



## Campo di CLARA NORD

Aggiornamento al 31/12/15

Il campo di Clara Nord è ubicato nell'offshore Adriatico circa 50 km a NE di Ancona, a una profondità d'acqua di circa 75 m, nella concessione B.C13.AS (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
B.C13.AS	27/05/2020	Eni	Eni	51%	Marche
			Edison	49%	

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse principale orientato N-S e si estende per circa 8 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra 900 e 1400 mslm e interessa livelli della serie PLQ della Formazione Carola (Figura 2).

Il campo di Clara Nord è stato scoperto nel 1984 con la perforazione del pozzo Clara Nord 1; nel 1996 sono stati perforati i pozzi Clara Nord 2 e 3 per delimitare la struttura.

Nell'ottobre 1998 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Clara Nord con la perforazione di 5 pozzi 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) dell'ottobre 1998. Tale profilo stimava un recupero di 3460 MSm<sup>3</sup> di gas in 29 anni con un picco di produzione giornaliera di 1300 kSm<sup>3</sup>/g.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è stata pari a 14 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 15 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 2,8 km verso la costa.

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

- compressibilità uniassiale  $C_m = 0,509 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,33$ .



In seguito al Decreto VIA n° 4470 del 7/02/00 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo 1999-2000 si è sviluppato il campo con la perforazione di 5 nuovi pozzi (Clara Nord 4, 5, 6, 7 e 8) da una piattaforma di tipo BEAF. La produzione è stata poi avviata nel dicembre 2000 con una portata iniziale di circa 740 kSm<sup>3</sup>/g.

Nel luglio 2005, è stato trasmesso al Ministero dell'Ambiente il rapporto "Campo di Clara Nord – Aggiornamento / taratura del modello predittivo di subsidenza" (rel. *Eni-INPE n° 94/05 di luglio 2005*).

In tale aggiornamento, il modello statico di giacimento è stato esteso agli acquiferi idraulicamente connessi ai livelli produttivi, ed è stato calibrato (modello dinamico Eclipse) sulla base della storia produttiva del giacimento stesso comprendente tutti i dati disponibili sino al 31/03/05. Con il nuovo modello dinamico di giacimento si è generato un nuovo profilo di produzione che ha stimato le riserve recuperabili a vita intera (24 anni) pari a 1300 MSm<sup>3</sup>, con un calo, quindi, del 62% rispetto allo studio dell'ottobre 1998.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma semianalitico, è stata di 30,7 cm al gennaio 2024; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 8 km verso la costa.

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

- compressibilità uniassiale  $C_m = 9,51 \cdot 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,30$ .

Nel maggio 2007 si è fatta una nuova revisione degli studi statico e dinamico dei campi del *Clara Complex* (Clara Est, Clara Nord, Calpurnia) e del campo di Calipso per valutare anche eventuali effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra i campi stessi.

A tale proposito si è proceduto a:

- costruire un unico modello statico di giacimento per i 4 campi dell'area; modello che è stato esteso anche agli acquiferi idraulicamente connessi ai livelli produttivi;



- simulare il comportamento dinamico di tali campi con un unico modello Eclipse sia per calibrare il modello statico, sia per tener conto di possibili interferenze dinamiche fra i campi stessi. Per la calibrazione si sono utilizzate le informazioni acquisite durante lo sviluppo e tutta la storia produttiva dei sopracitati 4 campi (aggiornata al 31/12/06).

Nel caso di Clara Nord (rel. *Eni-INPE n° 066d-07 del maggio 2007*) tale revisione ha portato a una riduzione del 47% del GOIP totale del campo rispetto al volume inizialmente stimato (*GOIP studio statico dell'ottobre 1998 pari a 4620 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del maggio 2007 pari a 2440 MSm<sup>3</sup>*). Anche questo nuovo modello ha previsto una diminuzione delle riserve producibili a vita intera; il nuovo volume delle riserve, infatti, è risultato di 1006 MSm<sup>3</sup> al 2013, con un calo, quindi, di circa il 71% rispetto alla stima dell'ottobre 1998.

Le riduzioni delle riserve recuperabili a vita intera stimate con gli studi di giacimento del luglio 2005 e maggio 2007 derivano del fatto che si è tenuto conto del reale comportamento produttivo dei pozzi, rivelatosi inferiore alle attese a causa della produzione d'acqua di formazione.

Nel 2010 è stata fatta un'altra revisione dello studio statico e dinamico di giacimento (*rel. Eni-GISE n° 39/10 del dicembre 2010*) per individuare possibili azioni atte a ottimizzare la produzione e il recupero di gas, stante il notevole interesse minerario di livelli formati in prevalenza da alternanze molto fitte di sabbia, silt e argilla ("strati sottili") rinvenuti nel campo e in parte già sviluppati.

Tale studio ha portato a definire un nuovo profilo di produzione con riserve producibili a vita intera (i.e. 2020) aumentate del 42% e ammontanti a 1724 MSm<sup>3</sup>.

Gli interventi d'ottimizzazione ipotizzati nel corso di detto studio sono stati realizzati tra agosto e dicembre 2011 con la perforazione di 4 side track (Clara Nord 4dirA, Clara Nord 8dirA, Clara Nord 6dirA e Clara Nord 7dirA).

Nell'aprile 2013, allo scopo di aggiornare il modello dinamico in seguito agli interventi fatti su Clara Nord e agli sviluppi previsti per ottimizzare il recupero finale dei campi di *Clara Complex* e del campo di Calipso, è stata fatta un'ulteriore revisione degli studi statico e dinamico di tali giacimenti (*rel. GISE-11/2013\_CLARACOMPLEX-Aggiornamento modello di giacimento per modello geomeccanico-Scheda riassuntiva - aprile 2013*).



Nel caso di Clara Nord tale revisione ha portato a un nuovo profilo di produzione con riserve producibili a vita intera al 2020, aumentate del 15% e pari a un volume complessivo di 1972 MSm<sup>3</sup> (Figura 3).

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g) e della produzione cumulativa di gas aggiornata al 31/12/15 (pari a 1610 MSm<sup>3</sup>).

Nella Figura 5 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati con il modello Eclipse dell'aprile 2013 e le pressioni statiche misurate nel livello più rappresentativo del campo (livello PLQ-HH1 e PLQ1-B). Considerato che la percentuale di riserve già prodotte al 31/12/15 è pari al 82% del totale e che il modello Eclipse dell'aprile 2013 riproduce in modo accurato i dati di pressione misurati, si ritiene che le previsioni sul comportamento futuro del campo in termini di produzione e pressione abbiano un buon grado di affidabilità.

Sulla base dei risultati degli studi (statico e dinamico) di giacimento fatti nel corso delle varie revisioni sopra descritte, di volta in volta si sono aggiornate le previsioni di subsidenza del campo Clara Nord e degli altri campi dell'area.

A tale proposito si ricorda che nel maggio 2007 è stato realizzato un unico modello geomeccanico a elementi finiti (FEM - Isamgeo) dei campi del *Clara Complex* e del campo di Calipso (rel. *Eni-INPE n° 074-07 del maggio 2007*).

Le simulazioni effettuate con tale modello avevano portato alle seguenti conclusioni:

- a) per il campo di Clara Nord il valore di subsidenza massima è risultato pari a 40 cm al 2007. L'incremento di subsidenza massima rispetto a quanto stimato nel SIA del 1998 è da imputarsi principalmente ai nuovi valori utilizzati per il coefficiente di compressibilità  $C_m$ , valori maggiori di quelli impiegati nella valutazione del 1998;
- b) l'estensione verso la costa del cono di subsidenza relativo ai 4 campi (*Clara Complex* e Calipso) è risultata sempre d'entità modesta (max. 6 km in corrispondenza del campo di Clara Est) per la presenza di un limite deposizionale dei livelli mineralizzati situato a SW dei campi di Calipso e Clara Est di cui si dirà con più dettaglio in seguito. La distanza minima tra la costa e la linea d'isosubsidenza di 2 cm è risultata, pertanto, pari a 32 km. E' stata anche eseguita un'analisi di sensitività sulle proprietà geomeccaniche considerando due diversi livelli di probabilità per la compressibilità  $C_m$ , corrispondenti ai quantili 97.5% e



2.5% della relazione regionale proposta da Hueckel *et al*<sup>1</sup>. Da tale analisi si è concluso che i valori massimi di subsidenza stimati per il giacimento di Clara Nord ricadevano nell'intervallo 12÷56 cm rispetto al valore di 40 cm del caso più probabile. Per maggiori dettagli su tali scenari si rimanda alla sopracitata relazione rel. *INPE n° 074-07 del maggio 2007*.

Nel corso del 2010, nell'ambito della documentazione tecnica preparata per l'istanza concernente il progetto di sviluppo della vicina struttura di Elettra, si è aggiornato il modello geomeccanico di tutta l'area al fine di prevedere l'eventuale subsidenza indotta dalla coltivazione dell'insieme dei 5 campi in essa compresi (*Clara Complex*, Calipso ed Elettra). Tale previsione è stata fatta con il modello FEM Isamgeo relativamente a tre diversi scenari di compressibilità (rel. *Eni-Tera: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - agosto 2010*).

Le simulazioni con modello sono state protrate fino al 2054 onde tener conto degli effetti dell'evoluzione della pressione nelle zone mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione. Per lo scenario di riferimento ( $C_{m\_Med}$ ), ritenuto il più probabile sulla base della taratura del coefficiente di compressibilità con i dati delle misure dei CGPS (installati dal 2007) sulle piattaforme dell'area, la subsidenza massima prevista per Clara Nord è stata stimata in 32 cm al 2012. Per quanto riguarda la distanza dalla costa della curva d'isosubsidenza di 2 cm, corrispondente alla massima estensione del cono di subsidenza relativo ai 5 campi, questa è risultata essere di circa 32 km.

Un ulteriore aggiornamento/taratura del modello geomeccanico del 2010 è stato fatto nel dicembre 2011, previa revisione del modello 3D Eclipse di giacimento dei campi dell'area (*Clara Complex*, Calipso ed Elettra). Quest'ultima revisione si è resa necessaria per tener conto sia del nuovo progetto di sviluppo "Clara NW" che prevede la perforazione di 4 nuovi pozzi in corrispondenza di una culminazione secondaria (NW) di Clara Est, sia dei nuovi dati disponibili a seguito della campagna di workover del 2011 sui pozzi dei campi di Calpurnia e di Clara Nord. Nel caso di Clara Nord il nuovo studio di giacimento ha portato a una con-

---

<sup>1</sup> T. Hueckel, G. Cassiani, J. H. Prévost, and D. A. Walters, Field derived compressibility of deep sediments of the northern Adriatic, in Land Subsidence – Special Volume, Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Symp. on Land Subsidence, P. R. China, 23-28 Oct. 2005.



ferma del GOIP totale del campo e delle riserve producibili a vita intera rispetto alla valutazione fatta al dicembre 2010.

A seguito di questi nuovi aggiornamenti si è voluto, inoltre, valutare gli effetti di eventuali interazioni di tipo idraulico e/o meccanico fra campi del *Clara Complex*, di Calipso e di Elettra (rel. *Eni-Tera: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - dicembre 2011*). Nel corso delle simulazioni del modello geomeccanico si sono considerati 3 possibili scenari per il coefficiente di compressibilità ( $C_m$ ) che a loro volta hanno generato altrettanti scenari previsionali di subsidenza, i cui risultati oscillano nell'intorno di un valore medio all'interno di una banda di confidenza. Per lo scenario ritenuto più probabile ( $C_{m\_Med}$ ), la subsidenza massima per il campo di Clara Nord è stata stimata in 48 cm (in corrispondenza della stazione CGPS installata in piattaforma) a fine produzione (2020).

Per lo scenario ( $C_{m\_Upper}$ ) più pessimistico e per tutti gli altri scenari considerati nello studio la linea d'isosubsidenza dei 2 cm si è sempre mantenuta a una distanza dalla costa superiore ai 32 km.

A supporto di un nuovo progetto di sviluppo denominato "Clara SE", che prevede l'installazione di una nuova piattaforma di produzione e la perforazione di due nuovi pozzi (Clara Est14 dir e Clara Est15 dir) per l'ottimizzazione della coltivazione di alcuni livelli del campo (serie PLQ- F.ne Carola), è stato nuovamente aggiornato nel corso del 2013 il modello dinamico di giacimento (rel. *Eni-GISE n.11/2013: Clara Complex – campi: Calipso-Calpurnia-Clara Est-Clara Nord-Elettra. Aggiornamento del modello di giacimento per modello geomeccanico. Scheda Riassuntiva aprile 2013*).

Come fatto in precedenza, anche in quest'ultimo caso l'aggiornamento del modello di giacimento ha riguardato i campi del *Clara Complex*, di Calipso ed Elettra al fine di tener conto delle possibili interazioni di natura idraulica e meccanica fra gli stessi. Un nuovo modello geomeccanico a elementi finiti (rel. *Eni-Tera: Campi del Clara Complex, (con il nuovo sviluppo "Clara Sud-Est"), Calipso ed Elettra - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - settembre 2013*) è stato poi finalizzato per valutare l'entità della subsidenza e l'estensione del relativo cono indotti dalla coltivazione dei campi sopracitati.



Ancora una volta le simulazioni fatte hanno preso in esame tre diversi scenari di compressibilità: i relativi risultati sono riportati in Tabella 1 per gli anni ritenuti più significativi durante e dopo la vita produttiva dei campi. Lo studio, infatti, è stato protratto fino al 2065 (fine simulazione) in modo da considerare l'effetto dell'evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione.

**Tabella 1 - Risultati finali: massima subsidenza (espressa in cm) per tutti gli scenari**

Scenario	2013	2021	2026	2035	2065
Cm_Med	51	68	67	65	62
Cm_Upper	68	92	90	88	84
Cm_Lower	11	15	15	15	16

Nel caso ritenuto più probabile (scenario di compressibilità Cm\_Med), la subsidenza massima prevista per tutta l'area in esame si verifica proprio in corrispondenza del campo di Clara Nord ed è pari a circa 68 cm nel 2021; tale valore si riduce a circa 62 cm alla fine della simulazione (Figura 6).

Anche in questo nuovo aggiornamento del modello geomeccanico la linea d'isosubsidenza dei 2 cm si mantiene per tutti gli scenari considerati a una distanza dalla costa sempre superiore a 32 km (Figura 7).

Il fatto che tutti gli studi geomeccanici sino ad ora eseguiti per valutare i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra vari i campi considerati concordino nel prevedere che il fenomeno della subsidenza si esaurisca a grande distanza dalla costa (circa 32 km), ha una spiegazione nel particolare assetto geologico dell'area stessa, come del resto già accennato in precedenza.

Tale assetto, rappresentato nello sketch stratigrafico-strutturale di Figura 8 e basato su un'interpretazione sismica controllata con dati di pozzo, definisce uno schema di rapporti verticali e laterali tra le formazioni che costituiscono i giacimenti (reservoir e copertura) e il substrato che limitano l'estensione del fenomeno subsidenziale verso costa.



Infatti, lungo la direttrice esaminata (WSW-ENE) in direzione della costa, i livelli mineralizzati si chiudono per limite deposizionale in onlap sui livelli argillosi della F.ne Santerno che rappresenta un'importante barriera idraulica verso costa.

Il substrato dell'offshore anconetano presenta, inoltre, una successione carbonatica pre-piocenica posta talora a poche centinaia di metri di profondità – (pozzo Brezza 1 - Figura 8) che localmente affiora sulla costa (promontorio M.te Conero) in corrispondenza di alti strutturali appenninici, mentre la successione terrigena di copertura è relativa a intervalli stratigrafici differenti dalle zone reservoir del *Clara Complex* e campi limitrofi. Tutto ciò limita sensibilmente la possibilità che si possa verificare una depressurizzazione e conseguente compattezza dei sedimenti sulla costa e nelle fasce antistanti al litorale.

E' del tutto comprensibile, quindi, che:

- sia per la presenza di tale barriera idraulica di tipo sedimentologico-strutturale interposta tra il complesso dei giacimenti in esame e la costa,
  - sia per l'elevata distanza dei giacimenti stessi dalla costa (ad es. 50 km per Clara Nord),
- in tutte le previsioni il fenomeno di subsidenza si esaurisca rapidamente in direzione della costa e, quindi, la distanza del cono di subsidenza dalla costa stessa risulti elevata (almeno 32 km).

Tra la fine del 2007 e l'inizio del 2008 è stato eseguito un rilievo batimetrico multi-beam di un'area (superficie 1662 km<sup>2</sup>) comprendente i campi del *Clara Complex* e di Calipso ed Elettra. Per Clara Nord, tale rilievo ha consentito di evidenziare una zona di disturbo relativamente limitata arealmente e coincidente più o meno con la zona di culmine del giacimento pur in presenza di un andamento irregolare del fondale marino (Figura 9). Tale disturbo altimetrico, probabilmente da collegarsi con la coltivazione del giacimento stesso, raggiunge al massimo un valore di 20 cm, inferiore, quindi, ai 40 cm previsti dal modello di subsidenza del 2007 (rel. *Eni - Università di Urbino dell'agosto 2008 trasmessa a MATTM in data 11/11/08*).



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 dei tecnici 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 del nostro 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.

Nel tratto di costa antistante alla piattaforma di Clara-Nord, con l'acquisizione della campagna 2014, sono in totale disponibili 6 campagne di livellazione fatte negli anni 2006, 2007, 2008, 2009, 2011 e 2014. Si tratta complessivamente di una serie di misure ancora poco consolidata; il loro esame può consentire valutazioni d'ordine generale in merito alla velocità media di subsidenza del periodo 2006-2014, ma non può ancora essere considerato del tutto esaustivo ai fini del monitoraggio della costa che, comunque, è garantito da altri tipi di rilievo.

Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura e con il consolidamento dei dati CGPS e dei rilievi SAR, sarà possibile fare interpretazioni più sicure dei dati di livellazione anche per il tratto a sud di Pesaro.

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

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

Per la tratta da Pesaro a P.to Sant'Elpidio le misure sui singoli capisaldi sono state elaborate tramite regressione lineare; le corrispondenti velocità medie annue d'abbassamento del suolo  $V_a^2$  sono state poi raggruppate nelle seguenti 5 classi:

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

---

<sup>2</sup> Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie) sono rappresentate con valori negativi. Per comodità d'interpretazione, però, nell'elenco che segue le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.

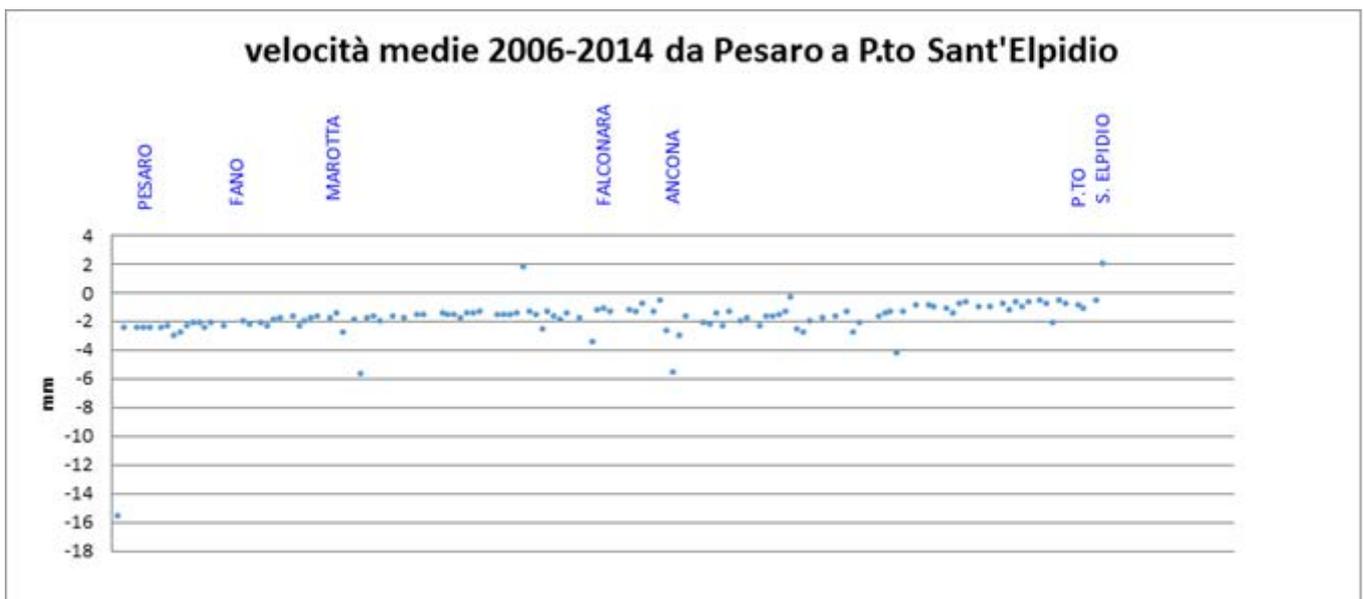


- classe 0: include i capisaldi con  $V_a < 0$  (sollevamento del suolo).

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 2006-2014 mostra per l'area in esame un quadro di generale abbassamento (Figura A), caratterizzato, però, da valori poco significativi, ove si consideri che il 93% dei punti analizzati ricade nella "classe 1" con una media pari a 1,6 mm/a.

I capisaldi per i quali si osservano alte velocità d'abbassamento (es. 15,6 mm/a nella zona di Pesaro), oppure fenomeni d'innalzamento del suolo (es. - 2 mm/a nella zona di P.to Sant'Elpidio) sono scarsi di numero (1%) e isolati: sono, quindi, poco significativi dal punto di vista areale. Non si possono escludere fenomeni localizzati dovuti a instabilità dei capisaldi stessi, che saranno comunque oggetto di verifica nelle prossime campagne di misura.

**Figura A – Tratta Pesaro-Sant'Elpidio: Misure di livellazione (periodo 2006-2014)**



Il confronto tra i dati CGPS delle stazioni ubicate nell'area in esame (Fano, Falconara e P.to San Giorgio) con le misure delle livellazioni mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, sono assolutamente compatibili.



Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (settembre 2015) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice 1) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 10).

Le attività di monitoraggio sono state integrate negli ultimi anni con 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 stazione 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 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 tre 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.



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 Clara Nord, 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 (Figura 11) - sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato in Tabella 2.

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

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/a	D-H mm/a
Clara-Nord	11,22	26,15	-22,49	10,90	26,21	-23,62	0,32	-0,06	-1,13

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 di 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 Clara Nord, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>3</sup> misurata dal CGPS pari a -24 mm/a

---

<sup>3</sup> La "subsidenza totale CGPS" rappresenta in questo caso l'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma su cui è installato il CGPS. A determinare tale "subsidenza totale" concorrono vari fenomeni: la compattazione di strati profondi per estrazione di gas (subsidenza antropica), movimenti tettonici e costipazione naturale dei sedimenti (subsidenza naturale), compattazione dei sedimenti più superficiali a fondo mare per effetto del peso della piattaforma. Quest'ultimo fenomeno è evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa.

(Figura 11 e Figura 13), in leggero aumento rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-22.5 mm/a al 2014).

Tale stima della velocità media di subsidenza totale, ottenuta per regressione lineare di tutti i dati della serie storica di misure CGPS rilevate sulla piattaforma di Clara Nord, non può cogliere, evidentemente, eventuali variazioni di velocità presenti in detta serie storica.

In quest'ultima, infatti, si possono individuare due distinti periodi (Figura 12):

- un periodo che va dall'installazione del CGPS (novembre 2007) al luglio 2011, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -7,5 mm/a;
- un periodo che va dal dicembre 2011 al dicembre 2015, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -39,0 mm/a.

Il cambio di pendenza (i.e. velocità) può essere messo in relazione ai risultati della campagna di work-over eseguita a partire dall'agosto del 2011.

Si segnala che eventuali differenze nelle stime delle velocità, che si possono verificare rielaborando in epoche successive i dati GCPs, dipendono dal fatto che, l'aggiornamento delle serie storiche comporta sia la possibilità di stimare un modello periodico più attendibile, sia la ridefinizione degli outliers, che sono determinati mediante il test a tre sigma su tutta la serie storica esistente.

I valori di subsidenza stimati con il modello geomeccanico del settembre 2013 per i campi del *Clara Complex*, di Calipso ed Elettra sono stati confrontati con quelli misurati dalle stazioni CGPS installate sulle rispettive piattaforme di produzione, senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale. Per il campo di Clara Nord, si può notare come il modello geomeccanico preveda un andamento della subsidenza maggiore, quindi più conservativo, rispetto a quanto misurato dal CGPS (Figura 14).

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dai campi del *Clara Complex*, in particolare da Clara Nord, e dai campi di Calipso e di Elettra possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.



Si segnala infine che:

- a) in Figura 15 viene presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 16 viene presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

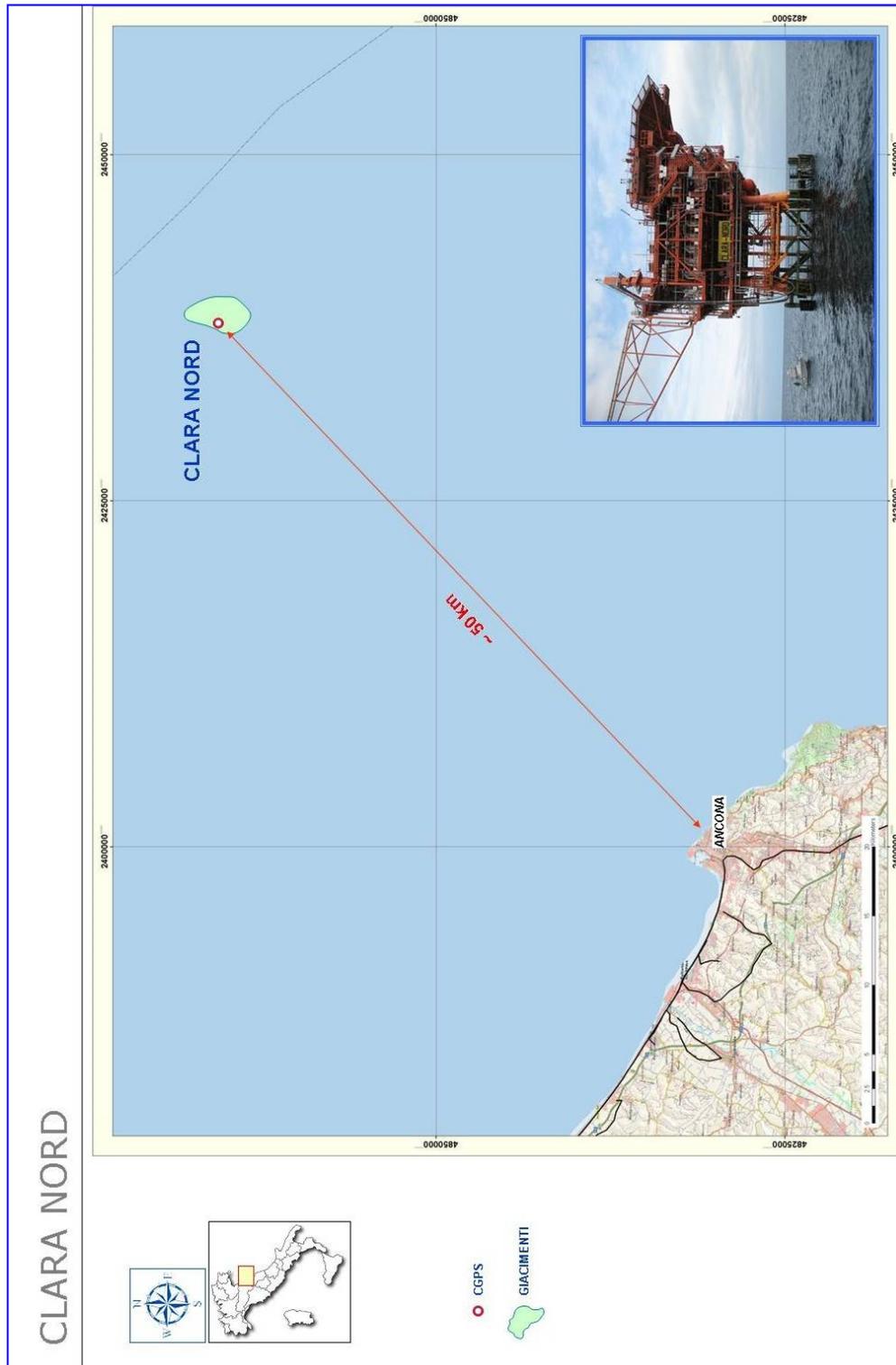
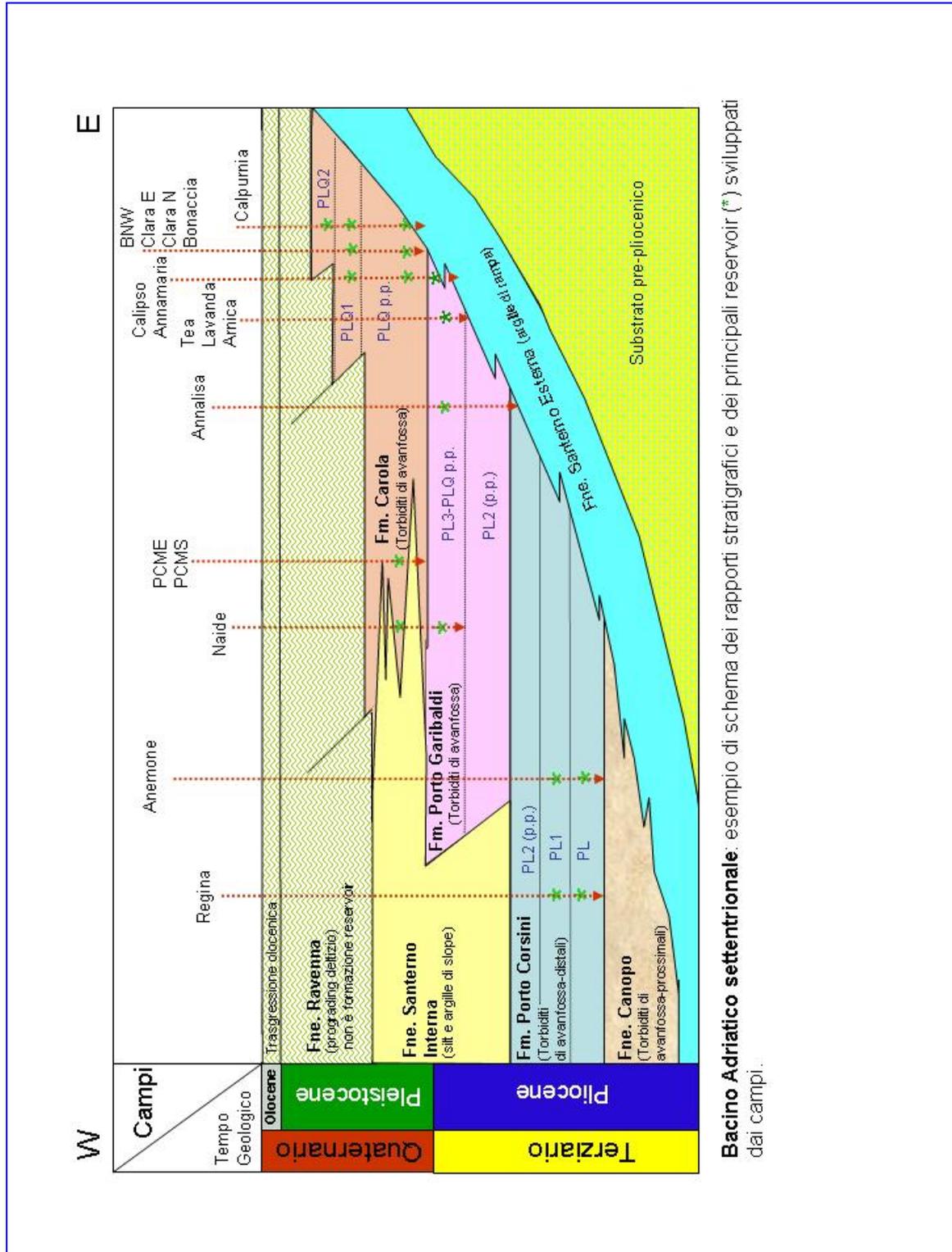


Figura 1 - Ubicazione del Campo di Clara Nord



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

Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI CLARA NORD					
ANNO	Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2000	4	4	4	4	0%
2001	244	244	248	248	13%
2002	205	205	453	453	23%
2003	169	169	622	622	32%
2004	129	129	750	750	38%
2005	82	82	832	832	42%
2006	56	56	888	888	45%
2007	31	31	919	919	47%
2008	18	18	938	938	48%
2009	13	13	951	951	48%
2010	10	10	961	961	49%
2011	50	50	1011	1012	51%
2012	288	288	1300	1299	66%
2013	159	230	1458	1529	74%
2014	112	142	1570	1671	80%
2015	40	102	1610	1773	82%
2016		75		1848	
2017		56		1904	
2018		41		1944	
2019		17		1962	
2020		11		1972	
2021					
2022					
2023					
2024					
2025					
2026					
2027					
2028					
2029					
2030					
2031					
2032					

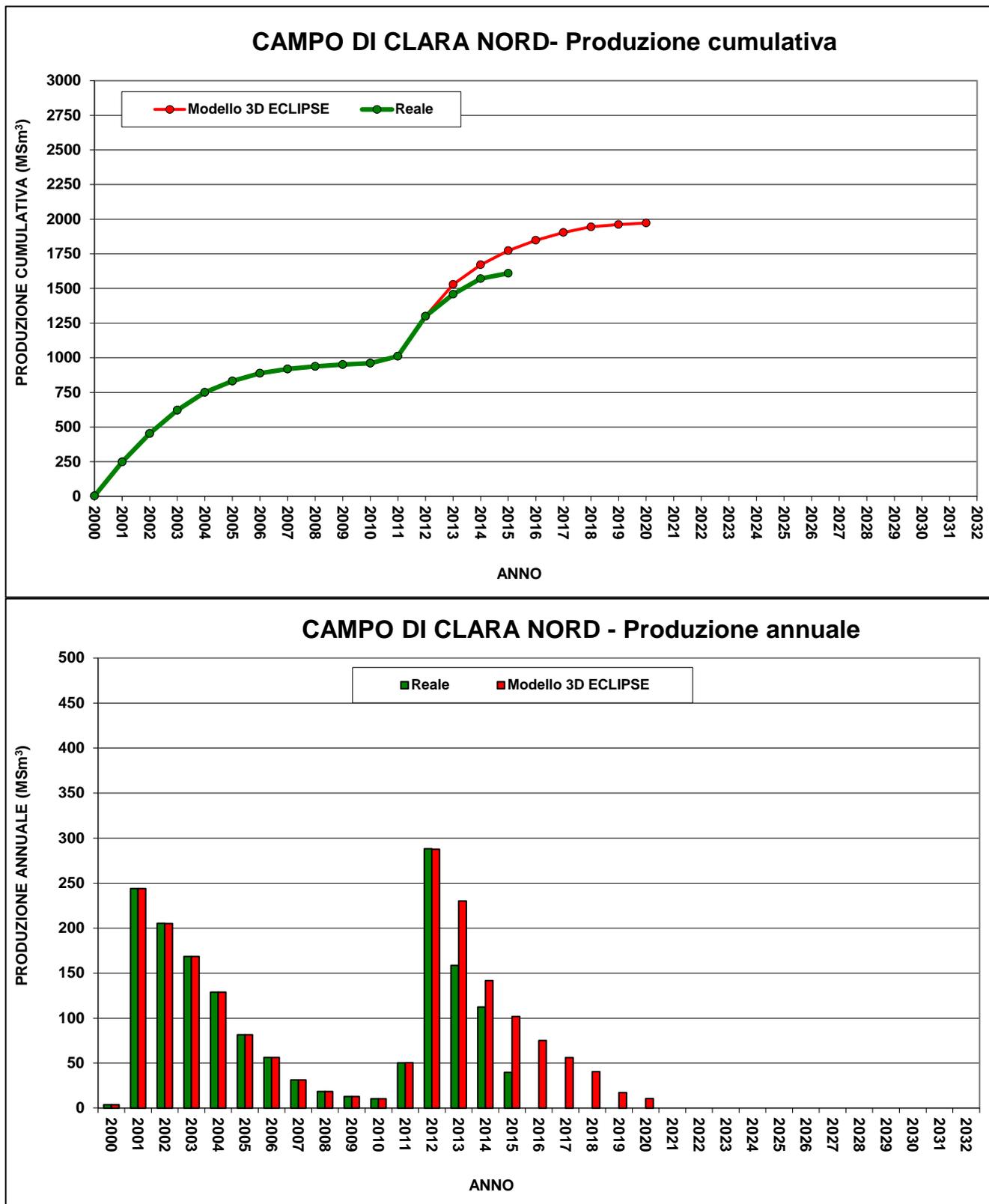


Figura 3 – Campo di Clara Nord: tabella e grafico di produzione vs. modelli Eclipse (aprile 2013)

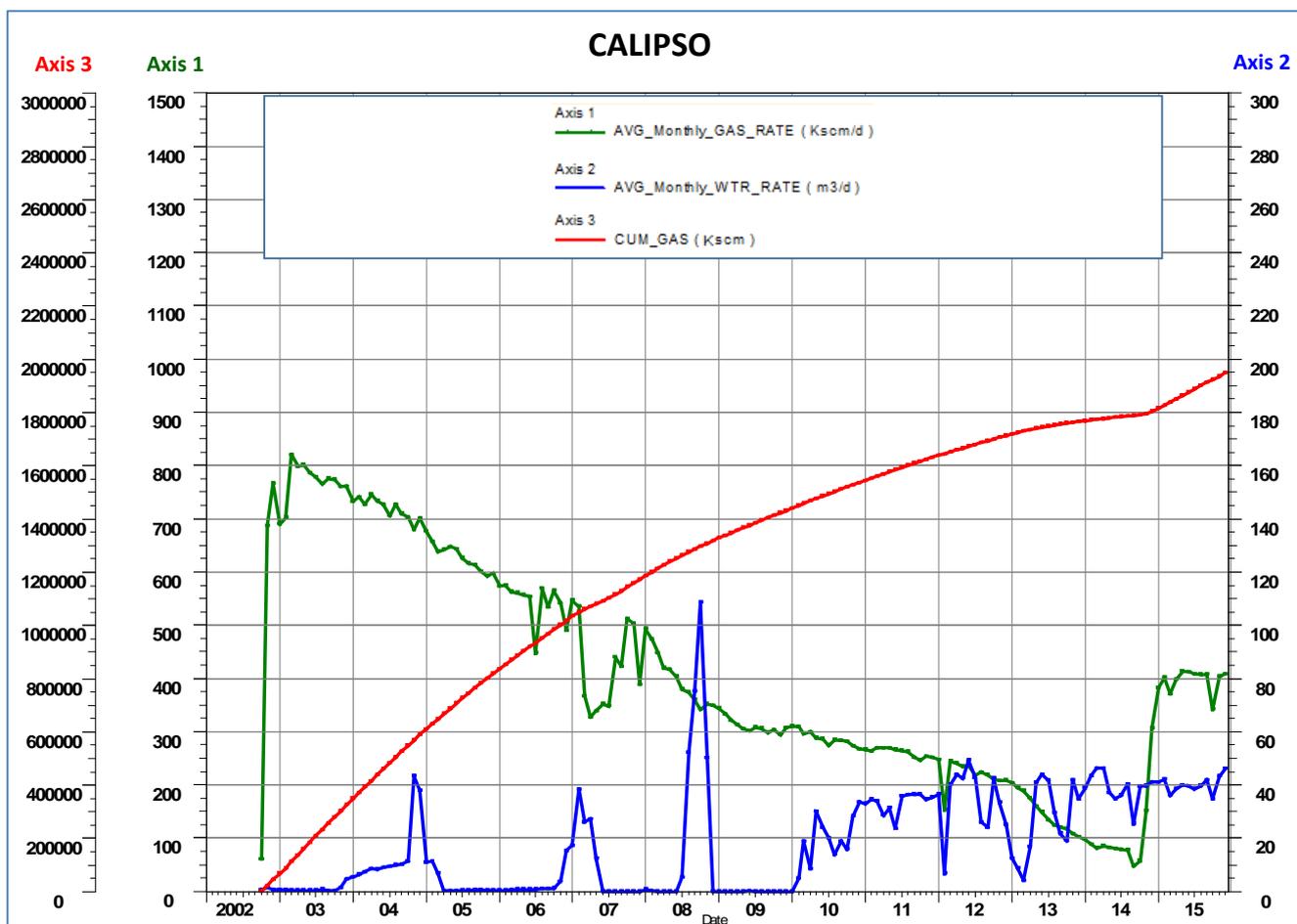
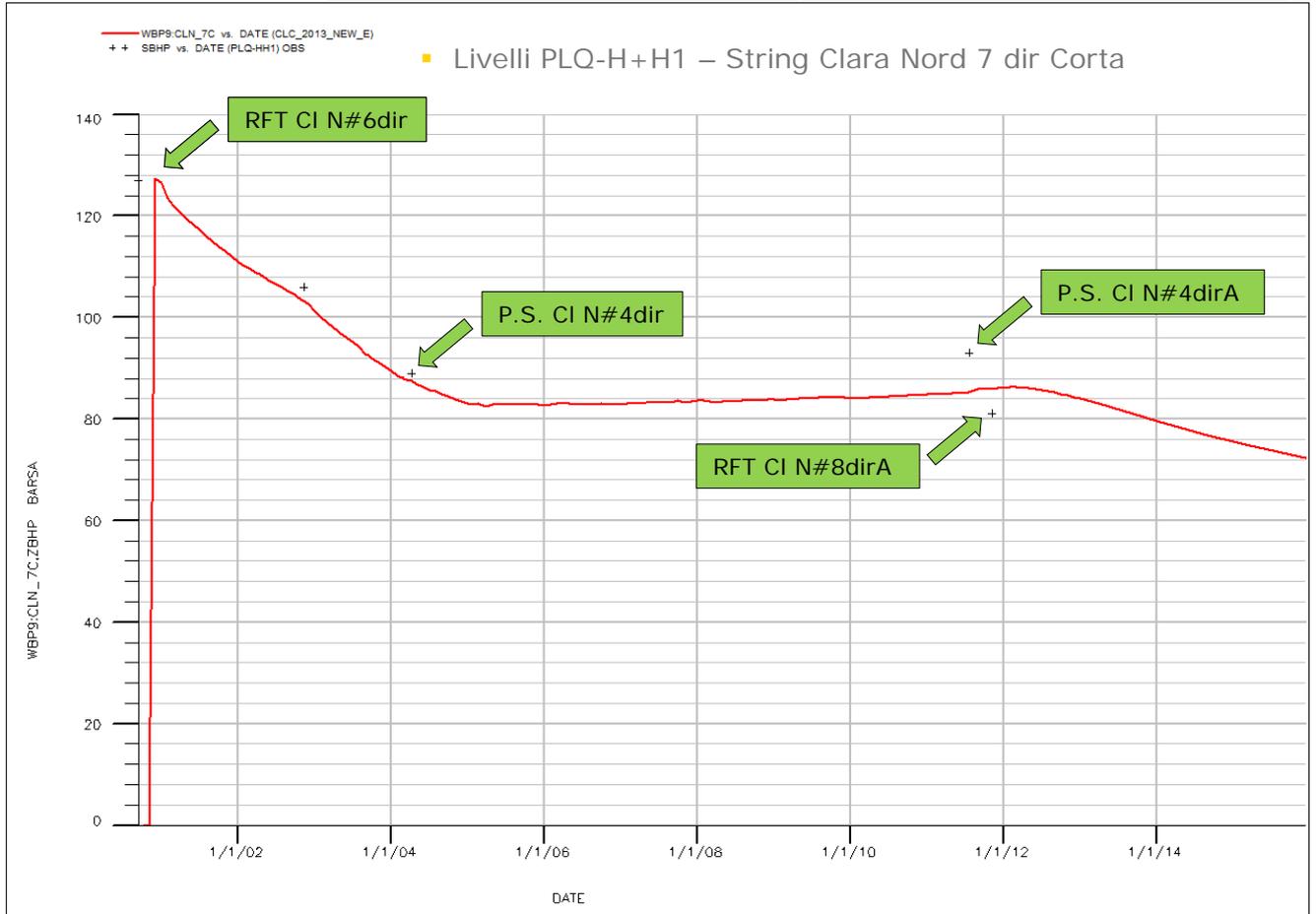


Figura 4 – Campo di Clara Nord: grafico di produzione storica



## CAMPO DI CLARA NORD

Data	Livelli PLQ-H+H1			Livello PLQ1-B		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
11/09/2000	127	6 Dir		93	6 Dir	
10/11/2002	106		7 C			
11/04/2004	89		4 C			
24/07/2011	93	4 Dir A		93	4 Dir A	
20/09/2011				90	6 Dir A	
07/11/2011	81	8 Dir A		88	8 Dir A	
11/12/2013				89		4 C
30/11/2014				90		4 C
22/09/2015				92		4 C



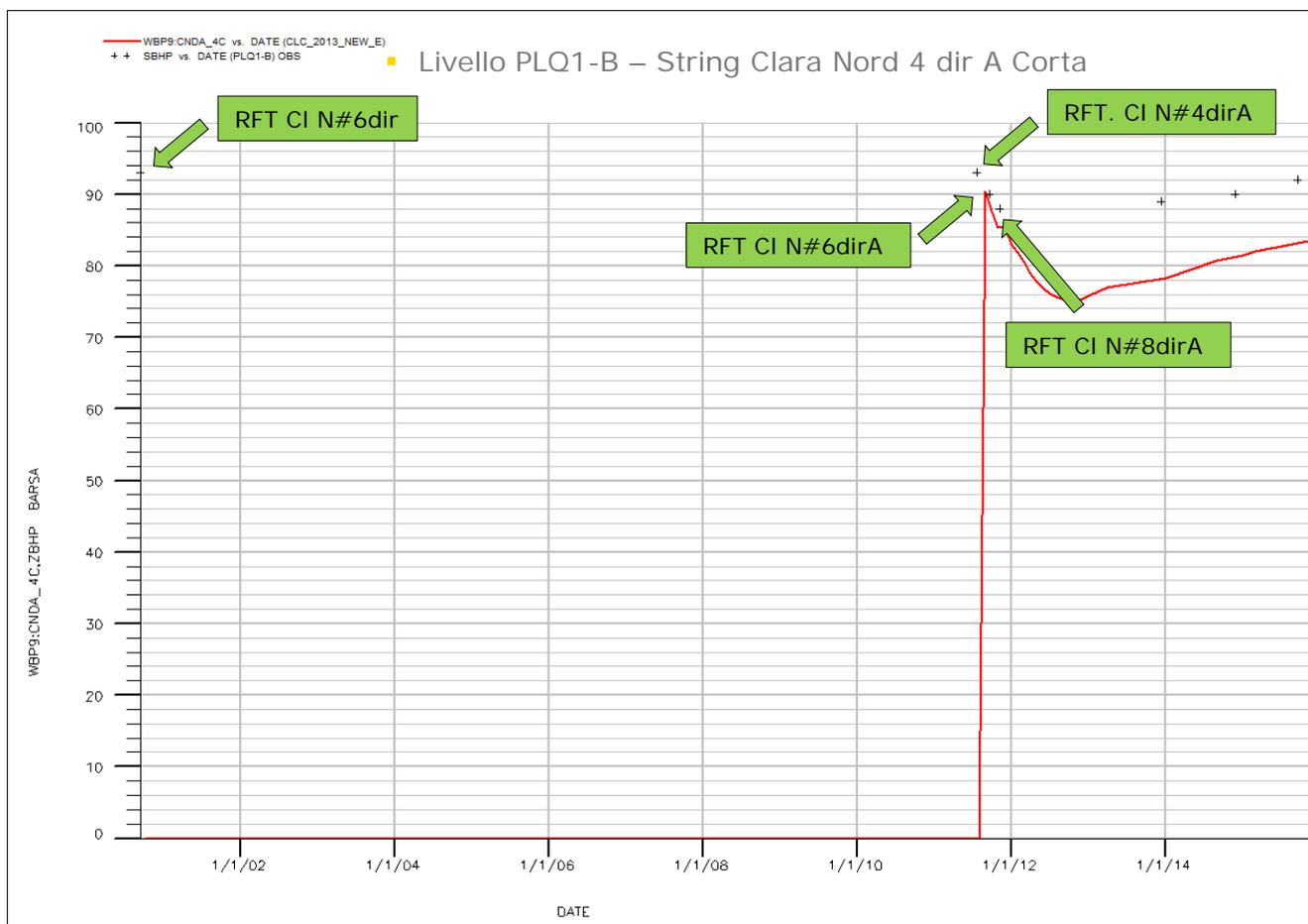


Figura 5 – Campo di Clara Nord: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse (livelli PLQ-HH1 e PLQ1-B)

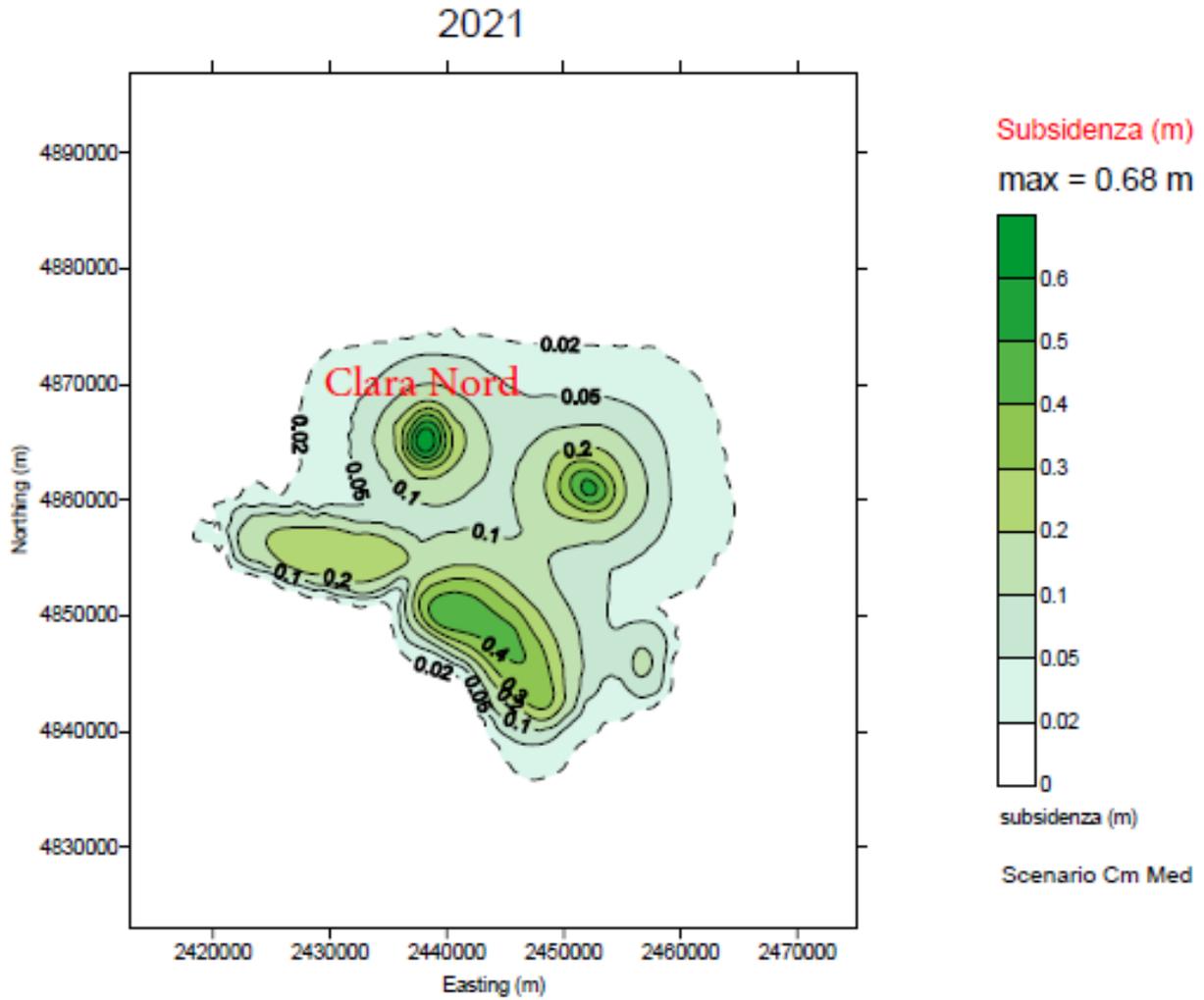


Figura 6 - Modello geomeccanico (settembre 2013): curve d'isosubsidenza per lo scenario di riferimento C<sub>m</sub>\_Med (subs. max. su Clara Nord: 68 cm @ 2021)

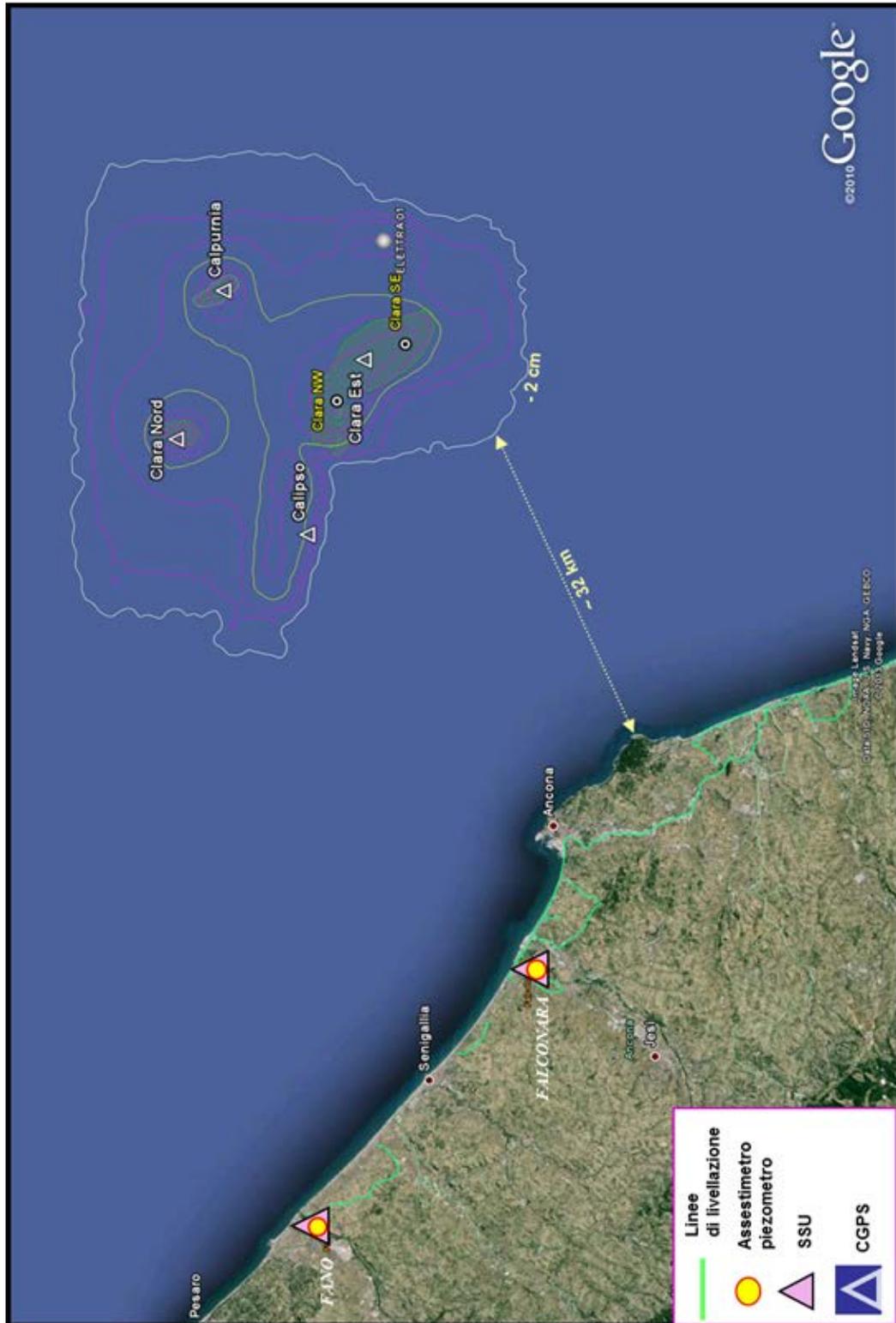


Figura 7 – Modello geomeccanico (settembre 2013): curve d'isosubsidenza per lo scenario di riferimento (caso  $C_m$ \_Med @ 2065)

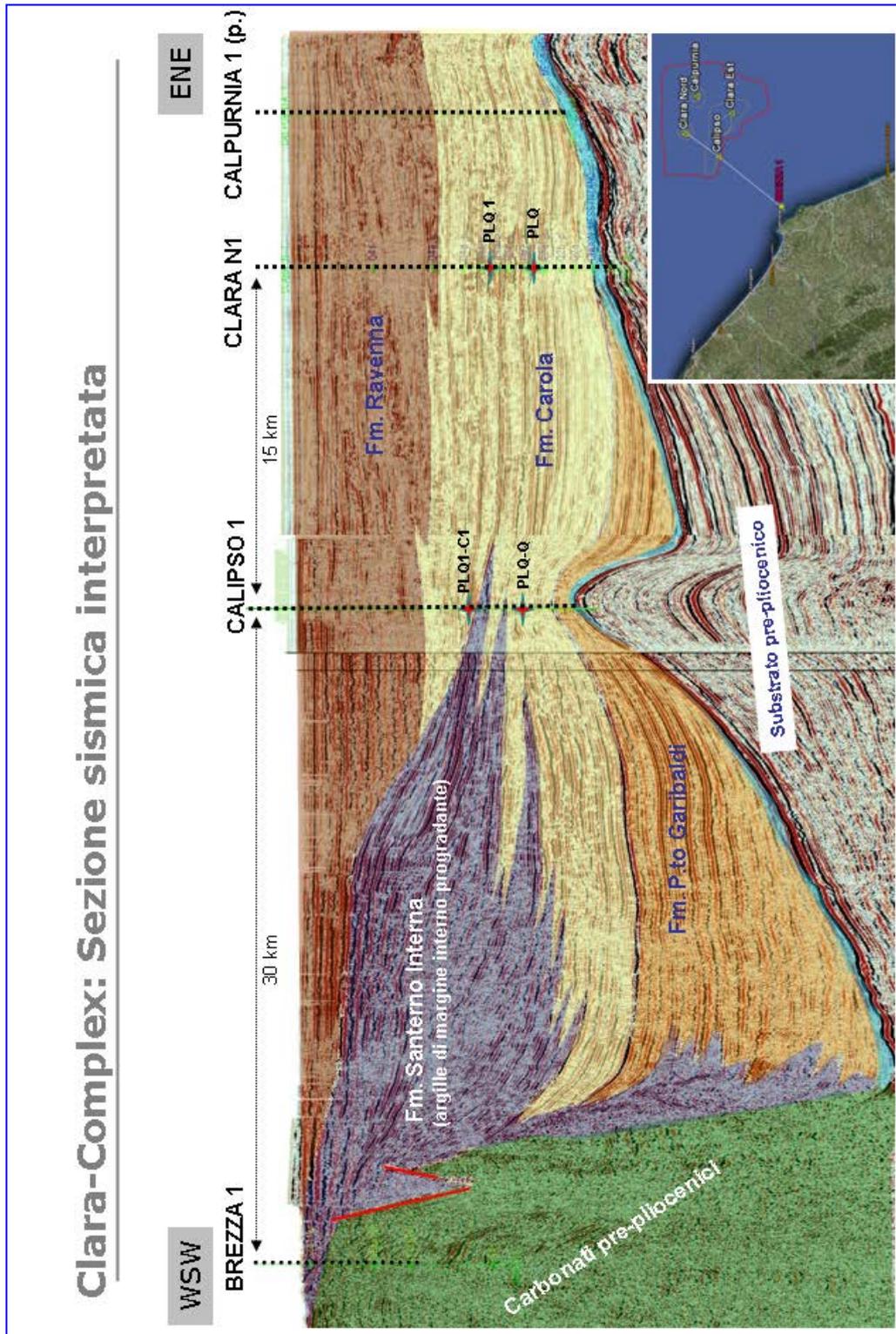
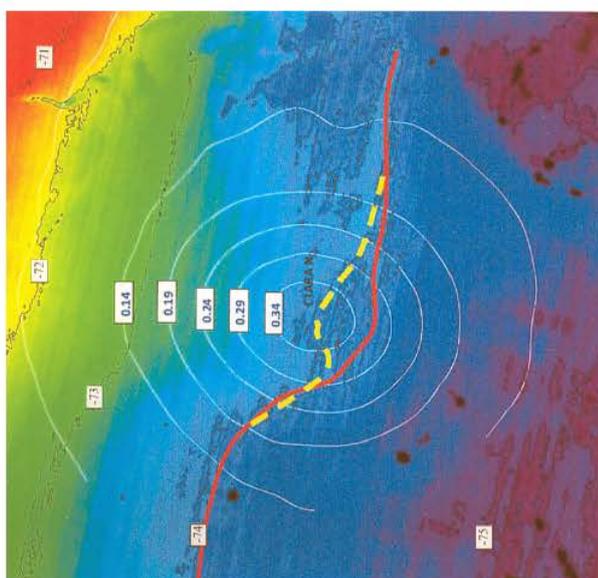


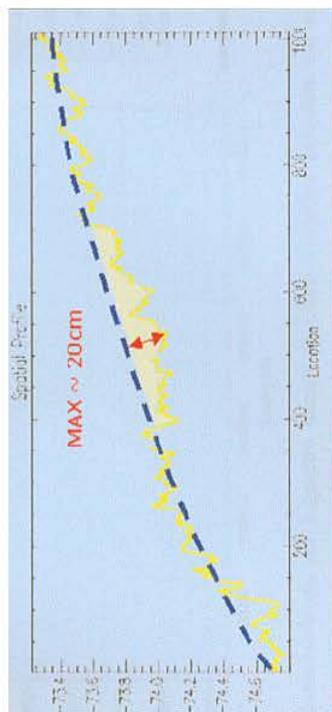
Figura 8 - Sezione sismica interpretata



BATIMETRIA CLARA-N



a) Anomalia batimetrica evidenziata dall'andamento dell'isobata -74m (tratteggio in giallo) in relazione con la locale subsidenza indotta dallo sfruttamento del campo di Clara N



b) Differenza tra un profilo batimetrico rilevato attraverso la zona di anomalia (traccia azzurra) con il profilo interpolato più alto (tratteggio) nell'ipotesi di mancanza del disturbo batimetrico

Figura 9 – Campo di Clara Nord: confronto tra batimetria e modello geomeccanico (maggio 2007):  
curve d'isosubsidenza per lo scenario di riferimento (Caso C<sub>m</sub>\_Med@ 2065)

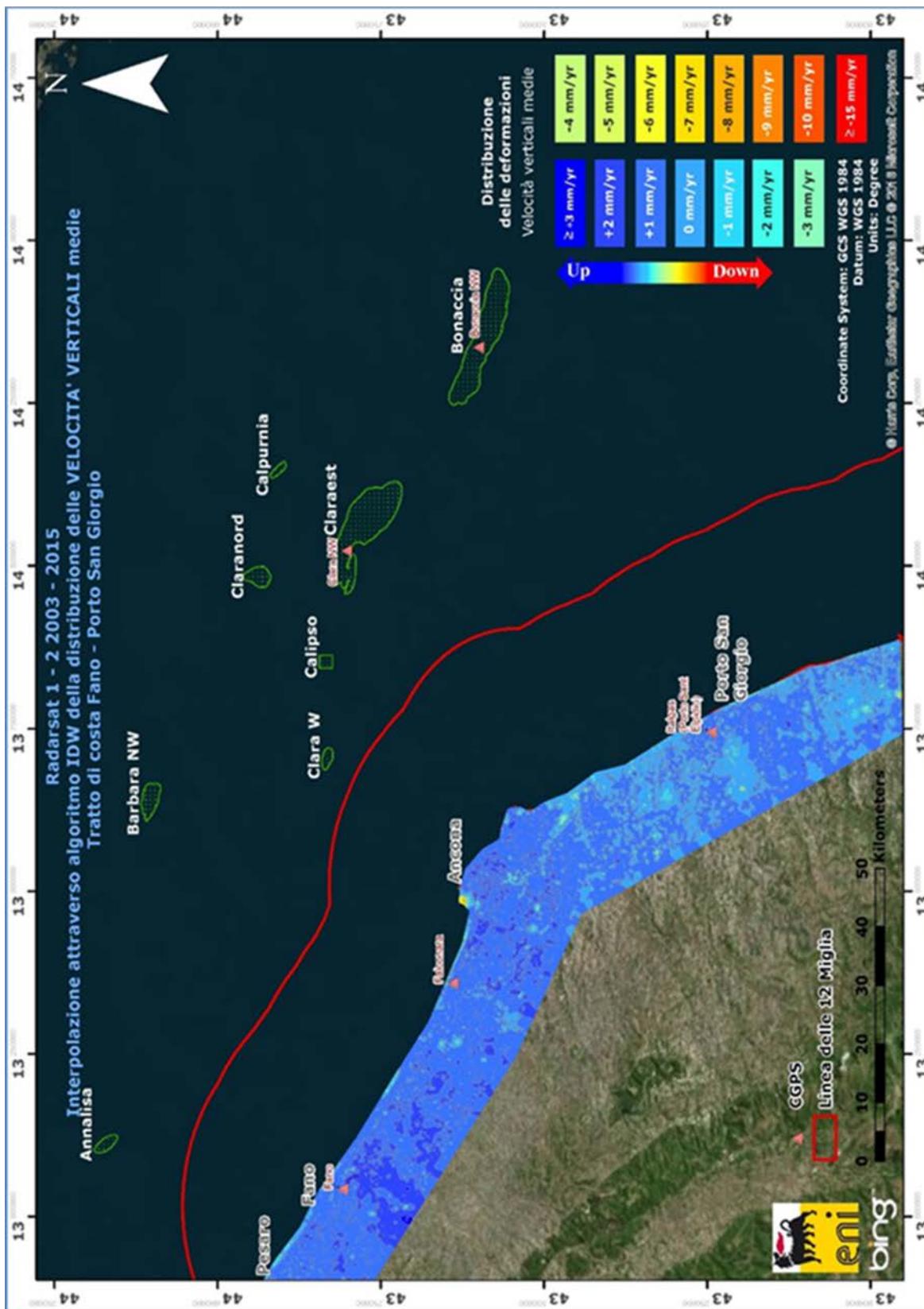


Figura 10 – Campo di Clara Nord: analisi dati SAR dal 2003 al 2015

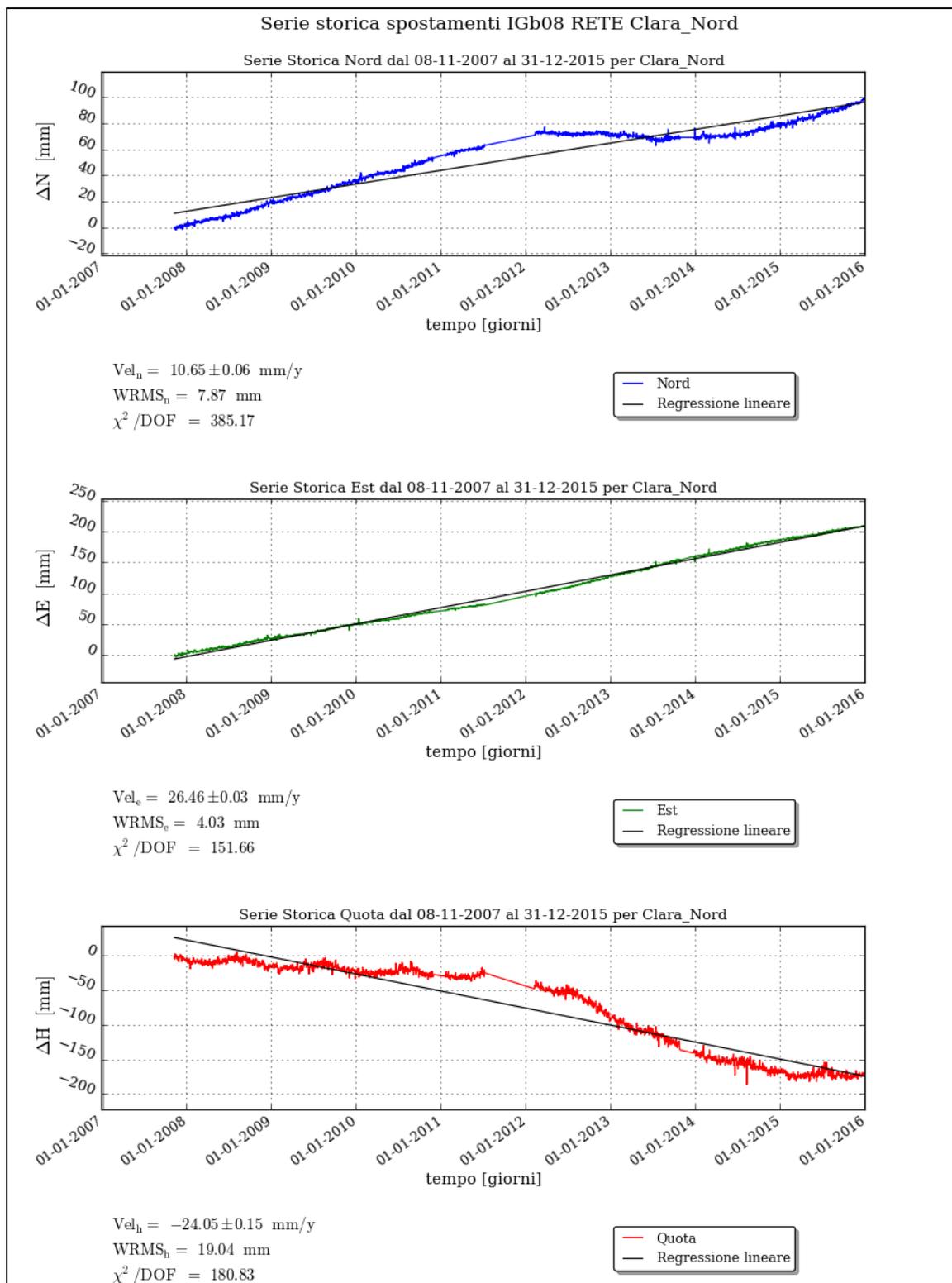
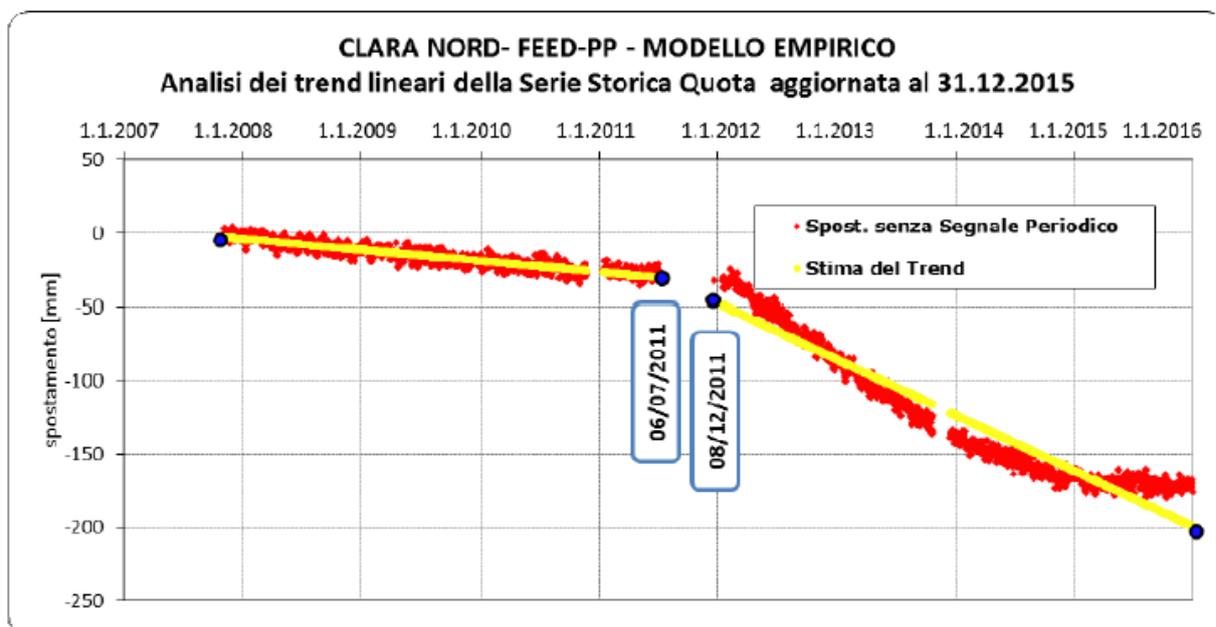


Figura 11 – Campo di Clara Nord: serie storiche piano-altimetriche CGPS



FEED PP - MODELLO EMPIRICO			
Periodo	velocità	sigma	
-	[mm/y]	[mm/y]	
08/11/2007 - 06/07/2011	-7.5	0.1	
08/12/2011 - 31/12/2015	-39.0	0.2	

**Note:** La piattaforma in cui è installata la stazione CGPS Clara Nord ha avuto una attività di work-over nel periodo luglio 2011-febbraio 2012. Nonostante gli apparati siano rimasti alimentati e quindi in acquisizione, alcuni dati con qualità degradata non sono stati utilizzati al fine della caratterizzazione cinematica della stazione CGPS.  
La mancanza di dati nel periodo 28/11/2010 – 16/01/2011 è da attribuirsi ad un guasto del sistema di alimentazione della stazione.  
La mancanza di dati nel periodo 28/10/2013 – 18/12/2013 è da attribuirsi ad un secondo guasto del sistema di alimentazione della stazione.

Figura 12: Campo di Clara Nord: analisi della serie storica plano-altimetrica



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

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

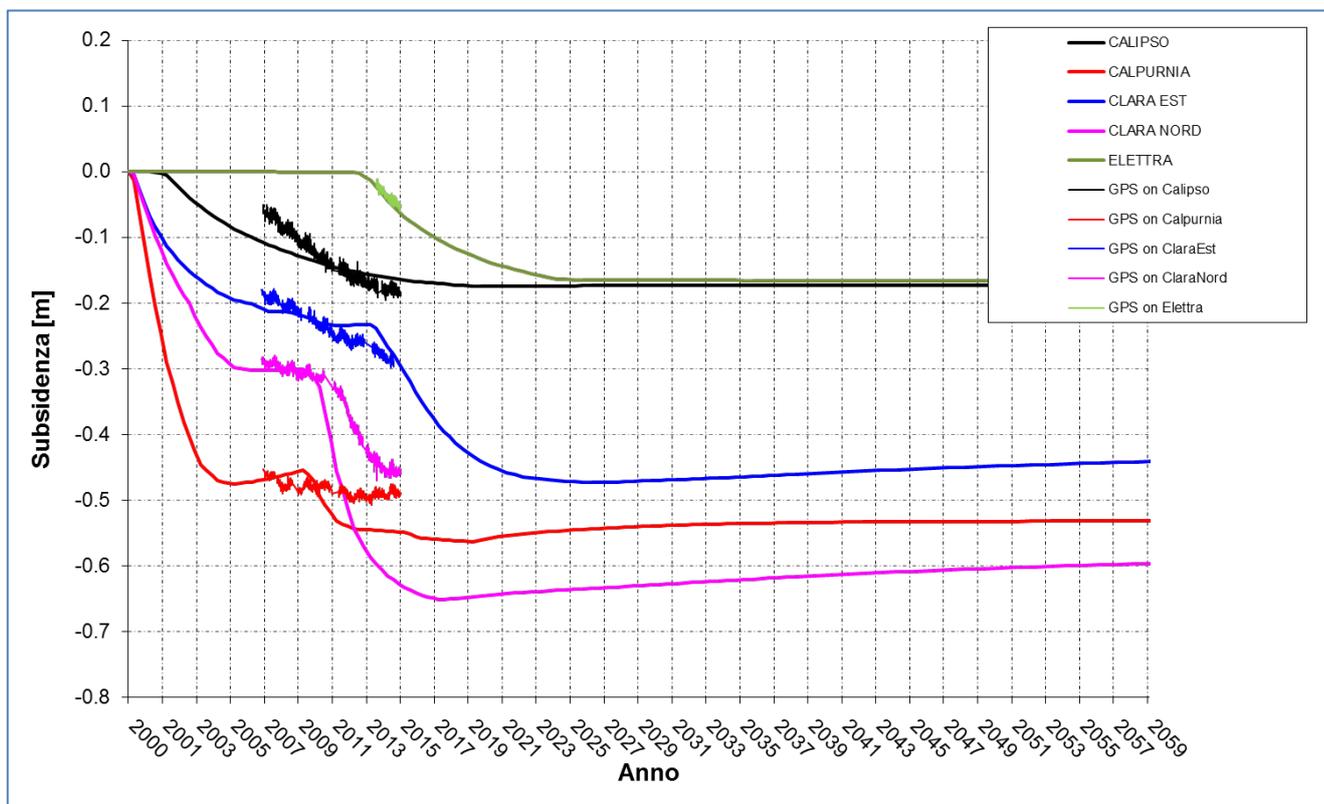


Figura 14 - Andamento temporale della subsidenza prevista da modello geomeccanico (settembre 2013) per lo scenario C<sub>m</sub>\_Med in corrispondenza delle piattaforme di produzione. Per Clara Nord, Clara Est, Calpurnia e Calipso le previsioni di subsidenza sono confrontate con le misure altimetriche da CGPS aggiornate al dicembre 2015



campi CLARA E + N ( J.V. Eni 51% - Edison Gas 49% )			
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA n. 4470 del 7 FEBBRAIO 2000	
<b>AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (CLARA COMPLEX)</b> UBICAZIONE: offshore - 45 - 50 Km a NE di Ancona PROFONDITA' FONDALE: 73 / 76 m		<b>SIA</b> STUDIO DI GIACIMENTO: MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '98" RISERVE (MSm3): 3120 CL. E / 3460 CL. N MOD. GEOMECCANICO: CILINDRICO MAX SUBS AL CENTRO (cm): 10 (CL. E) / 14 (CL. N) (dopo 15 anni) MAX DIST. CULMINE (Km): 4.3 (CL. E) / 2.8 (CL. N) (dopo 15 anni)	
<b>ULTIMO AGGIORNAMENTO</b> MOD. STAT. E DINAM. ECLIPSE 3D "aprile '13": 6416 CL. E / 1975 CL. N ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ SETTEMBRE 2013: 56 (CL. E) @ 2028 / 68 (CL. N) @ 2021			
LITOLOGIA: sabbie fini FORMAZIONE RESERVOIR: CAROLA ZONA MINERARIA: PLO1 - PLO PROFONDITA' RESERVOIR: 750-1300 (TVBSS) TIPO DI PIATTAFORMA: BEAF CARATTERISTICHE GEOLOGICHE: TORBIDITI SOTTILI		<b>STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI</b>	
CONCESSIONE: B.C13.AS DATA SCADENZA CONCESSIONE: 27/05/2020 N. POZZI (produttori): 4 CL. E / 5 CL. N RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm3): 3120 CL. E / 3460 CL. N START UP PRODUZIONE: ott.2000 CL. E / dic.2000 CL. N FINE PRODUZIONE PREVISTA: 2029 CL. E / 2029 CL. N GAS PRODOTTO (MSm3): 2228 CL. E / 1570 CL. N % RISERVE PRODOTTE: 35% CL. E / 80% CL. N		<b>LIVELLAZIONI</b> : ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE, CERTIFICATI UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM, RELATIVI AGLI ANNI: # 1998-2005 / # 2006-2009 / 2011-2014 IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE ADRIATICA E PESARO-PT.S.GIORGIO" SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO <b>MARKERS</b> : NON PRESCRITTI <b>CGPS</b> : NEL CORSO DEL 2007SONO STATI INSTALLATI, NELLE 2 PIATTAFORME, I RISPETTIVI CGPS. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO UN CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FALCONARA (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LE PIATTAFORME <b>SAR</b> : ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2014 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LE PIATTAFORME PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.ME CLARA E e CLARA N NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO <b>BATIMETRIE</b> : ESEGUITO RILIEVO BATIMETRICO. DATA RILIEVO SETT.2007-FEBBRAIO 2008	

Figura 15 - Scheda di sintesi dati campo



Figura 16 - 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.

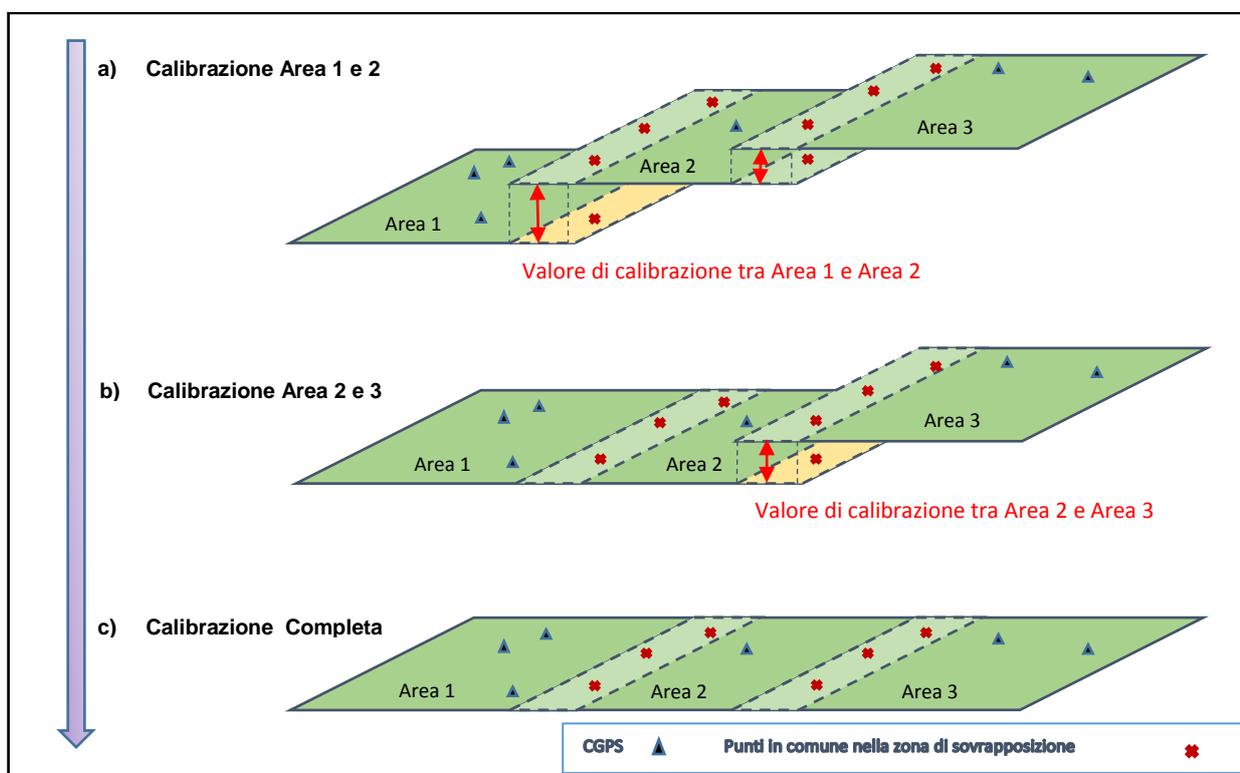


Fig. 2A – Schema illustrativo del processo di calibrazione delle immagini SAR con misure CGPS

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

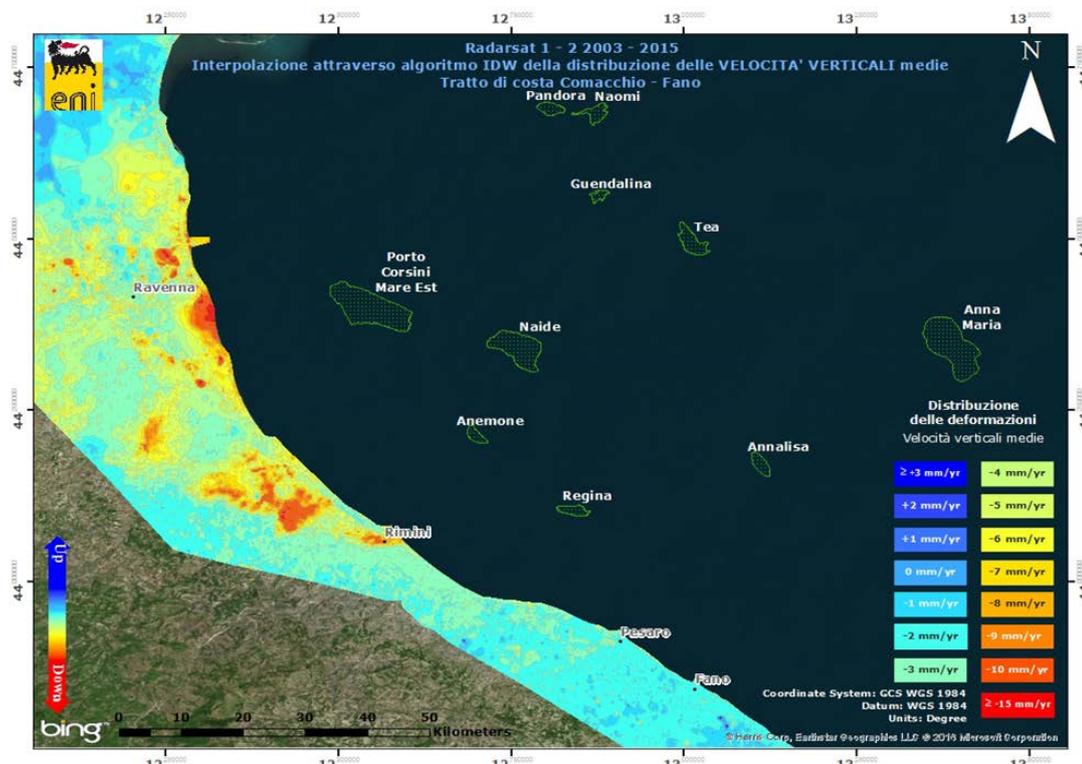


Fig. 3A –Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Comacchio a Fano: serie storica: 2003 – 2015

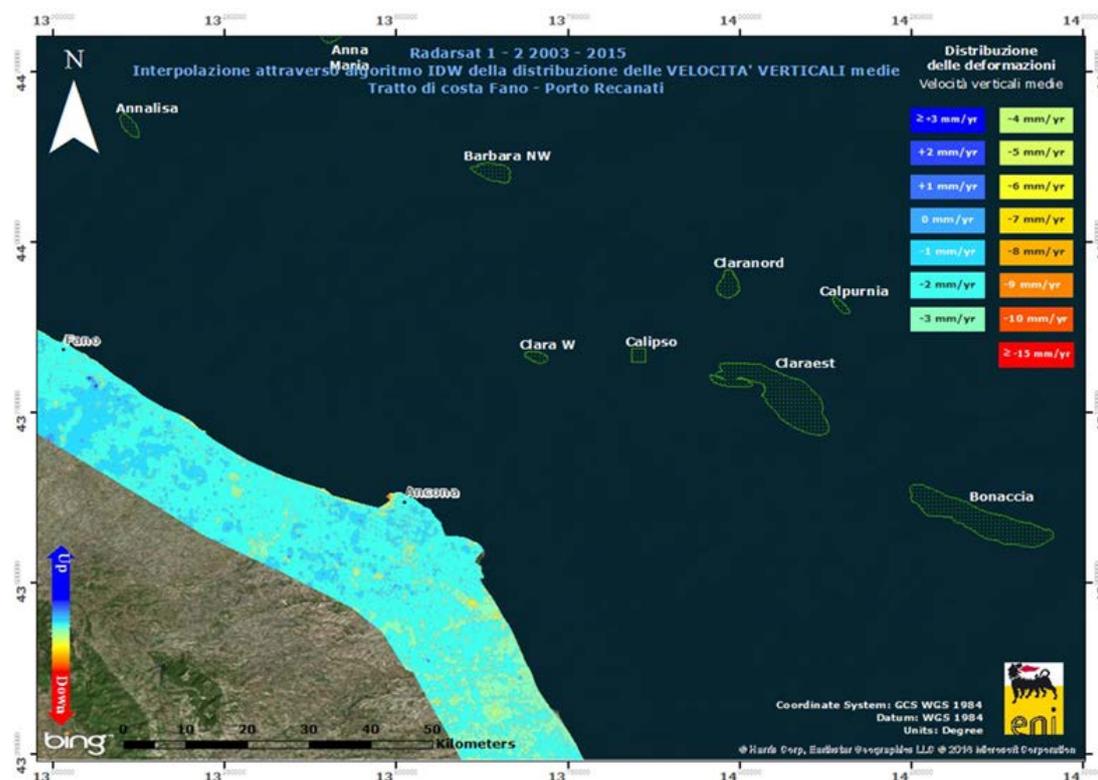


Fig. 4A –Velocità verticali medie d’abbassamento del suolo (dati Radarsat 1 – 2 calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015



### 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.

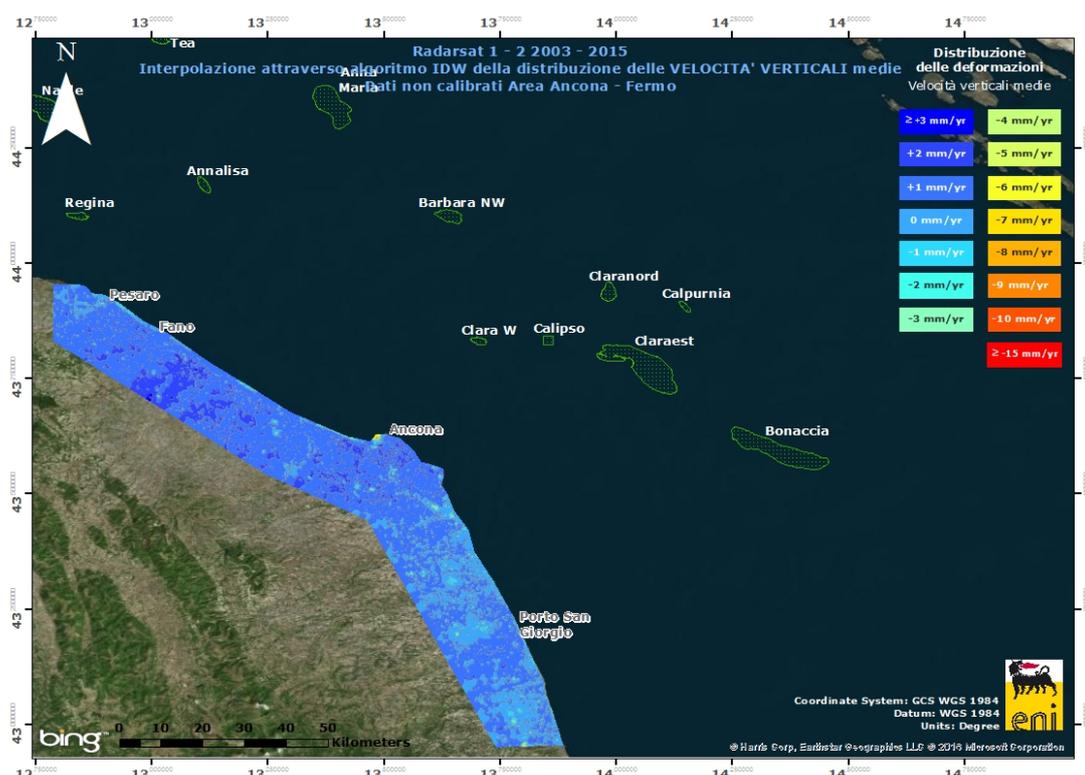


Fig. 5A- Velocità verticali medie d'abbassamento del suolo ( dati Radarsat 1 – 2 non calibrati) relative al tratto di costa da Fano a Porto Recanati: serie storica: 2003 – 2015



### 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.

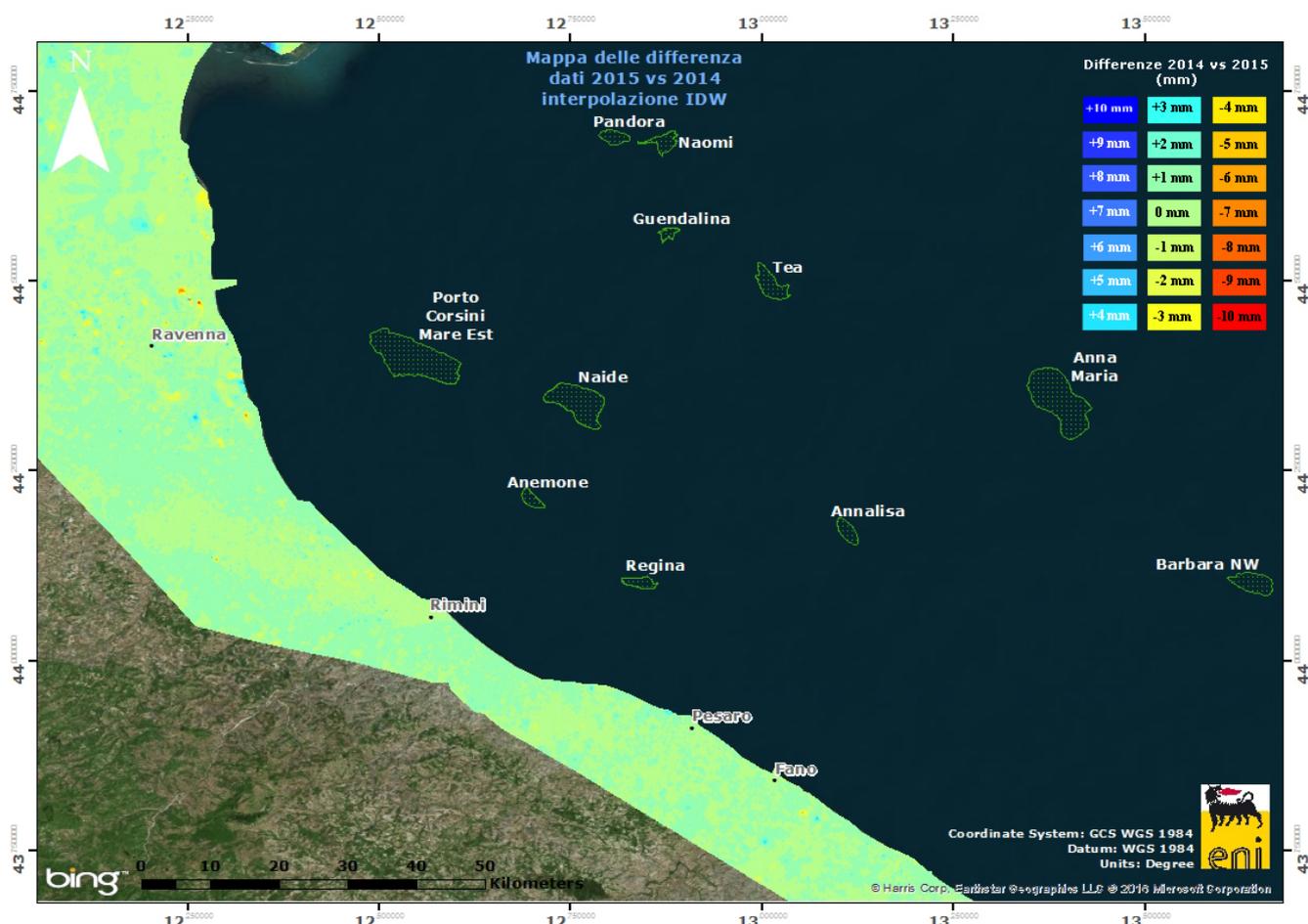


Fig. 6A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.  
Tratto di costa da Comacchio a Fano

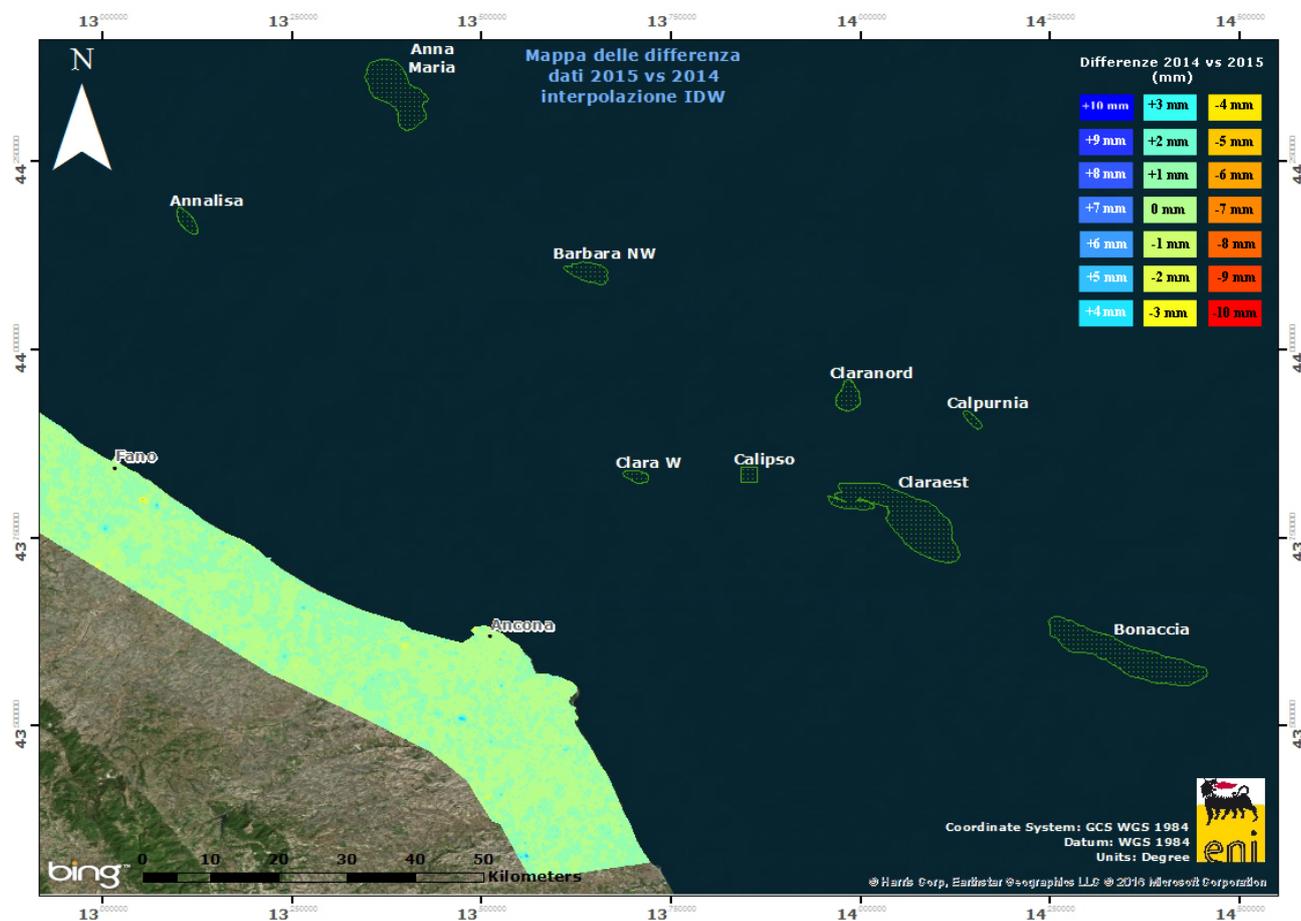


Fig. 7A – Mappa delle differenze tra i database 2003-2014 e il 2003-2015.  
Tratto di costa da Fano a Porto Recanati

## Appendice 2: Stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento al dicembre 2015

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 A.

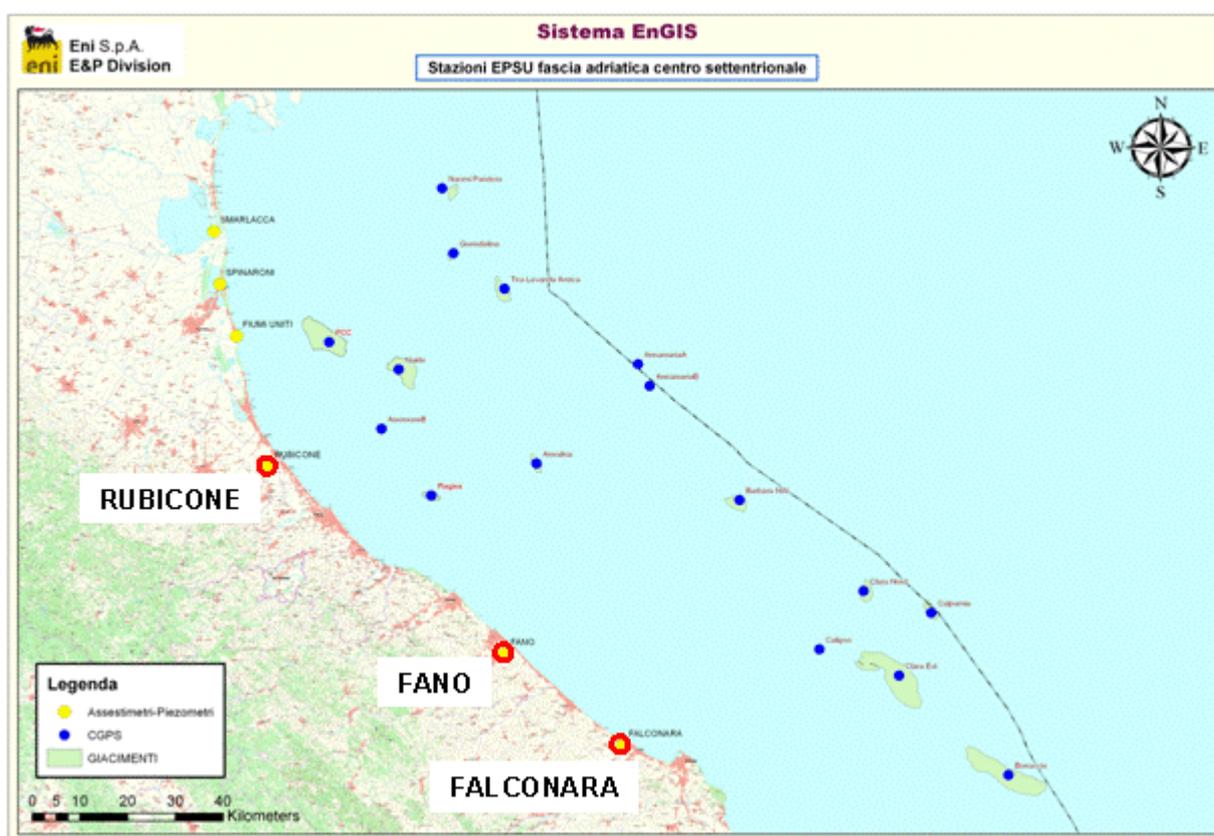


Figura 2A - Ubicazione delle stazioni EPSU.

In generale una stazione EPSU è costituita da un assesimetro, 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 assesimetriche per le variazioni della temperatura e pressione atmosferica) come schematicamente rappresentato in figura 2B.

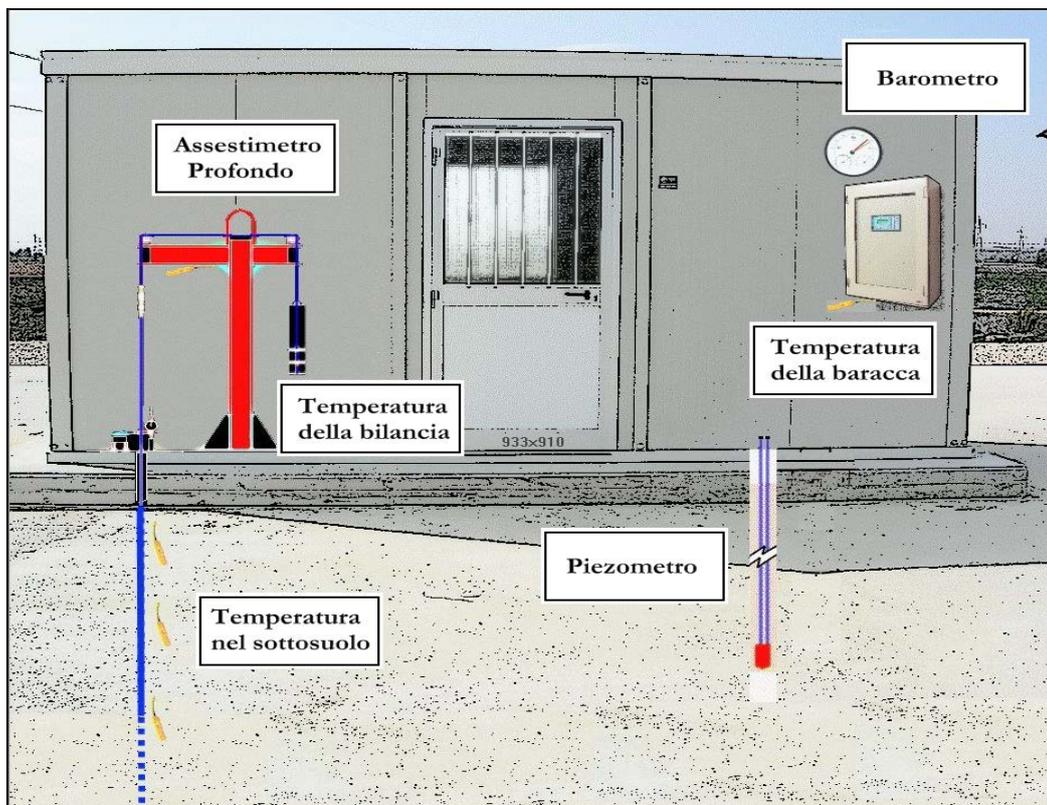


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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	Assestimetro 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	Assestimetro superficiale	40,8 m	Lug. 2008
	CGFNP-1	Piezometro superficiale	6,1 m	Lug. 2008
Falconara	CGFLA-1	Assestimetro superficiale	40,3 m	Lug. 2008
	CGFLP-1	Piezometro cella singola	22 m	Lug. 2008

Per ciascuna stazione EPSU vengono allegati:

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 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,
- 2 novembre 2009 - 31 dicembre 2014 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 2015.

### **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 sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. 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 (i.e. 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) delle falde acquifere.

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. 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 con 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

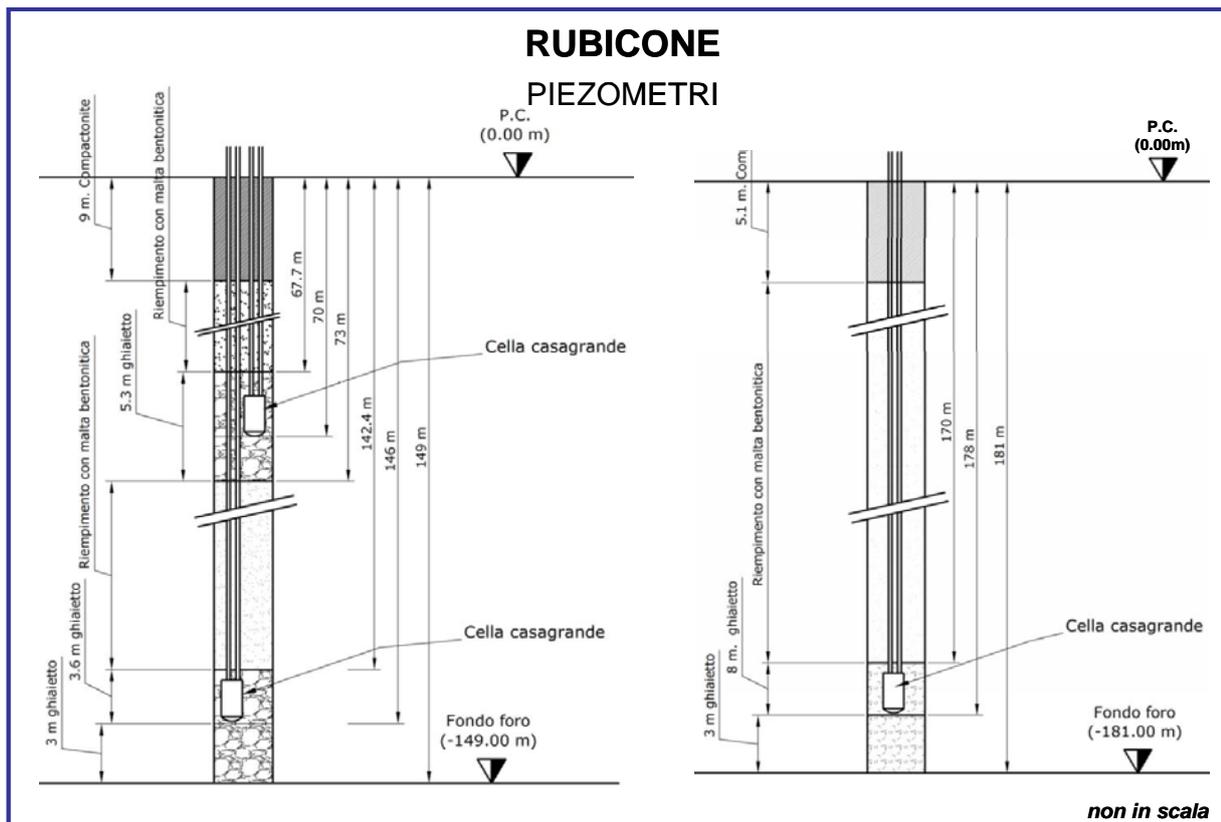


CGRP-1).

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

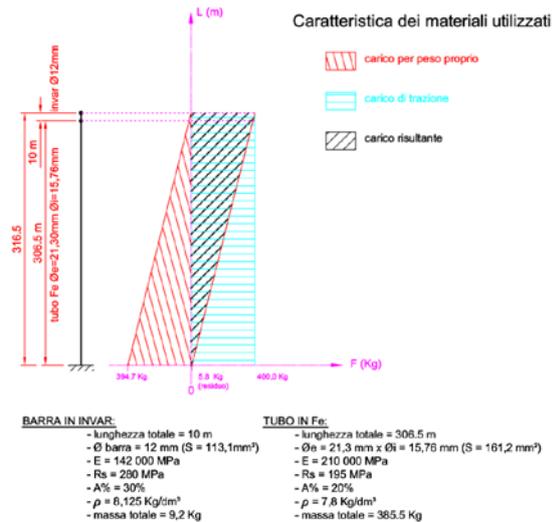
Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014, controllando accuratamente piezometri e trasduttori. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata accertata facendo alcune misure manuali con freatimetro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche, consentendo di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

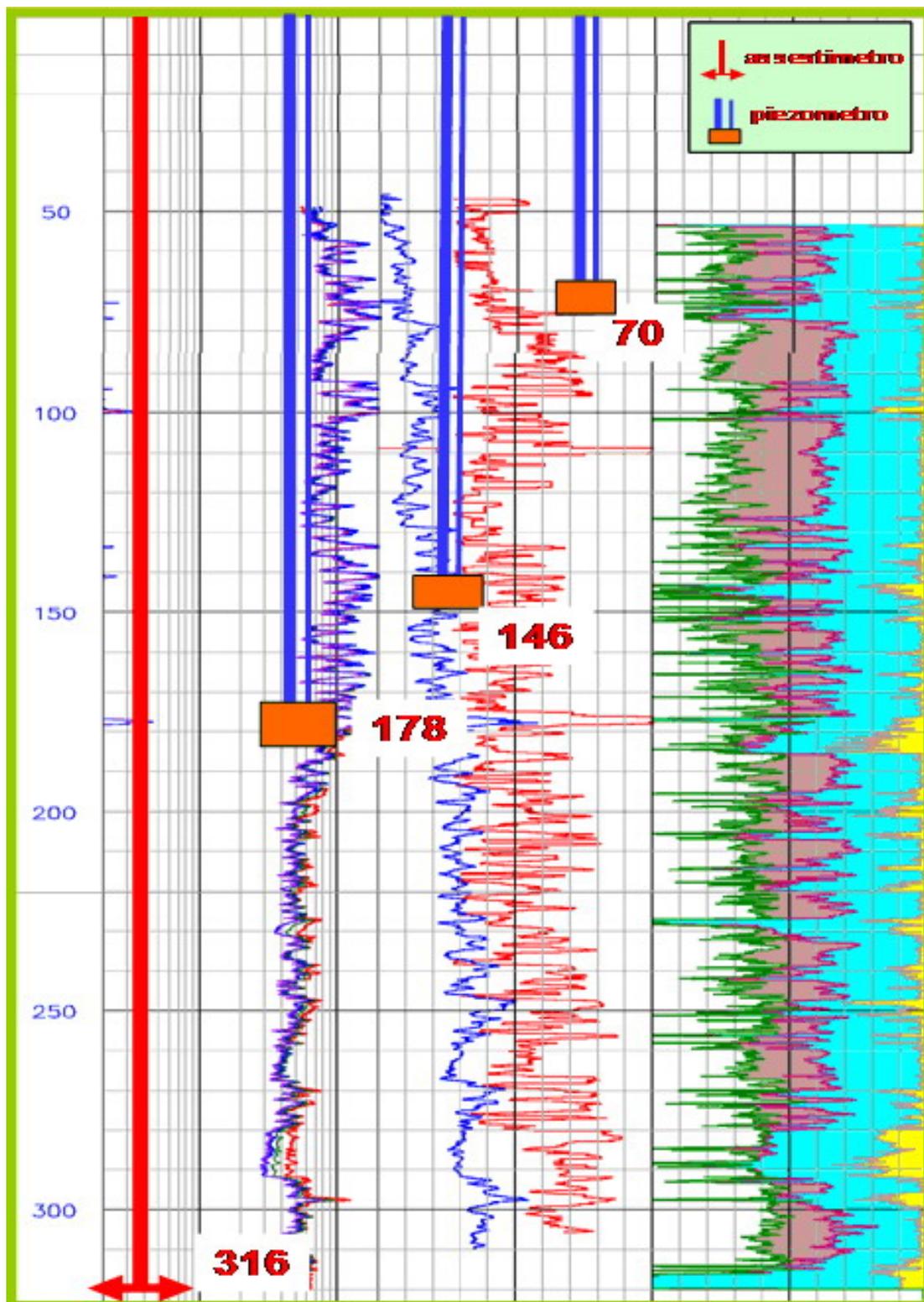
A dicembre 2015 si sono effettuati nuovi controlli manuali del livello delle falde acquifere, accertando una buona rispondenza con le misure automatiche. Tutti i trasduttori si sono, quindi, dimostrati perfettamente funzionanti e affidabili.



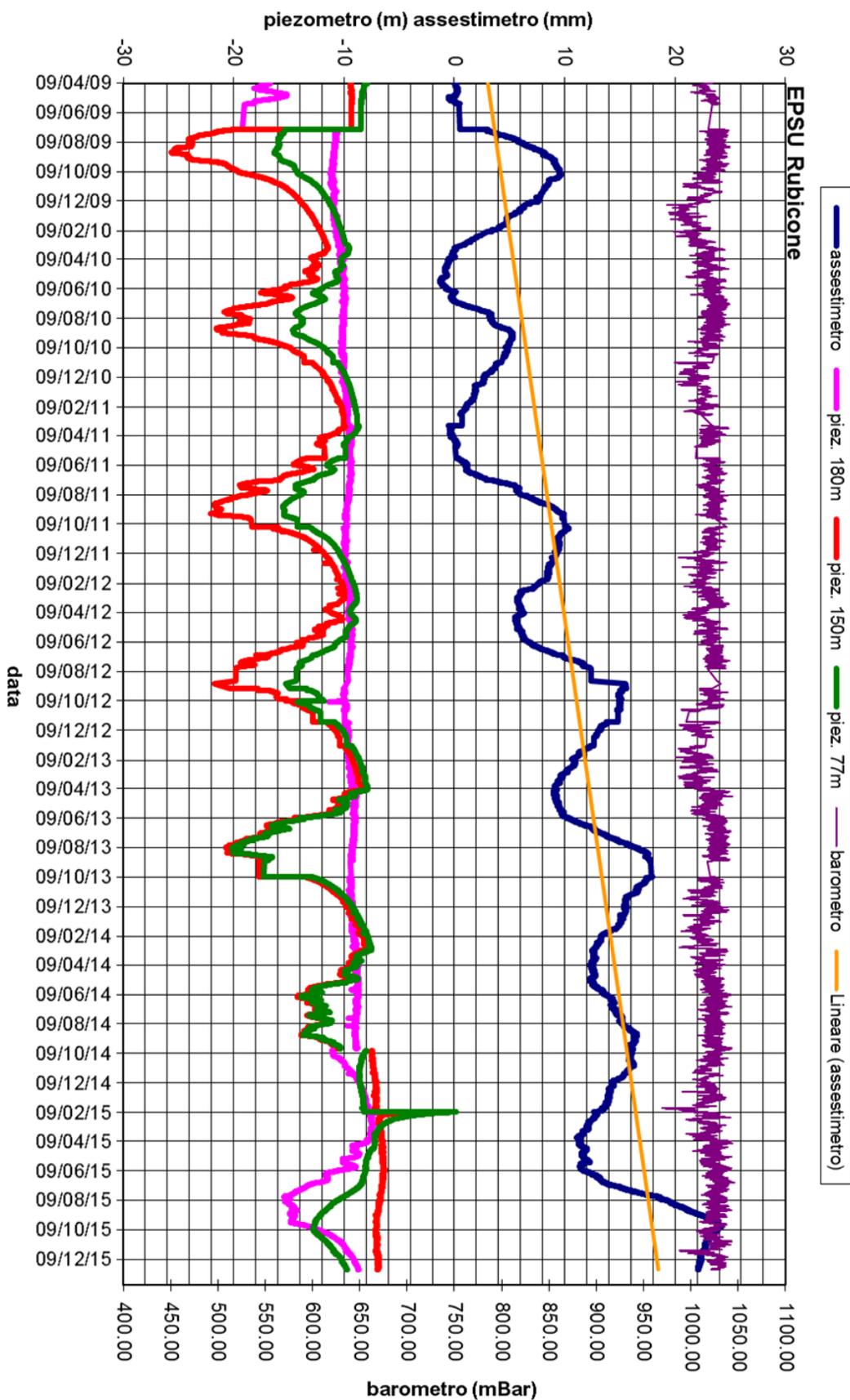
## RUBICONE ASSESTIMETRO

- Modello di assestimetro costituito da 49 aste in ferro da 6m ed ultimi 10m da aste in Invar con 12 giunti telescopici e con bocche a scorrimento assiale.
- Ancoraggio base assestimetro a 320m da p.c. .
- La forza imposta dal sistema a bilanciere sull'asta di misura ha direzione verticale verso l'alto e modulo di poco superiore al peso proprio della batteria d'asta, peso aste 397Kg, peso zavorra 427Kg.





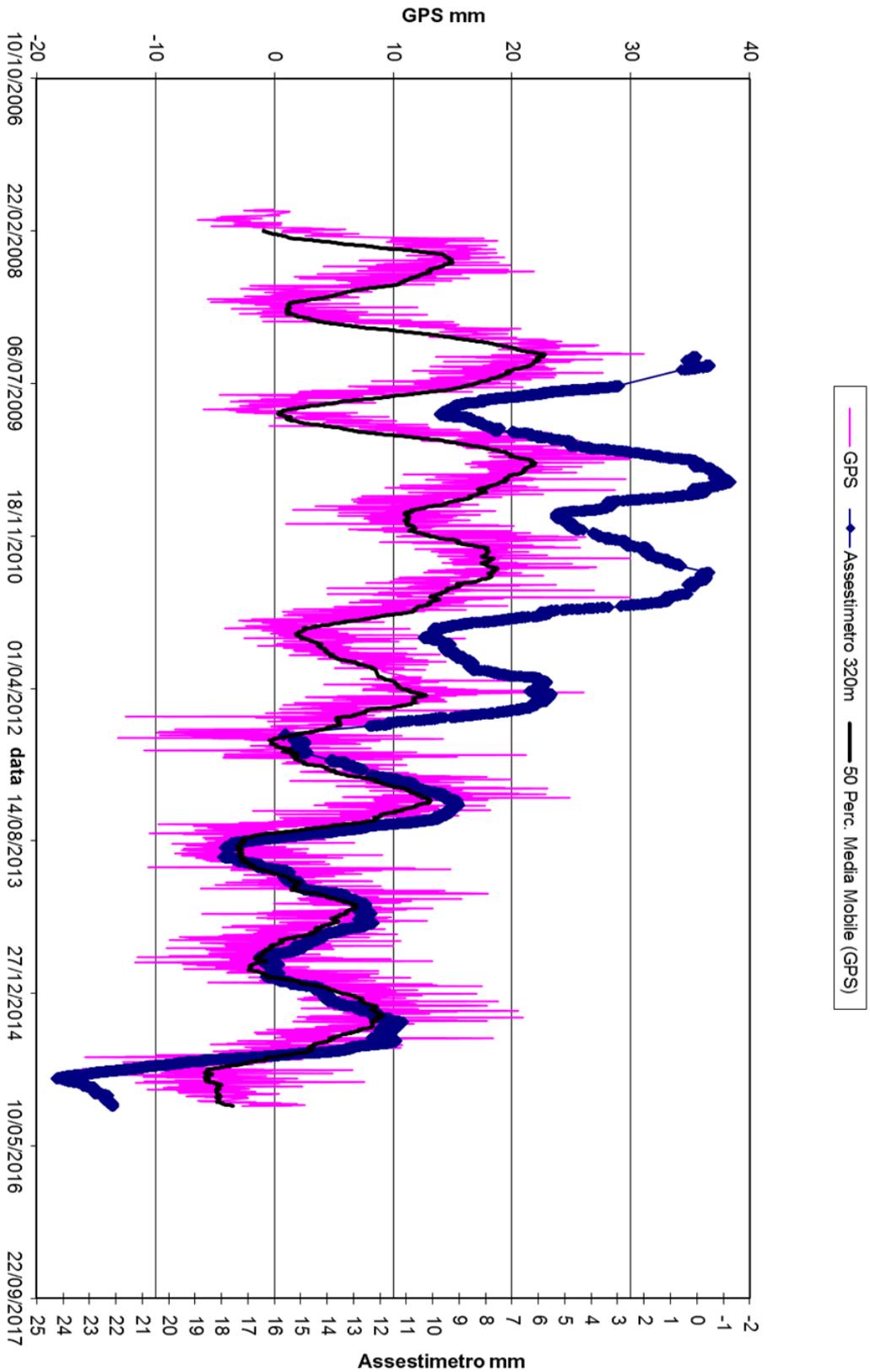
Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.



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:**

- assestometro - 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 2015.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

L’assestometro 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 sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. 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 del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestometro 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, senza ritardi, all'escursione massima e minima annuale della falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno assolutamente stabile, 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.

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 con quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

## **Analisi dei dati piezometrici**

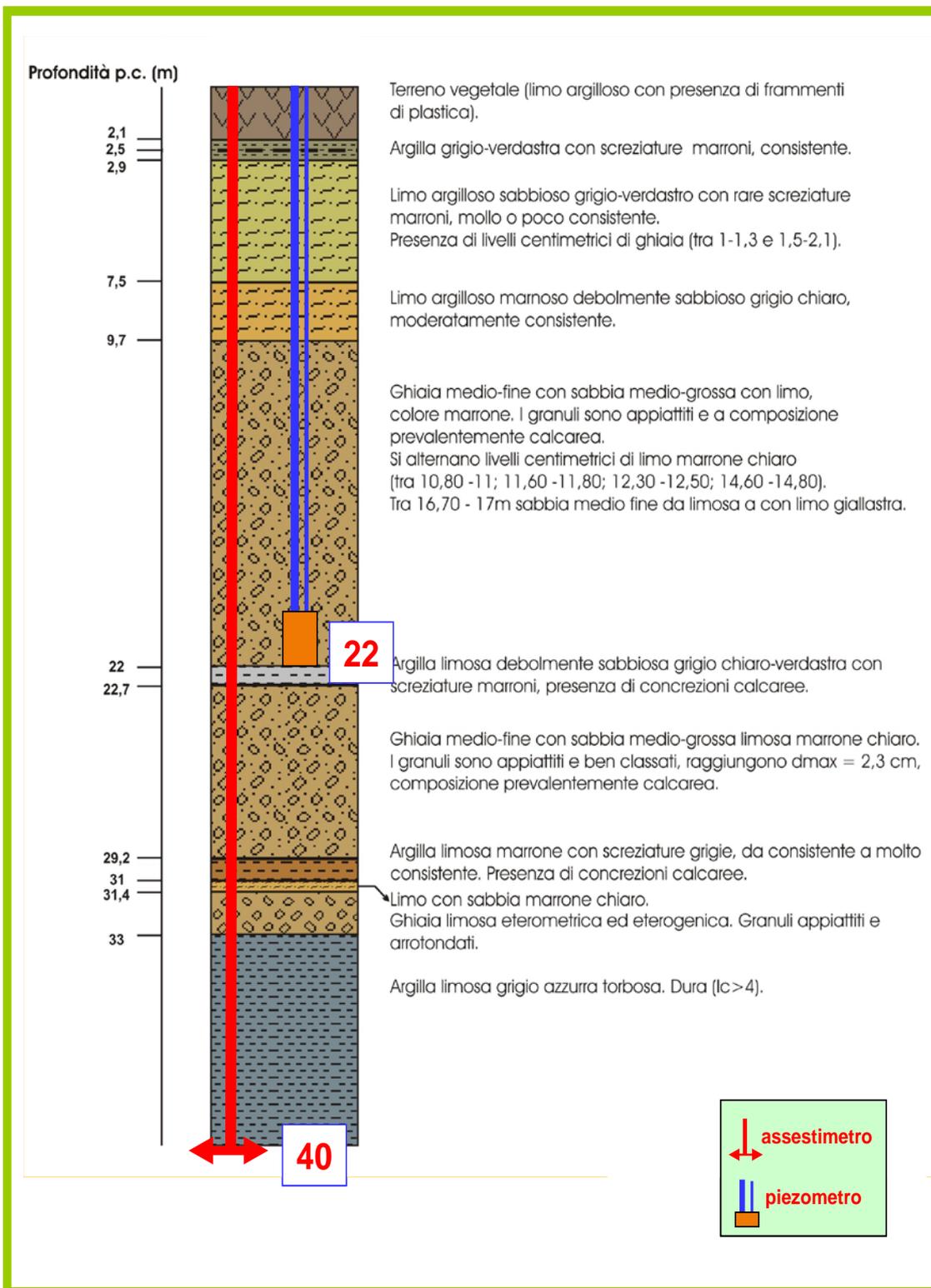
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici, si è riportata la piezometria.

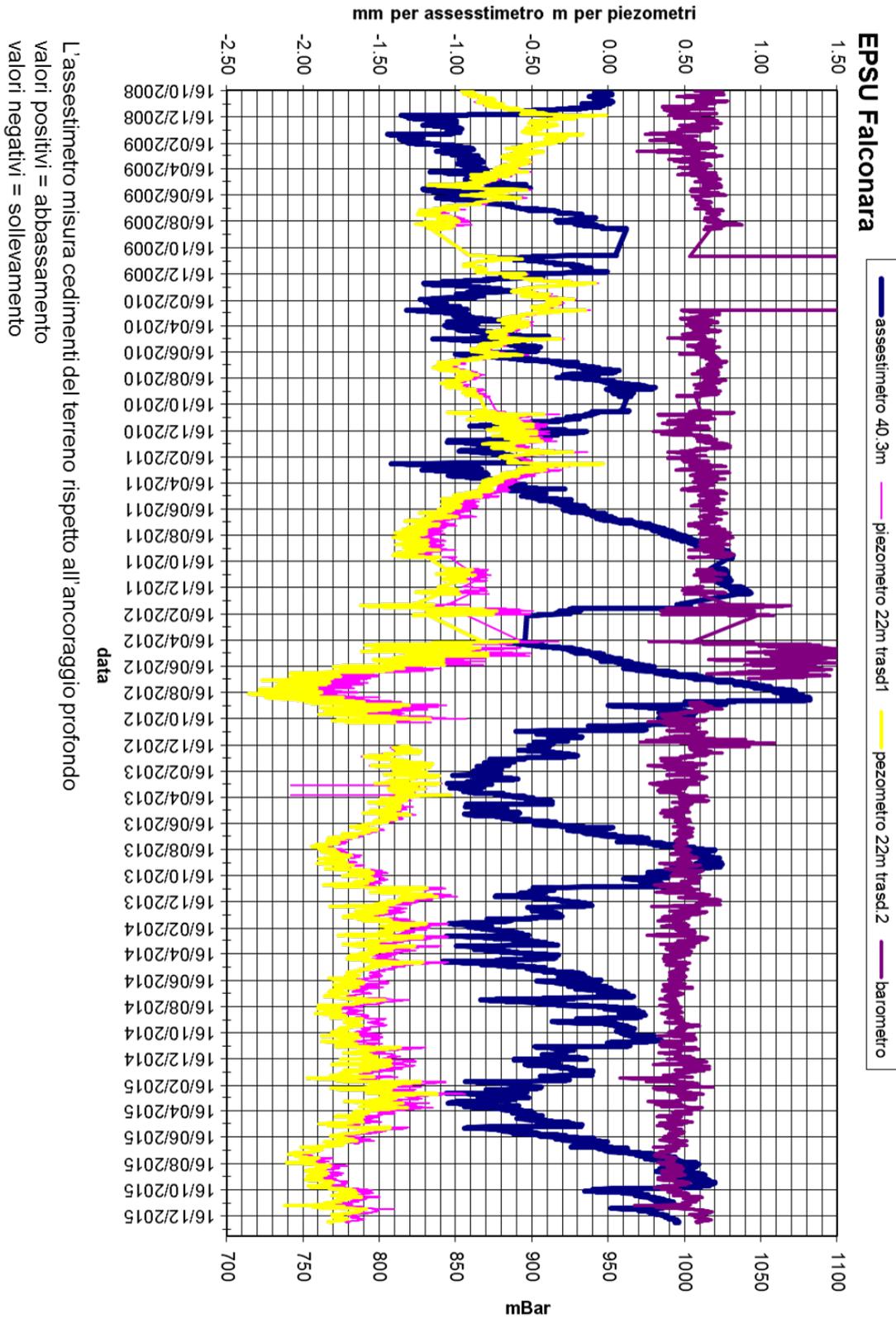
Nel grafico del piezometro l'ordinata è la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica.

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 2015 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.

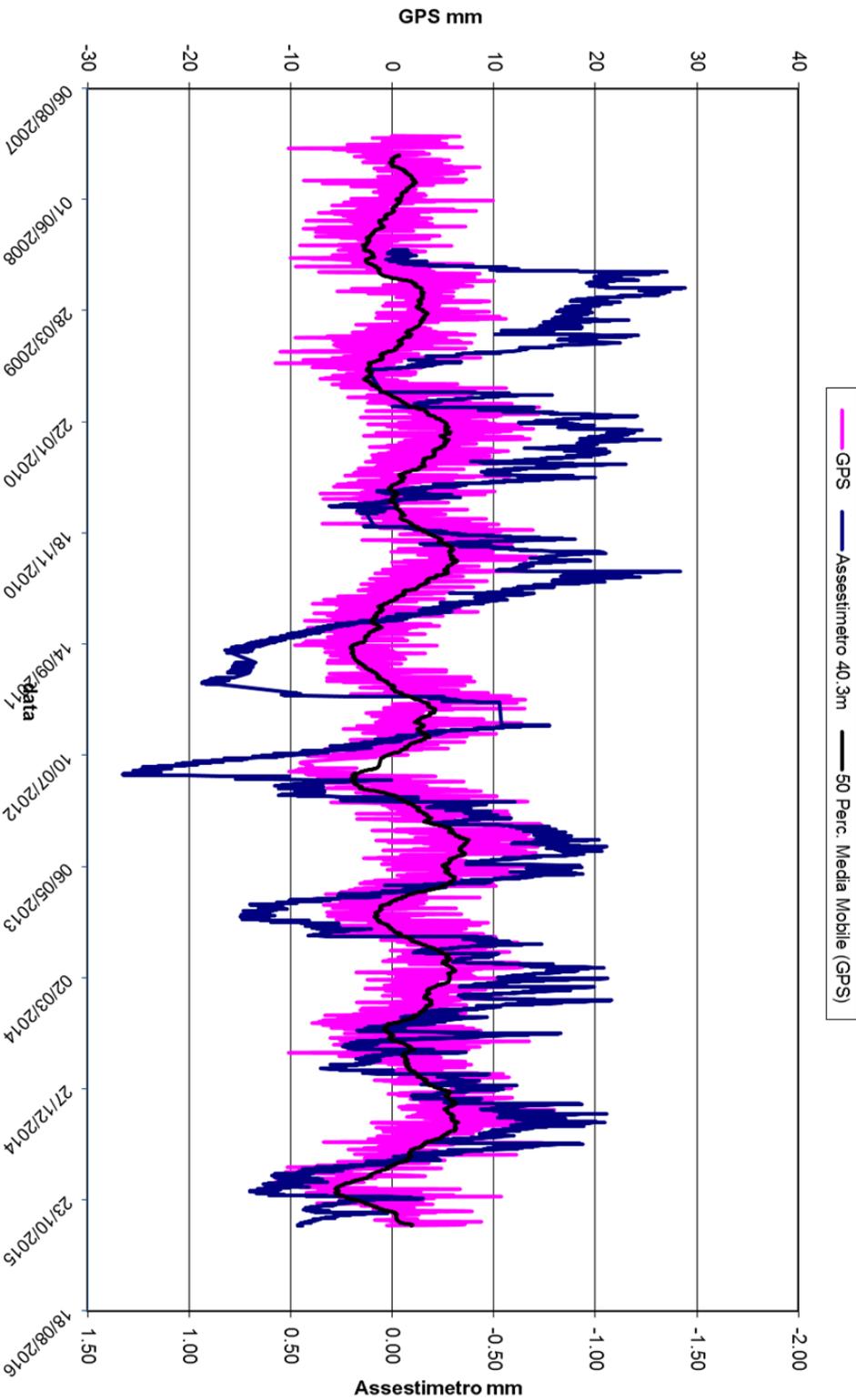








### FALCONARA - Confronto GPS ed assestimento superficiale



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 assestimentica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa)



## **Stazione EPSU di 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 2014 una misura ogni 6 ore.

Nel periodo monitorato (10/2008 – 12/2014) 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 2015.

### **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 sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici per un confronto relativo. 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  $\pm 1$  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 2015 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 di circa di 1 mm in poco più di 7 anni di osservazione.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione EPSU. Le misure GPS danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,35 mm/a.

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 pronta a registrare in superficie i movimenti d'espansione e contrazione degli strati di terreno generati dalle 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 con quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

### **Analisi dei dati piezometrici**

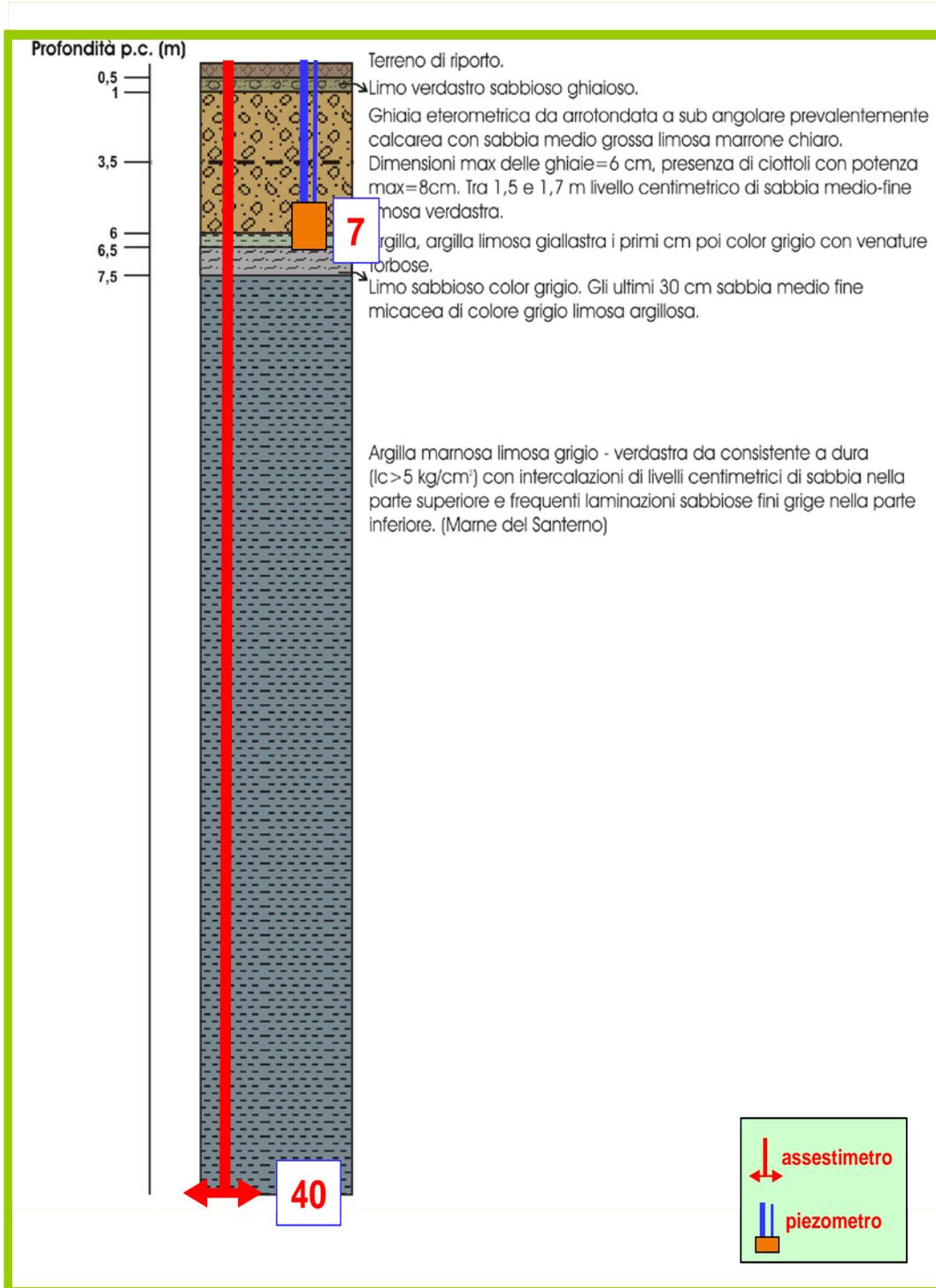
Nello stesso grafico dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria.

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.

L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casa-grande, 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  $\pm 8$  cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento.

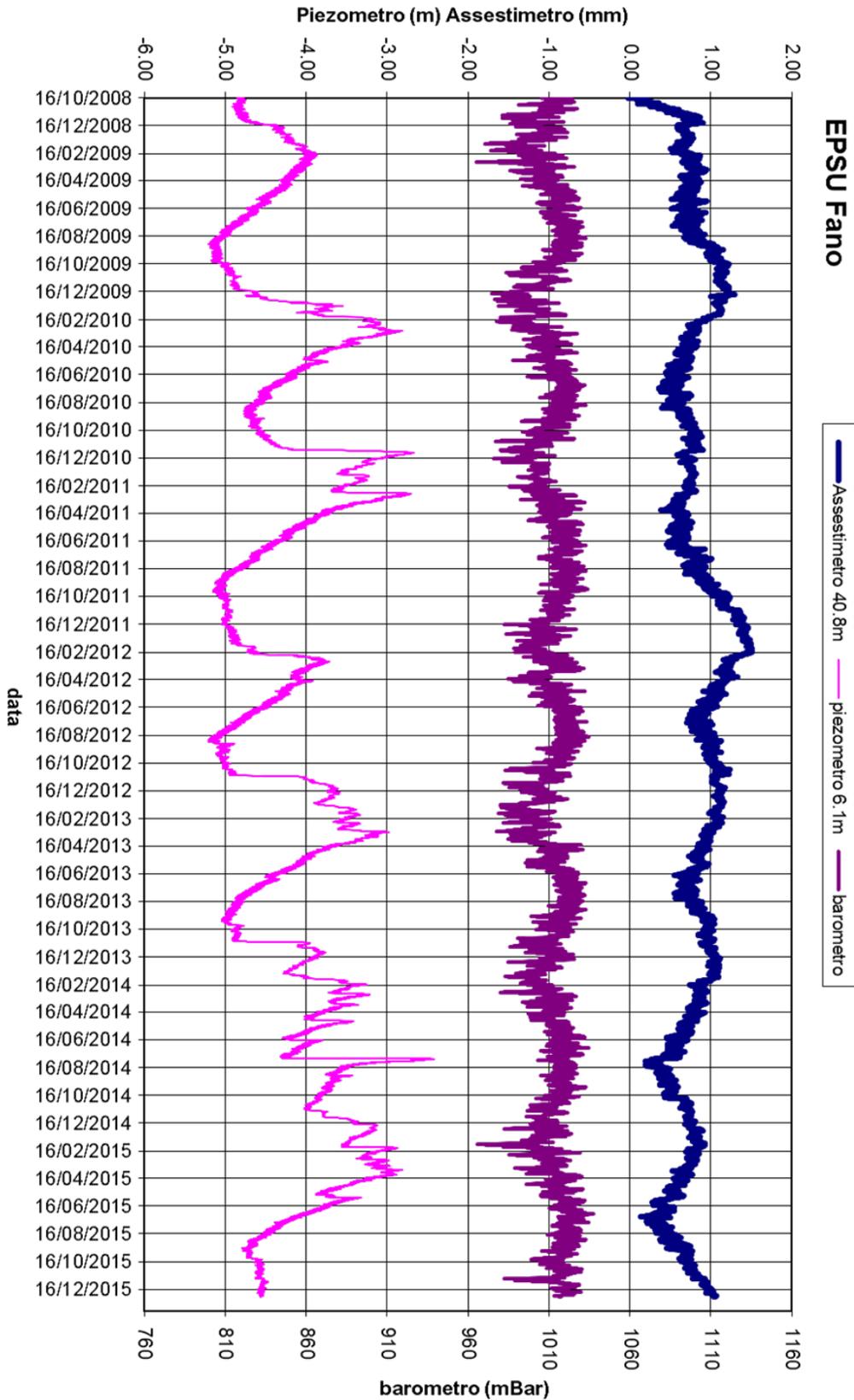
L'ultimo controllo generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato fatto nel dicembre 2015.





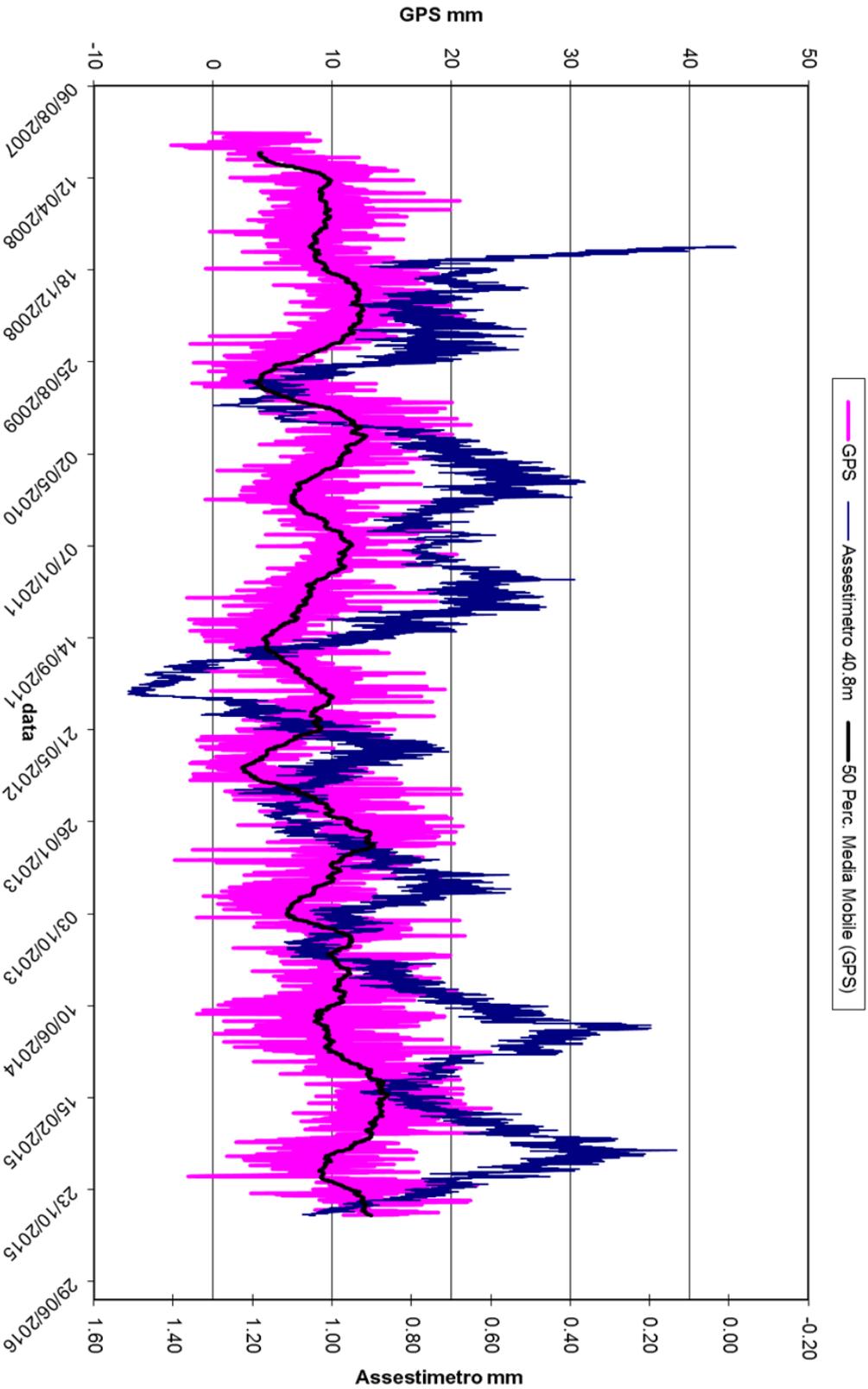


L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo  
valori positivi = abbassamento  
valori negativi = sollevamento





### 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 diretta 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 22,1 mm d'abbassamento totale del terreno in oltre 6 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 7 anni di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1 mm circa).

Nella tabella seguente sono riportati i valori medi della compattazione (positiva) o espansione (negativa) del terreno e delle relative velocità ottenute dalle misure assestimetriche disponibili dall'inizio del funzionamento della strumentazione sino alla data del 31 dicembre 2015.

Si segnala che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche sono risultate molto basse, 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.



Sito	Anni di Osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)
Rubicone	6,75	22,1	3,3	-	-
Fano	7,21	-	-	1,0	-
Falconara	7,21	-	-	0,4	-