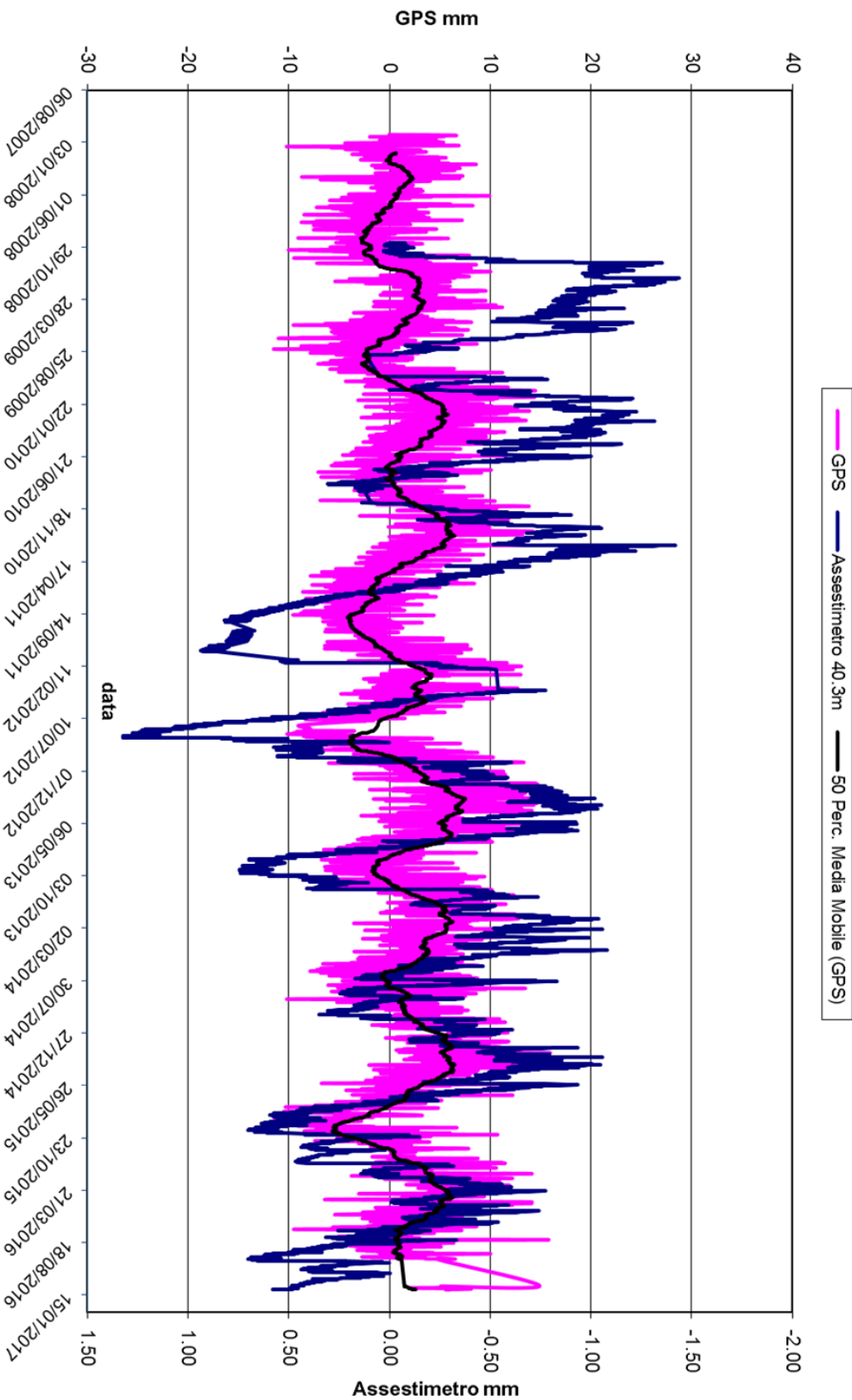








FALCONARA - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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

Stazione EPSU di FANO (installata ottobre 2008)

Strumentazione:

- assestimetro - quota bottom: 40,8 m da p.c.
- piezometro a cella singola: quota cella 6,1 m da p.c.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto “lo zero” per tutti i sensori di misura.

L’acquisizione dati è stata fatta con regolarità secondo la seguente frequenza:

- 16 ottobre 2008 - 18 maggio 2009 una misura ogni ora,
- 19 maggio 2009 - 31 dicembre 2016 una misura ogni 6 ore.

Nel periodo monitorato (10/2008 – 12/2016) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d’acquisizione dati.

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

Analisi dei dati assestimetrici

L’assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra la superficie (p.c.) e il punto più profondo d’ancoraggio dello strumento (40,8 m da p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. I dati relativi all’assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale (“misura di zero”). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestimetro indicano, quindi, una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Sin dall’inizio della sua installazione, lo strumento non ha mai fatto registrare significative variazioni di spessore (compattazioni o espansioni) della porzione di terreno monitorato. Tali escursioni - cicliche stagionali - sono dell’ordine di ± 1 mm, con una punta massima di



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

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

Nel corso del 2016 si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm a inizio anno è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva, per attestarsi poi intorno a circa 1 mm (nuova compattazione) a fine anno.

In questi primi cicli, quindi, le misure di questa stazione, analogamente a quelle di Falconara, mostrano una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva pressochè nulla: si è registrato, infatti, circa di 1 mm di compattazione in poco più di 8 anni di osservazione.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione EPSU. Tali misure danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,45 mm/a. A sua volta la velocità media di compattazione stimata con regressione lineare dei dati della serie assestimetrica è praticamente nulla. L'esame comparato delle due serie di misure (assestimetriche e geodetiche GPS) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare la curva assestimetrica sembra essere ritardata di ca. 4-5 mesi rispetto a quella geodetica. È bene osservare, però, che si tratta di movimenti del suolo di bassissima entità, per cui si è al limite del potere risolutivo delle due tecniche di misura.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che entrambe le curve - assestimetrica e geodetica GPS - mostrano una certa correlazione con gli andamenti stagionali della falda.

La curva assestimetrica si presenta, però, sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo circa tre mesi dopo il massimo del livello piezometrico. Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla (ca. 32 m) quando varia la sua saturazione in acqua. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico.

La curva dei dati GPS sembra invece più in fase con le variazioni del livello d'acqua nella falda. Va però notato che l'ubicazione dell'antenna CGPS (stazione SSU) dista circa 150-



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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

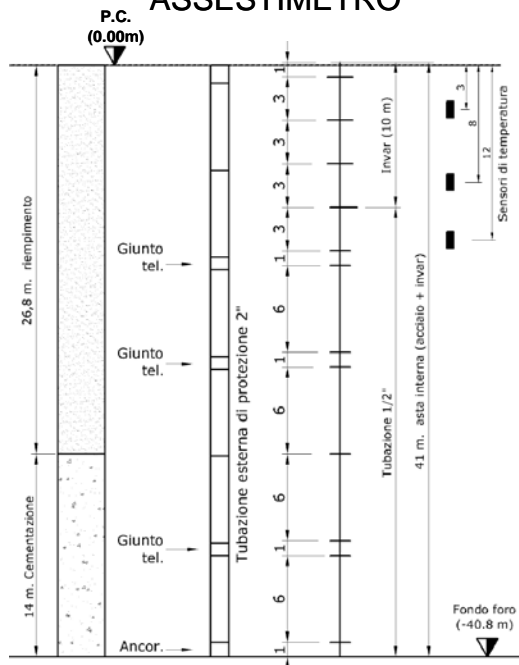
L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casagrande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 8 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento.

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

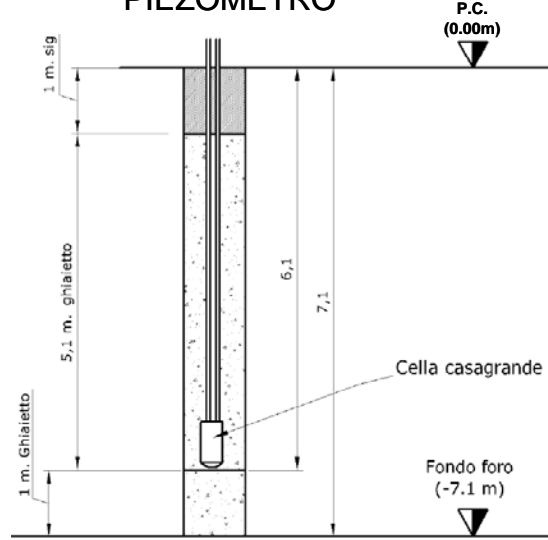


FANO

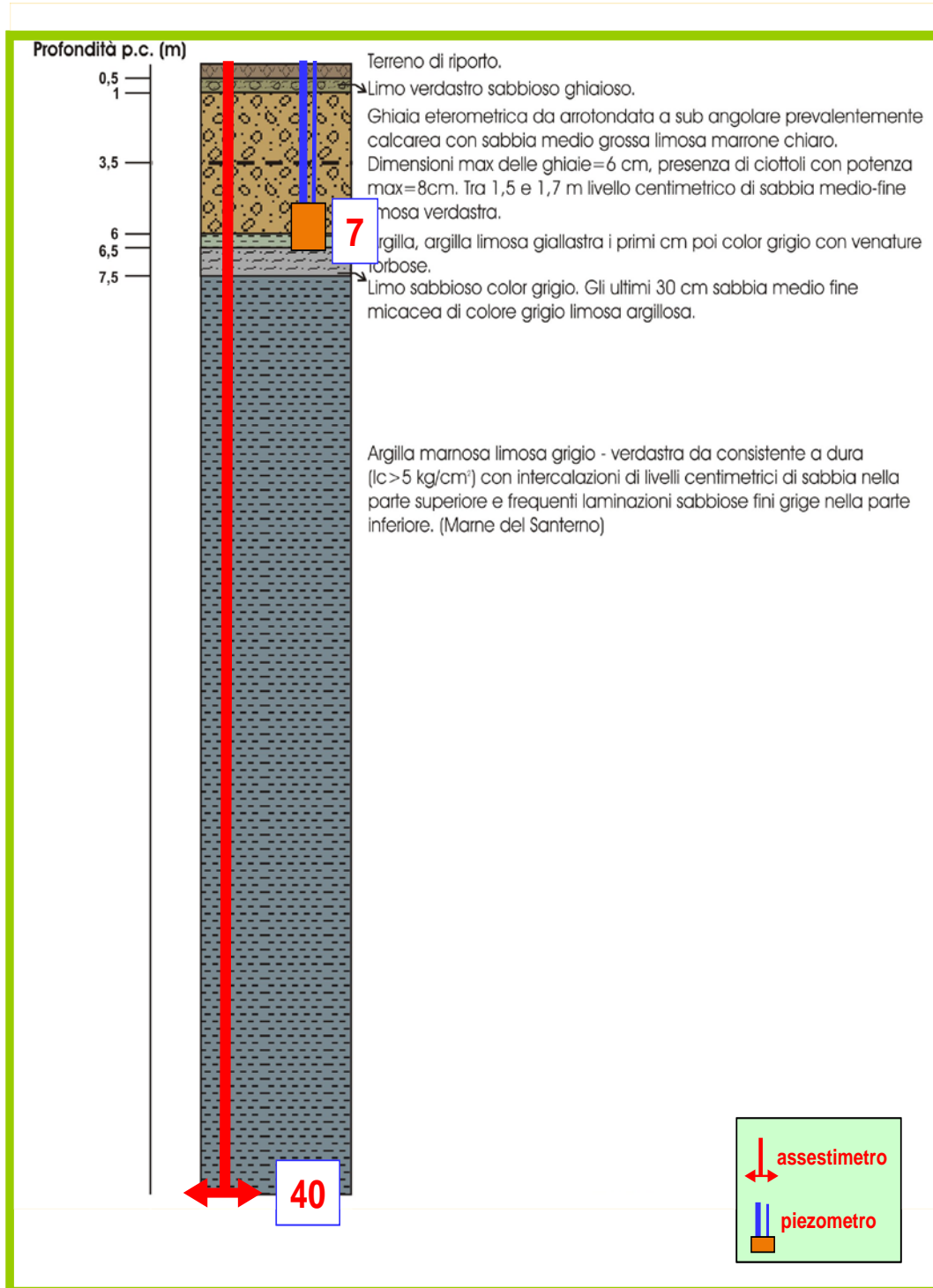
ASSESTIMETRO

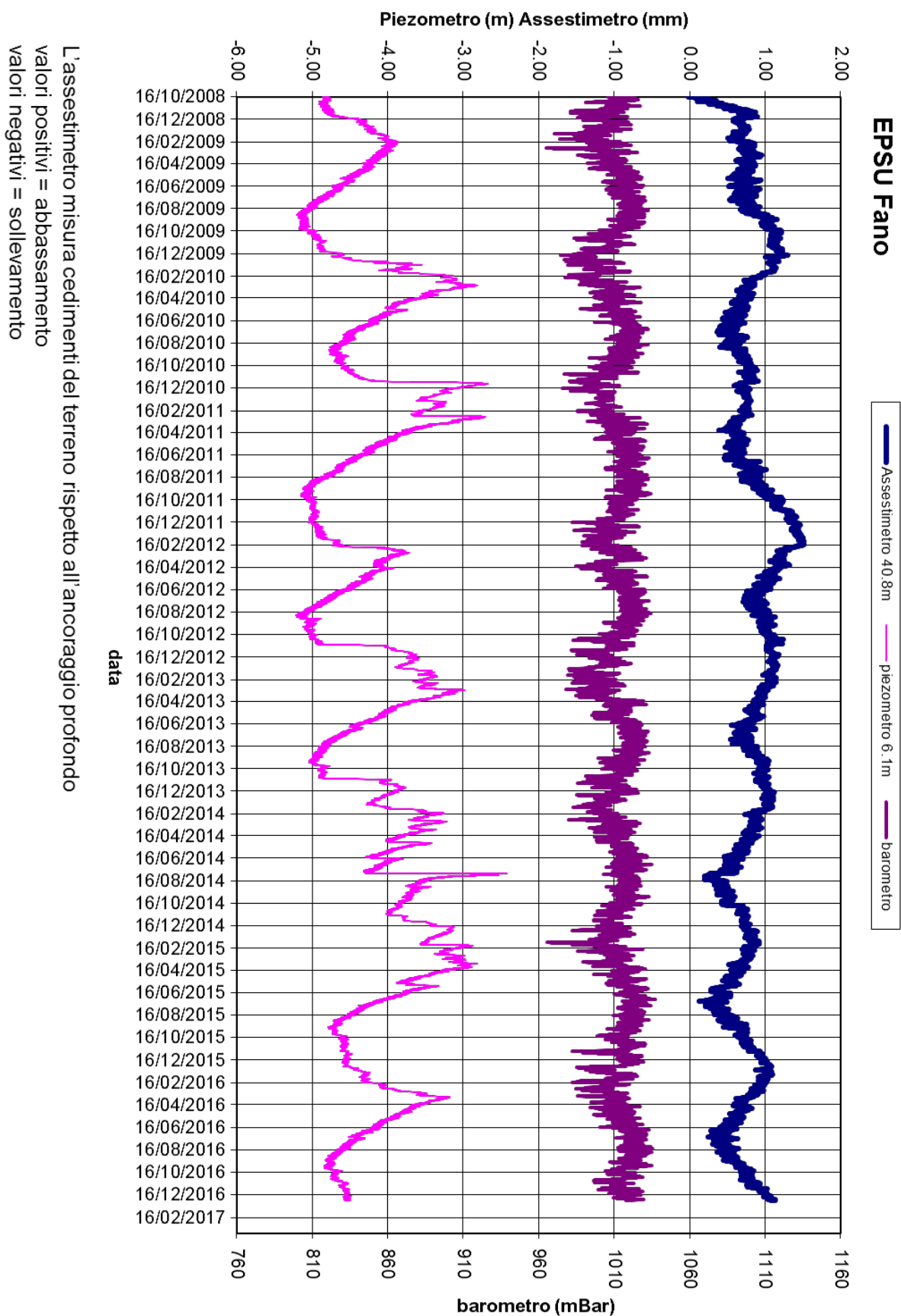


PIEZOMETRO



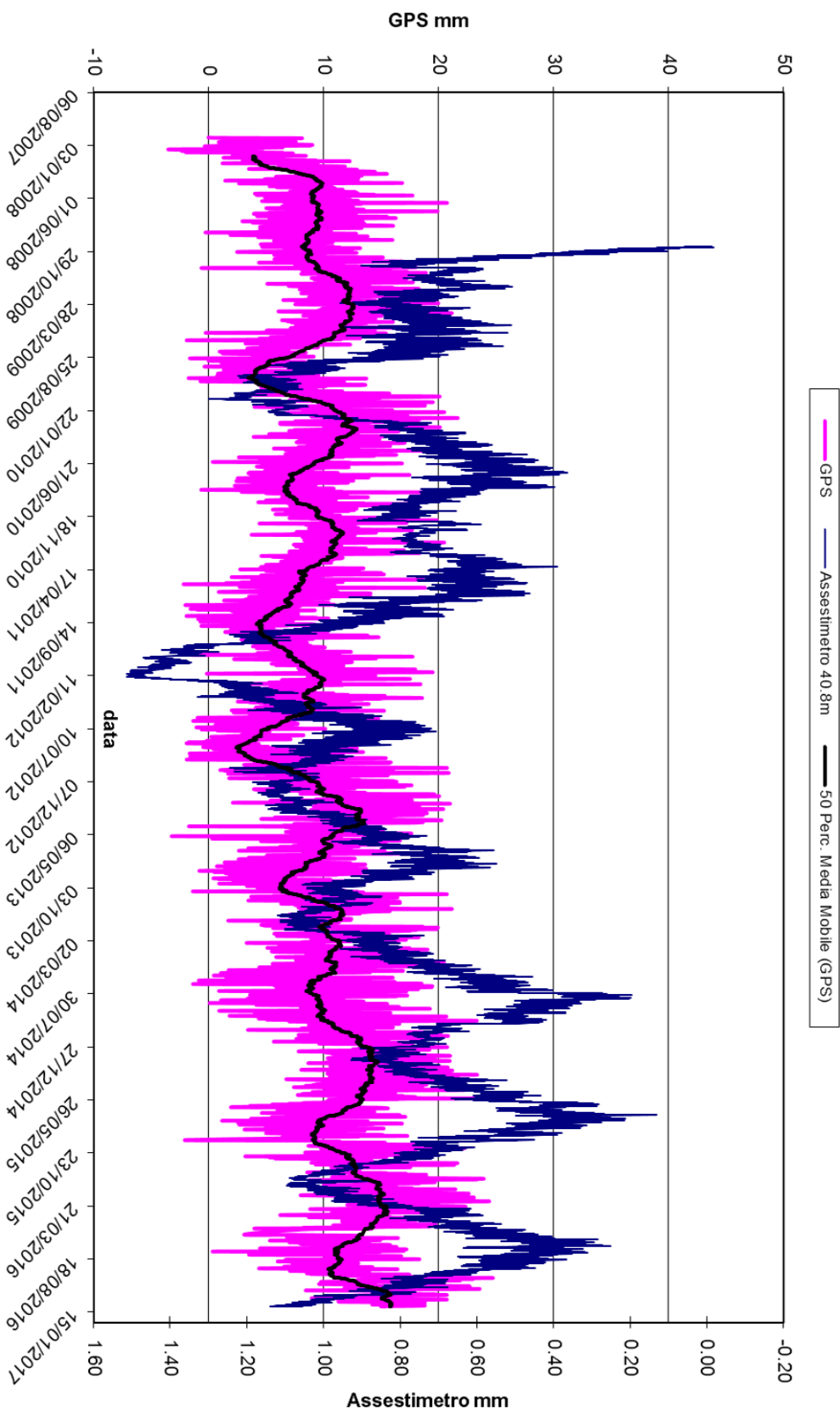
non in scala







FANO - Confronto GPS ed assestimetro superficiale



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



Conclusioni

Dall'insieme dei dati sino ad ora raccolti nelle 3 stazioni EPSU si nota, in generale, una buona correlazione tra l'andamento stagionale della piezometrica e la compattazione del terreno misurata dagli assestimetri.

Tale correlazione è più evidente nel caso di Falconara, dove il piezometro monitora le falde superficiali più sensibili a tutte le variazioni stagionali di piovosità.

Nel caso di Rubicone le variazioni stagionali sembrano essere monitorate solo dai 2 piezometri più superficiali (CGRP-2), mentre quello più profondo (CGRP-1) registra solo deboli variazioni di livello della falda, temporalmente sfasate rispetto all'andamento stagionale delle falde superiori. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo delle 3 EPSU, è anche quello che mostra una tendenza crescente nell'insieme delle misure di compattazione, registrando complessivamente 23,3 mm d'abbassamento totale del terreno in oltre 7 anni di funzionamento.

Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato alla base di uno strato argilloso spesso circa 32 m e scarsamente comprimibile: lo strumento, infatti, nei circa 8 e più anni di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1 mm circa).

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

Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di



compattazione del terreno. In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

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