



Campo di BONACCIA

Aggiornamento al 31/12/2014

Il campo di Bonaccia è ubicato nell'offshore adriatico in prossimità della linea mediana a 57 km dalla costa, a est del promontorio del Monte Conero. Il fondale marino in tale zona è di circa 82 metri. Il campo ricade nella concessione B.C17.TO (scadenza il 18/10/2018) inizialmente rilasciata alla joint venture TMF (Total operatore, Merloni, Foster Wheeler), acquisita poi interamente da Eni nel 1997 (Figura 2).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
B.C17.TO	18/10/18	Eni	Eni	100%	Marche

Da un punto di vista geologico l'area di Bonaccia-Bonaccia Est si trova sul margine più esterno del bacino di avanfossa appenninica Plio-Pleistocenico che ricopre la parte più esterna della rampa di avanpaese. L'elemento tettonico principale è il fronte del *thrust* Dinamico, con orientazione NW-SE, di età tardo Cretacica-Eocenica. I livelli mineralizzati a gas sono stati rinvenuti a una profondità compresa tra 750 e 1060 m slm e appartengono alla formazione Carola, costituita da depositi torbiditici di età Pleistocenica, in particolare dalle sequenze stratigrafiche denominate PLQ1 e PLQ (Figura 3).

Il giacimento è stato scoperto nel periodo 1981-1985 con la perforazione da parte di Total del pozzo esplorativo Bonaccia 1. I successivi tre pozzi appraisal (Bonaccia 2, 3 e 4) hanno confermato la mineralizzazione e delineato l'estensione del campo. Il pozzo Bonaccia Sud 1, perforato nel 1981 per verificare l'estensione della struttura nella zona a SE, è risultato sterile.

Nel 2002 è stato perforato il pozzo esplorativo Bonaccia Est 1 che ha invece confermato l'estensione della mineralizzazione sulla culminazione della struttura di Bonaccia Est. I livelli mineralizzati di Bonaccia Est sono parzialmente separati da quelli di Bonaccia sia a causa di una sella fra le 2 strutture, sia per la presenza di "slump" o altro tipo di barriera non rilevabile dall'interpretazione sismica.



Il campo di Bonaccia è stato sviluppato da Eni tra il dicembre del 1997 e aprile del 1998 con la perforazione da piattaforma fissa di sette pozzi completati con string doppia ed equipaggiati con dispositivi di "sand control ICGP" (Inside Casing Gravel Pack) per complessive 14 stringhe produttive. La produzione di gas è stata avviata nel febbraio del 1999; attualmente solo 8 stringhe sono in erogazione. Nel 2007 sono stati fatti alcuni interventi per migliorare il recupero di gas dal giacimento perforando dalla piattaforma Bonaccia un nuovo pozzo di infilling (Bonaccia 12dir) e facendo un side-track del pozzo Bonaccia 11dir.

La culminazione di Bonaccia Est è stata sviluppata nel 2010 con la perforazione dei due pozzi Bonaccia Est 2dir e Bonaccia Est 3dir. Questi ultimi, equipaggiati con croci di produzione sottomarine e collegati all'esistente piattaforma Bonaccia mediante un nuovo sealine da 6", sono stati posti in produzione nell'ottobre 2010.

Quanto al processo autorizzativo, Eni ha presentato, in data 31/08/05, un'istanza di variazione programma lavori finalizzata al recupero incrementale di riserve certe di gas nell'ambito della concessione di coltivazione idrocarburi B.C17.TO. Nel corso del procedimento, dopo aver fornito integrazioni di progetto al Ministero dello Sviluppo Economico (UNMIG Bologna), Eni ha depositato il SIA per la realizzazione delle opere riguardanti la "*Variazione programma lavori - progetto Bonaccia Est*" chiedendo la pronuncia di compatibilità ambientale. In data 15/06/09, il MATTM ha decretato, con giudizio positivo, la compatibilità ambientale del progetto (DSA-DEC-2009-0000582).

Nel documento SIA Eni ha presentato i risultati di uno studio modellistico geomeccanico a elementi finiti (*rel. Eni-INPE: Campo di Bonaccia Est - Modello predittivo di subsidenza del settembre 2007*) fatto per valutare la possibile subsidenza indotta dalla produzione di gas dei sopraccitati pozzi Bonaccia Est 2dir e Bonaccia Est 3dir; tale studio è stato basato sui risultati della revisione degli studi statico e dinamico di giacimento (Bonaccia-Bonaccia Est), riportati nella nota integrativa "*Eni-INPE: Relazione Tecnica per perforazione e allacciamento alla produzione - 98/2007 del luglio 2007*".

Detto modello geomeccanico ha stimato, nel caso dello sviluppo di Bonaccia Est, una subsidenza massima pari a 22 cm al 2015 che si assesta a circa 20 cm al 2042 (fine simulazione). Riguardo all'estensione del cono di subsidenza, la distanza della linea d'isosubsidenza dei 2 cm dalla costa è risultata pari a circa 49 Km.



Il sopracitato modello dinamico di giacimento (Eclipse 3D) del luglio 2007 era stato esteso a tutta l'intera area interessata dal complesso dei livelli mineralizzati di Bonaccia-Bonaccia Est e all'acquifero circostante. Il profilo di produzione ottenuto prevedeva il recupero di 3355 MSm³ di riserve residue in 23 anni. Poiché la produzione cumulativa al 31/12/06 era di 2950 MSm³, le riserve totali del campo ammontavano a tale data a 6305 MSm³, di cui 1845 MSm³ di riserve residue producibili dai livelli di Bonaccia e 1510 MSm³ dalla culminazione Bonaccia Est.

Nel 2011 si è stato nuovamente aggiornato il modello Eclipse di giacimento (*rel. GISE 09/2011- Studio di giacimento valutazione potenziale residuo e sviluppo area NW*) allo scopo:

- di progettare lo sviluppo dell'area NW del campo con l'installazione di una nuova piattaforma da cui perforare 4 pozzi: Bonaccia NW 1dir, Bonaccia NW 2dir, Bonaccia NW 3dir e Bonaccia NW 4dir (*rel. GIAC/CS 31-2011 del novembre 2011 Campo di Bonaccia Progetto di sviluppo – Realizzazione dei pozzi - Relazione tecnica di giacimento*);
- di massimizzare i recuperi di gas sia dall'area "principale" che da quella "Est".

La revisione geologico-strutturale del giacimento è stata fatta utilizzando la reinterpretazione sismica dell'area NW fatta nel 2010.

Il volume di GOIP stimato dal nuovo studio di giacimento è stato pari a 13280 MSm³ (11655 MSm³ nello studio del luglio 2007); tale cifra include anche il volume di gas in posto nella culminazione NW.

Le riserve totali calcolate con questa revisione sono risultate di 9083 MSm³ recuperabili al 2038, di cui 1999 MSm³ associati allo sviluppo dell'area NW del campo (Figura 3). Il fattore di recupero finale del campo, con riferimento al GOIP 2011, è stato valutato, pertanto, pari al 68%. Tali riserve si sono, quindi, incrementate del 44% rispetto a quelle dello studio del luglio 2007 (6305 MSm³ producibili al 2029) a fronte di un incremento del GOIP pari al 14%.

Nel 2014 è stato nuovamente rivisto il modello Eclipse del giacimento (*rel. GISE 09-14 del luglio 2014 " Aggiornamento studio di giacimento per modello geomeccanico"*) per aggiornarne l'history match sulla base produzioni mensili storiche sino al giugno 2014 e così meglio



riprodurre la storia produttiva, e per poter, inoltre, meglio valutare l'eventuale subsidenza indotta mediante simulazioni con modello geomeccanico.

Il nuovo studio si è proposto, inoltre, di verificare e confermare le valutazioni fatte con lo studio 2011 per lo sviluppo delle aree NW ed Est del campo (sviluppo dell'area NW con la perforazione di 4 pozzi e infilling dell'area Est con la perforazione di un pozzo). Allo scopo, il modello geo-strutturale del campo e la caratterizzazione petrofisica dei layers di tale studio sono stati considerati ancora validi, in quanto non sono stati in seguito acquisiti nuovi dati geologici.

Il GOIP statico non è stato modificato rispetto allo studio 2011, mentre il GOIP dinamico post-history match è risultato incrementato a 13761 MSm³ (studio 2011 pari a 13280 MSm³). Nel caso Do Nothing + Sviluppo Area NW + Infilling Area Est la produzione di gas nel periodo 1/6/2014–1/1/2036 è stata prevista pari a 4018 MSm³, di cui:

- 1127 MSm³ Do Nothing;
- 2409 MSm³ Sviluppo Area NW;
- 482 MSm³ Infilling Area Est.

Il R.F. finale di campo è risultato complessivamente del 67% (75% nella zona Main+NW e 49% nella zona Est).

Nella Figura 4 e Figura 5 sono presentati rispettivamente il grafico della produzione storica e il confronto tra i profili di pressione calcolati da modello Eclipse del luglio 2014 con le pressioni statiche misurate nel livello ritenuto più rappresentativo del campo (livello PQ-B); il valore di pressione di agosto 2010 si riferisce a misure da log RFT. Al 31/12/14 il volume di riserve già prodotte è stato pari a 5322 MSm³, ovvero il 57% del totale calcolato nello studio di luglio 2014.

A seguito degli aggiornamenti dei modelli di giacimento del 2011 e 2014 si sono aggiornati anche i relativi modelli geomeccanici.

In particolare, con l'aggiornamento del 2011 (*rel. TERA 11/2011- Campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia NW – Modello Elasto-plastico di subsidenza – Management Summary*), il coefficiente di compressibilità uniassiale della roccia serbatoio è stato calibrato sulla base delle misure GPS, e nel modello si è tenuto conto anche delle possibili interferenze - idrauliche.



ca e meccanica - derivanti dalla futura produzione di gas dell'area NW (progetto di sviluppo il cui iter autorizzativo è tuttora in corso) nella stima della subsidenza indotta dalla produzione di Bonaccia e di Bonaccia Est.

In questo aggiornamento si sono considerati 2 possibili scenari produttivi:

- **caso DN** (Do Nothing) relativo alla produzione di Bonaccia+Bonaccia Est con fine produzione al 2030 e simulazione protratta al dicembre 2060 per considerare l'effetto di propagazione del disturbo di pressione in giacimento e in acquifero dopo la chiusura dei pozzi. Per questo scenario la produzione cumulativa di gas al 2030 è stata prevista in circa 7 GSm³;
- **caso 3P** relativo alla produzione di Bonaccia+Bonaccia Est e allo sviluppo di Bonaccia NW con fine produzione al 2040 e simulazione protratta al dicembre 2070 per considerare l'effetto di propagazione del disturbo di pressione in giacimento e in acquifero dopo la chiusura dei pozzi. Per questo scenario la produzione cumulativa di gas 2040 è stata prevista in circa 9 GSm³.

Per lo scenario relativo al caso **3P** (Bonaccia + Bonaccia Est + Bonaccia NW) la subsidenza massima al termine della simulazione (2070) è stata valutata raggiungere 245 cm. In particolare, sulla culminazione NW la subsidenza è stata stimata in 237 cm. La distanza minima del bordo del cono di subsidenza (linea d'isosubsidenza di 2 cm) dalla costa è risultata, invece, di circa 51 km.

Con il successivo aggiornamento del modello geomeccanico del 2014 (*rel. TERA 11/2014-Campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia NW – Modello Elasto-plastico di subsidenza – Management Summary*), le simulazioni fatte hanno preso in esame due diversi scenari produttivi: uno scenario "Do Nothing" e uno scenario "Do Nothing + sviluppo area NW + Infilling Area Est".

Per entrambi gli scenari le simulazioni sono state protratte per oltre 30 anni dopo la chiusura del campo in modo da considerare l'effetto dell'evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione.

I risultati per i due scenari esaminati sono riassunti nelle seguenti tabelle:



Tabella 1 – Risultati finali: massima subsidenza (espressa in cm) ed estensione del fenomeno per il caso “Do Nothing”

Date	Massima Subsidenza (cm)	Massima Estensione A (km)	Massima Estensione B (km)
1-giu-2014	181	12	3
1-gen-2018	193	12	4
1-gen-2033	191	13	4
1-gen-2069	187	14	5

Tabella 2 – Risultati finali: massima subsidenza (espressa in cm) ed estensione del fenomeno per il caso “Do Nothing + Sviluppo Area NW+Infilling Area Est”

Date	Massima Subsidenza (cm)	Massima Estensione A (km)	Massima Estensione B (km)
1-giu-2014	181	12	3
1-gen-2033	423	13	4
1-gen-2036	421	13	4
1-gen-2069	398	14	5

L'analisi di tali risultati consente di concludere che:

- nel caso “Do Nothing” il valore massimo di subsidenza è pari a 193 cm. Tale valore è raggiunto nel 2018 e diminuisce leggermente a 187 cm alla fine della simulazione (2069);
- nel caso “Do Nothing + Sviluppo Area NW+Infilling Area Est”, il valore massimo di subsidenza è pari a 423 cm. Tale valore è raggiunto nel 2033 e si riduce a 398 cm alla fine della simulazione (2069).

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 52 km (Figura 7 e Figura 8).



Il fatto che tutti gli studi geomeccanici, sino a ora eseguiti tenendo conto dei possibili fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra i campi dell'area in esame, concordino nel prevedere che il fenomeno della subsidenza si esaurisca a grande distanza dalla costa (circa 52 km), ha una spiegazione nel particolare assetto geologico dell'area stessa. Tale assetto è ricostruito nella sezione stratigrafico-strutturale di Figura 9, che è stata interpretata su base sismica e controllata con dati di pozzo e nella quale sono evidenziati i rapporti verticali e laterali tra le formazioni (reservoir e copertura) e il substrato.

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 è un'importante barriera idraulica verso costa. La successione terrigena di copertura è, inoltre, relativa a intervalli stratigrafici differenti dalle zone reservoir di Bonaccia-Bonaccia NW.

Tutto ciò limita esclude la possibilità di un'eventuale depressurizzazione e, quindi, compattazione dei sedimenti sia sulla costa sia nelle fasce antistanti al litorale.

Il modello geomeccanico tiene conto della presenza di tale barriera idraulica di tipo sedimentologico-strutturale e, coerentemente, prevede l'esaurimento del fenomeno subsidenziale a grande distanza (circa 52 km) dalla costa.

Inoltre, come analizzato in uno studio del Prof. Colantoni allegato al SIA di Bonaccia NW (11/2011- *Impatti ambientali sulla costa e sui fondali marini dovuti alla subsidenza indotta dalla estrazione di gas dei campi di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia NW (Adriatico Centrale) – Prof. P. Colantoni*), sono da escludersi anche possibili effetti trappola e di richiamo dei sedimenti per effetto della formazione di un cono di subsidenza quale quello previsto dal modello geomeccanico per l'area di Bonaccia. Ciò a causa di una dinamica costiera debole, incapace di trasportare il materiale detritico grossolano di spiaggia tipico dell'area costiera antistante al campo. Sono, pure, da escludersi interferenze nella dinamica deposizionale del fondale, essendo l'area in esame caratterizzata da scarsa sedimentazione. In sintesi, lo studio del Prof. Colantoni evidenzia come la possibile subsidenza indotta dall'estrazione di gas prevista nel progetto di Bonaccia NW, e più in generale dal campo di Bonaccia+Bonaccia Est, non possa alterare sensibilmente i processi naturali di trasporto di materiale solido e di sedimentazione dell'area esaminata.



In ottemperanza alle prescrizioni contenute nel DEC/VIA 2009-0000582 del 15/06/2009 è stato acquisito un rilievo batimetrico nell'area di Bonaccia-Bonaccia Est tra il 29 Novembre 2009 e il 2 Marzo 2010.

L'area investigata è situata nel Mare Adriatico Centrale a circa 65 Km a Est da Ancona (Figura 10a). Il rilievo batimetrico di precisione è stato eseguito mediante ecoscandaglio multi-beam su un'ampia area di 410 Km² comprendente i campi di Bonaccia, Bonaccia Est e l'area di Bonaccia NW. La carta batimetrica che ne deriva evidenzia una topografia alquanto accidentata, caratterizzata da una sorta di depressione centrale (profondità massima rilevata -91.4 m) limitata verso NW e verso SE da due superfici più alte e regolari in lieve pendenza (profondità minima di circa -79.3 m nella parte nord). La rappresentazione 3D (Figura 10b) mostra chiaramente l'andamento generale e le strutture sedimentarie dei fondali, mentre il dettaglio delle isobate è riportato in Figura 10c.

L'area del rilievo si può idealmente dividere in tre zone, separate all'incirca dalle batimetriche di -83/-84 m: due zone laterali, una a nord-ovest e l'altra a sud-est dell'area, dal fondale piuttosto regolare con basse pendenze e una zona centrale più profonda e articolata. In particolare, si può notare come questa zona centrale sia la più irregolare e presenti diffuse emanazioni di gas, accompagnate da ampie depressioni, affioramenti di rocce e qualche vulcano di fango.

Canali e molte strutture tipo pockmark, buchi e depressioni accompagnate da qualche concrezione sono, tuttavia, presenti anche nella zona di Nord-Ovest. Più regolare appare invece il dolce pendio della zona di Sud-Est, il quale è tuttavia interrotto verso Est da una netta rottura di pendenza, con un gradino da 83 a 87 m di profondità, causato dalla nicchia di distacco di una frana sottomarina.

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 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 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 alle piattaforme di Barbara NW, 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 un numero di misure ancora poco consolidato; 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, 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 ¹ sono state poi raggruppate nelle seguenti 5 classi:

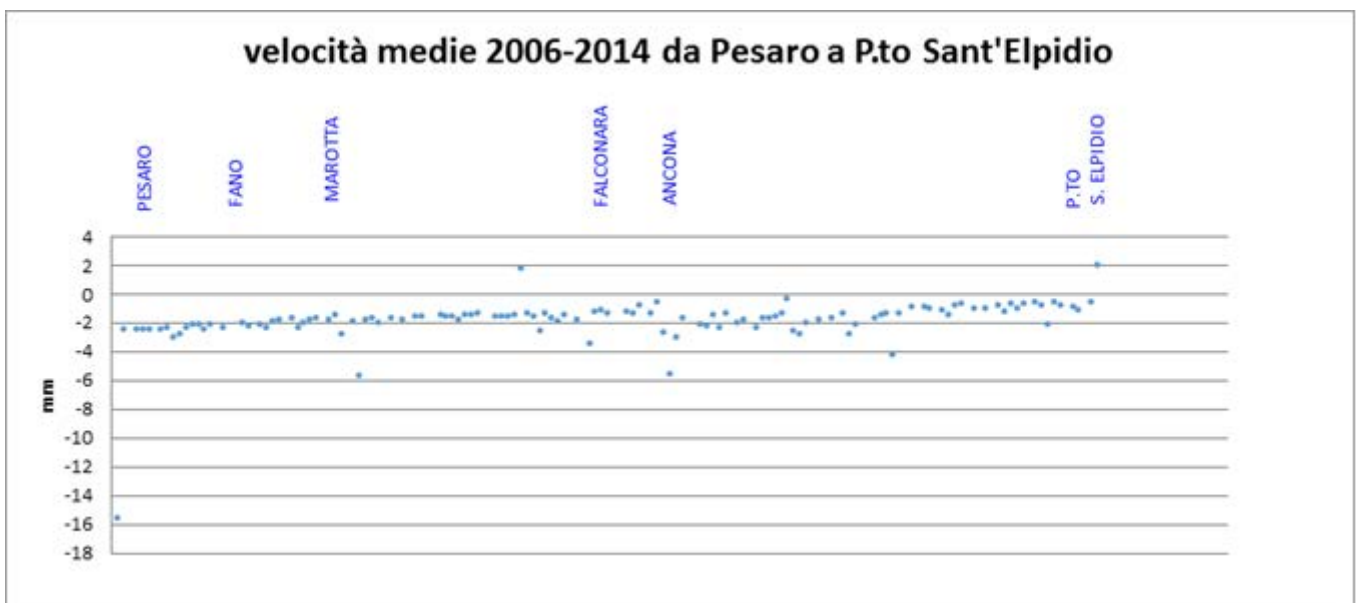
- classe 4: include i capisaldi con $V_a > 10$ mm/a;
- classe 3: include i capisaldi con $5 \leq V_a < 10$ mm/a;
- classe 2, include i capisaldi con $3 \leq V_a < 5$ mm/a;
- classe 1: include i capisaldi con $0 \leq V_a < 3$ mm/a;
- classe 0: include i capisaldi con $V_a < 0$ (sollevamento del suolo).

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 2006-2011 mostra per l’area in esame un quadro di generale abbassamento (Figura 1), 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.

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

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 1 – 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 aggiornarne la copertura SAR (settembre 2014) per un'analisi integrata con i dati delle livellazioni (Appendice 1). Il confronto mostra come i profili altimetrici (Figura 11), pur se ottenuti con sistemi di monitoraggio molto diversi, abbiano un andamento del tutto comparabile senza particolari criticità.



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

Le attività di monitoraggio sono state integrate negli ultimi anni con le misure di un numero crescente di stazioni CGPS installate nelle piattaforme offshore. Dal 2007, infatti, sono state installate stazioni CGPS sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), Anemone B (agosto 2007), Annalisa (ottobre 2007), Calipso, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007); Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), Clara W (ottobre 2010) e Guendalina (agosto 2011); le stazioni CGPS di Naide e PCC risultano, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. Nel 2014, sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra, Fauzia e Barbara E, la cui serie storica è troppo breve per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la realizzazione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate 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 costruite 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.

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 Bonaccia, certificati fino al 2013 e in fase di certificazione fino al 2014, sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2014 (Figura 12), 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 3.

Tabella 3 – Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2013

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
Bonaccia	5.89	12,81	-94,05	5,75	13,34	-93,94	0,14	0,53	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 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 per 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 5.0, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). Nel corso del 2013, a seguito del rilascio del nuovo sistema di riferimento, sono stati rielaborati tutti i dati secondo il sistema ITRF2008-IGB08, al quale fanno riferimento i grafici della presente relazione.

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

Nel caso di Bonaccia, sulla base di una serie storica superiore ai 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale² misurata dal CGPS pari a -87,2 mm/a (Figura 11), in calo rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-93.7 mm/a al 2013).

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del 2014 sono stati confrontati con quelli misurati dalla stazione CGPS (Figura 13) senza che questi ultimi siano stati depurati

² 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.

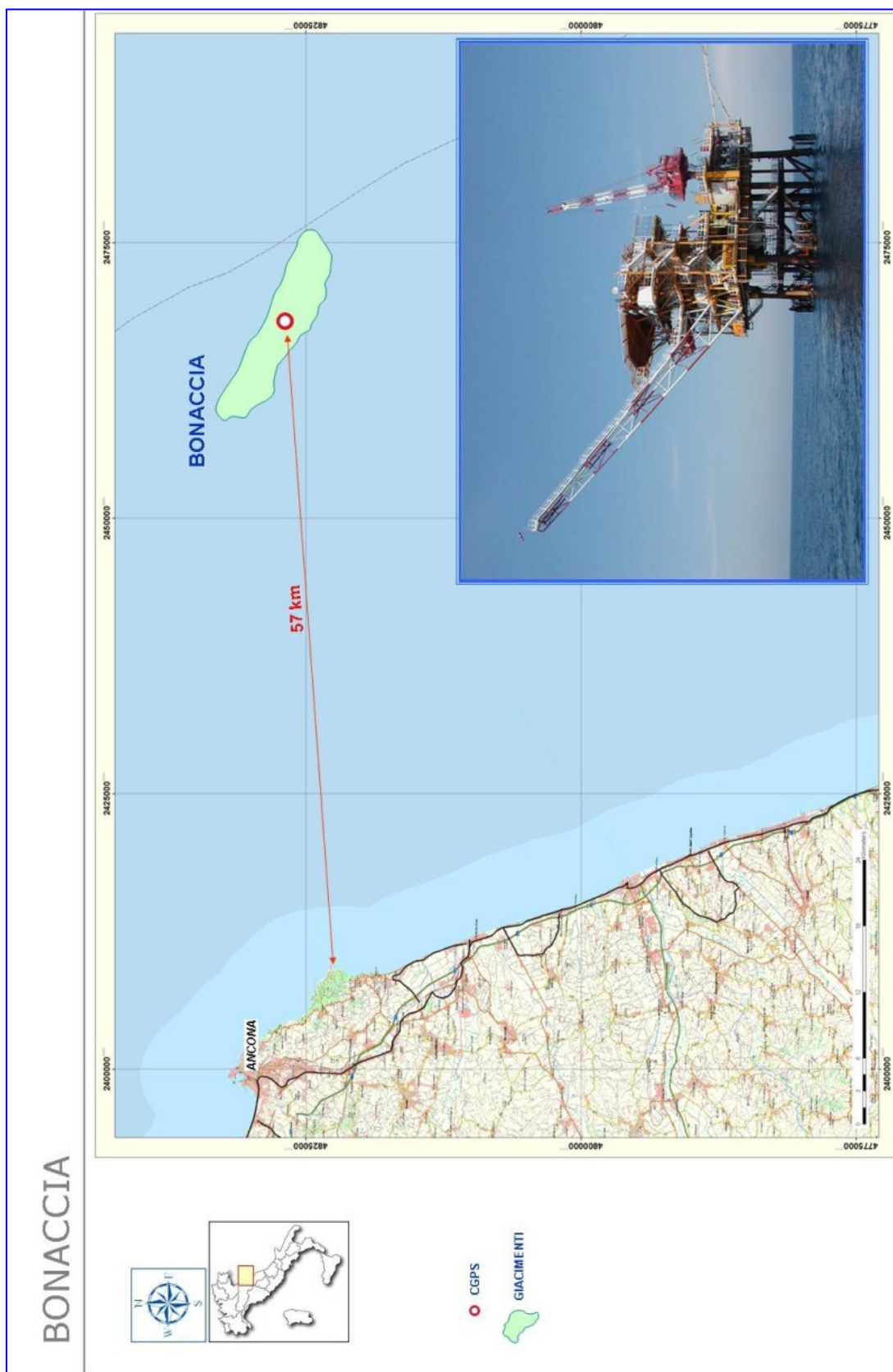


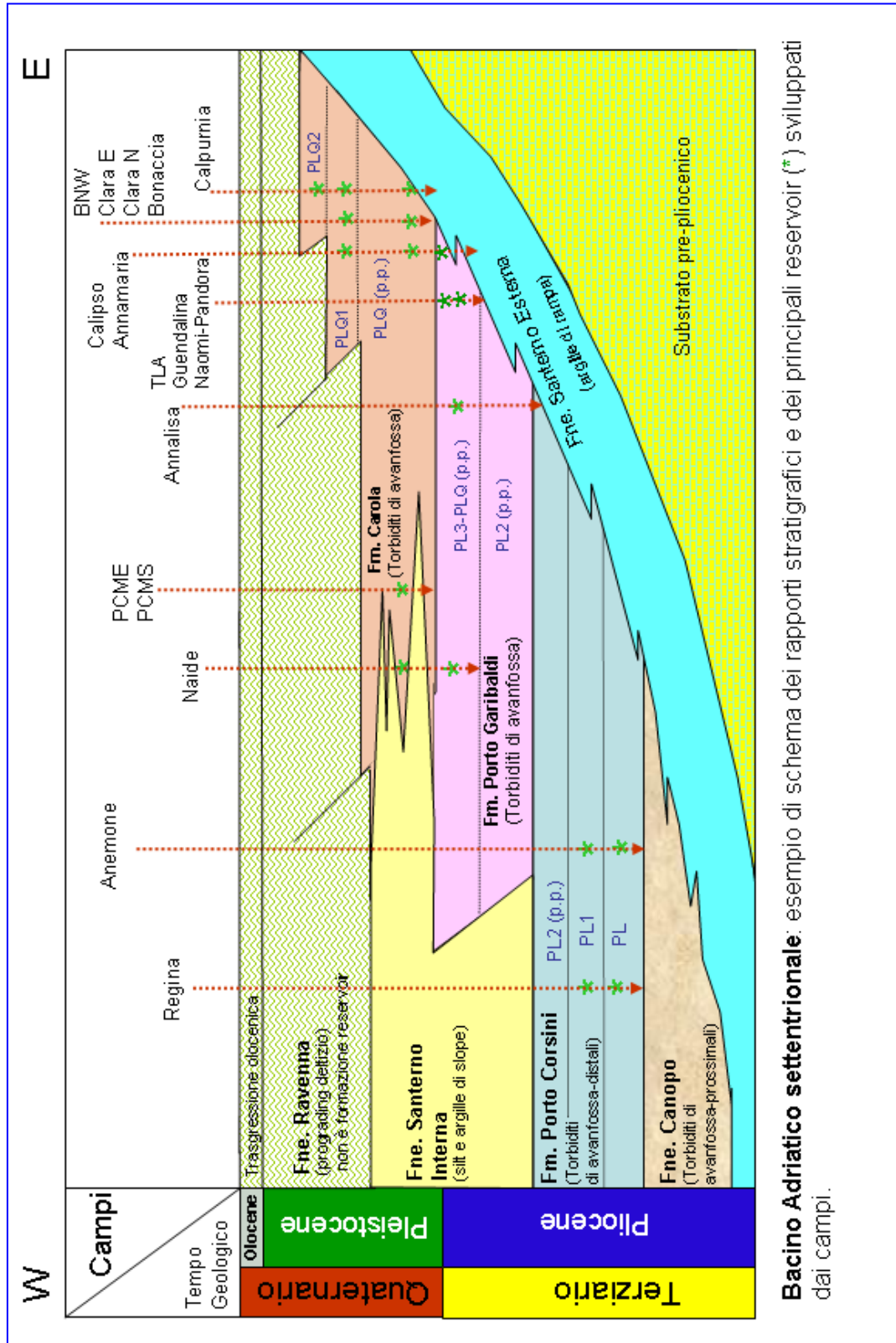
dalla componente di subsidenza naturale. In Figura 14, si può notare come l'andamento delle misure CGPS sia in linea con il trend previsionale.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza, la notevole distanza del campo dalla costa (57 km) e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dal campo di Bonaccia 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.





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

Figura 3 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI BONACCIA	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 07/2014	Profilo di Produzione calcolato da Modello ECLIPSE 3D 09/2011	Gas.Prodotto reale al 31-12-2014	Profilo di Produzione calcolato da da Modello ECLIPSE 3D 07/2014	Profilo di Produzione calcolato da da Modello ECLIPSE 3D 09/2011	Gas.Prodotto reale al 31-12-2014	Percentuale Gas Prodotto vs. produzione finale attesa
ANNO	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Cumulativa) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3	(Produzione anno) MSm3	
1999	348	348	348	348	348	348	4%
2000	825	825	825	477	477	477	9%
2001	1297	1297	1297	472	472	472	14%
2002	1704	1704	1704	408	408	408	18%
2003	2058	2058	2058	353	353	353	22%
2004	2404	2404	2404	346	346	346	26%
2005	2700	2700	2700	297	297	297	29%
2006	2950	2950	2950	250	250	250	31%
2007	3213	3183	3183	262	233	233	34%
2008	3494	3563	3563	281	380	380	38%
2009	3767	3861	3861	273	298	298	41%
2010	4135	4159	4159	368	298	298	44%
2011	4559	4523	4532	424	364	373	48%
2012	4936	4870	4842	377	347	310	51%
2013	5256	5201	5100	323	331	258	54%
2014	5523	5657	5322	265	456	222	57%
2015	5941	6080		418	423		
2016	6540	6455		599	375		
2017	7093	6823		552	368		
2018	7542	7130		449	307		
2019	7887	7379		345	249		
2020	8154	7588		267	209		
2021	8374	7751		220	163		
2022	8571	7898		197	147		
2023	8728	8059		158	161		
2024	8860	8205		131	146		
2025	8965	8322		105	117		
2026	9051	8415		87	93		
2027	9121	8486		70	71		
2028	9181	8542		61	56		
2029	9226	8607		45	65		
2030	9275	8687		49	80		
2031	9316	8764		41	77		
2032	9349	8835		33	71		
2033	9378	8904		29	69		
2034	9405	8972		27	68		
2035	9415	9026		10	54		
2036		9058			32		
2037		9073			15		
2038		9083			10		

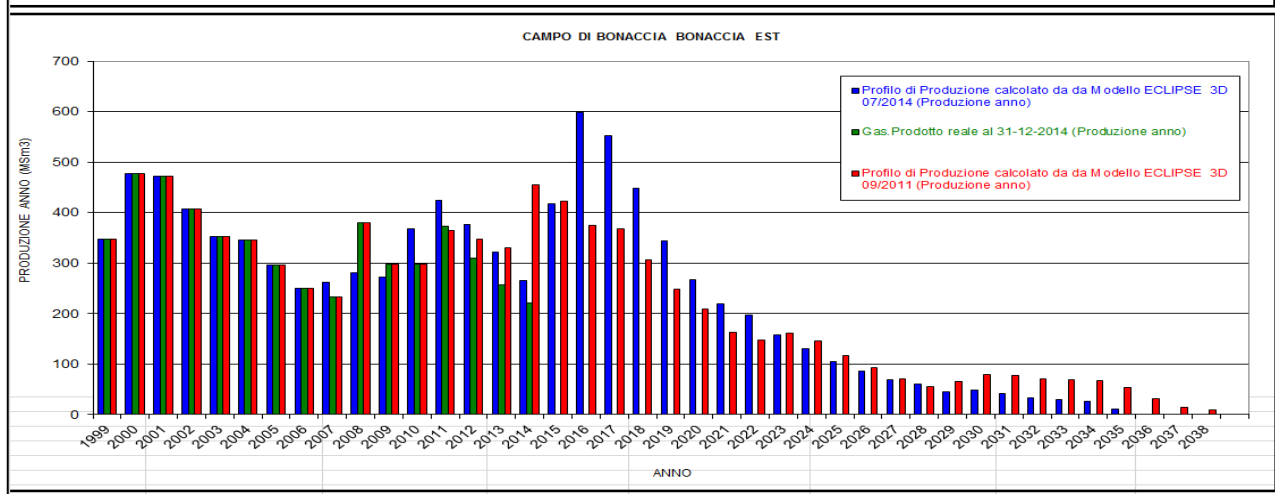
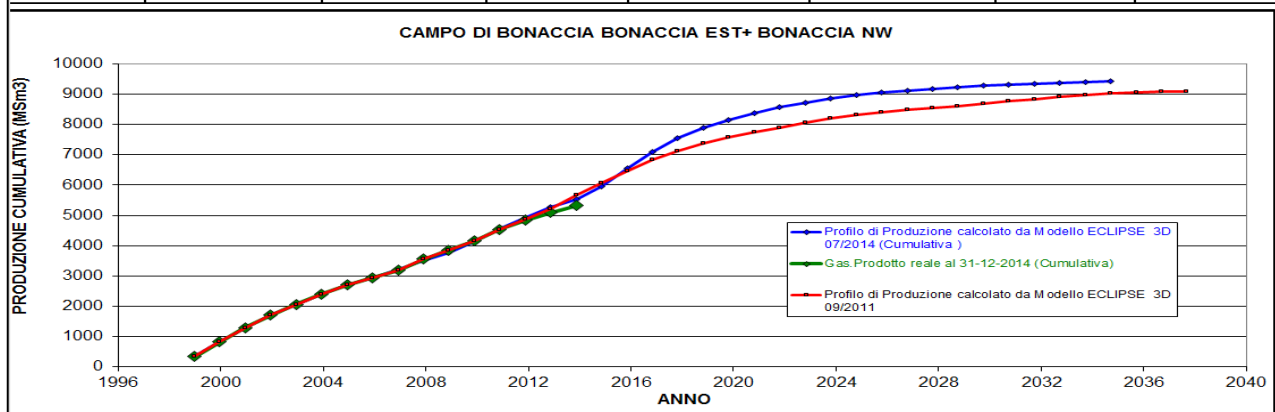


Figura 4 – Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse

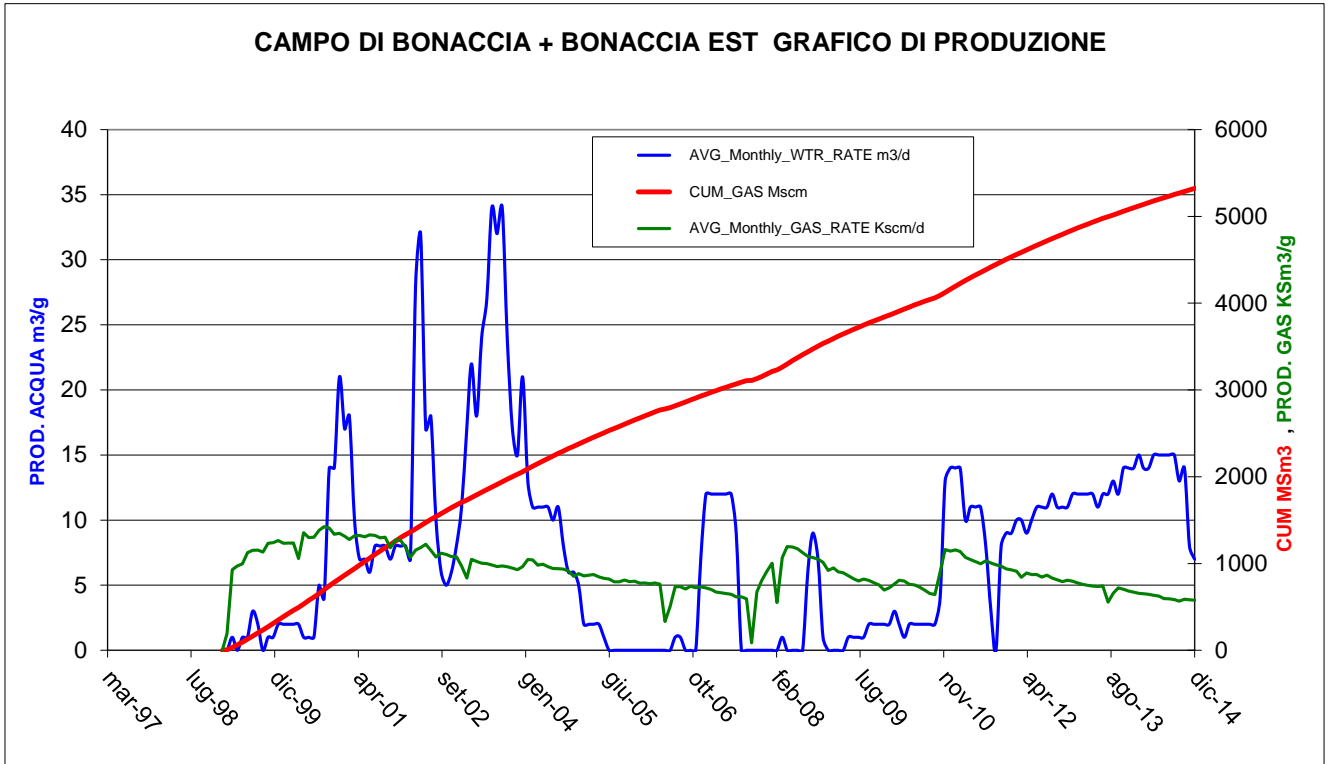


Figura 5 – Campo di Bonaccia: grafico della produzione storica

Profilo di produzione calcolata da modello ECLIPSE 07/2014	SBHP calcolata dda modello ECLIPSE 07/2014	SBHP (pozzo 7L) Misurata da profilo statico	SBHP (pozzo 8L) Misurata da profilo statico	SBHP (pozzo BE3) Misurata da profilo statico
PLQ-B	PLQ-B	Barsa	Barsa	Barsa
0	107	106.9		
40	106			
159	102	100.8		
268	100			
349	94			
400	92			
578	83			
696	80			
786	78			
815	77		76.8	
872	78.0	79		
961	76.0			
1068	72.8			98.3
1220	59.7			
1251	58.4			
1358	53.7			
1493	48.4			
1615	44.8			
1750	41.0			
1850	39.0			
2117	38.3			
2142	37.8		39	
2331	33.9			
2331	33.8	32		
2420	30.4			
2487	28.1			
2539	26.3			
2616	23.9			
2644	23.0			
2665	22.2			
2679	21.8			
2685	21.5			
2691	21.1			
2696	20.7			
2701	20.2			
2706	19.9			
2711	19.5			
2720	18.9			
2724	18.7			
2733	18.2			
2737	18.0			
2745	17.7			
2748	17.5			
2755	17.1			

DATA	SBHP Misurata da profilo statico	SBHP Misurata da profilo statico	SBHP Misurata da profilo statico
	7L	8L	BE 3
01/01/1998	103.9		
01/02/2000	97.9		
01/05/2004		76.8	
01/05/2010			93.8
01/04/2011		39	
14/12/2013	32.0		

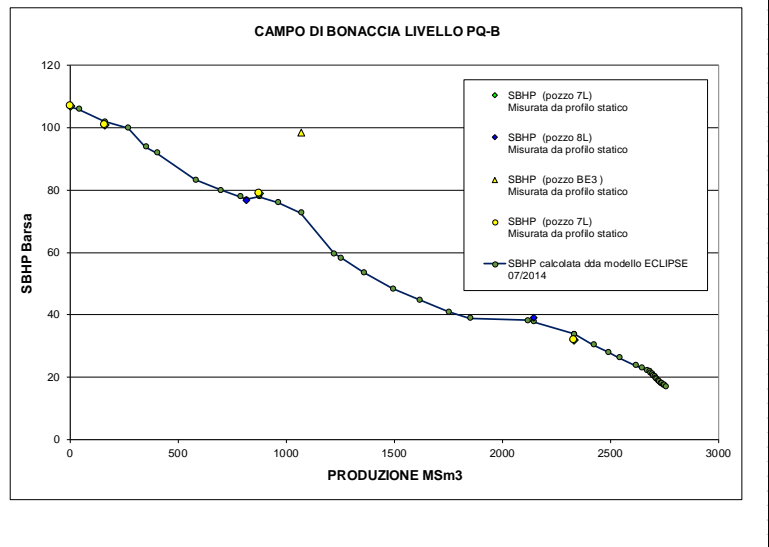


Figura 6 – confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 07-2014

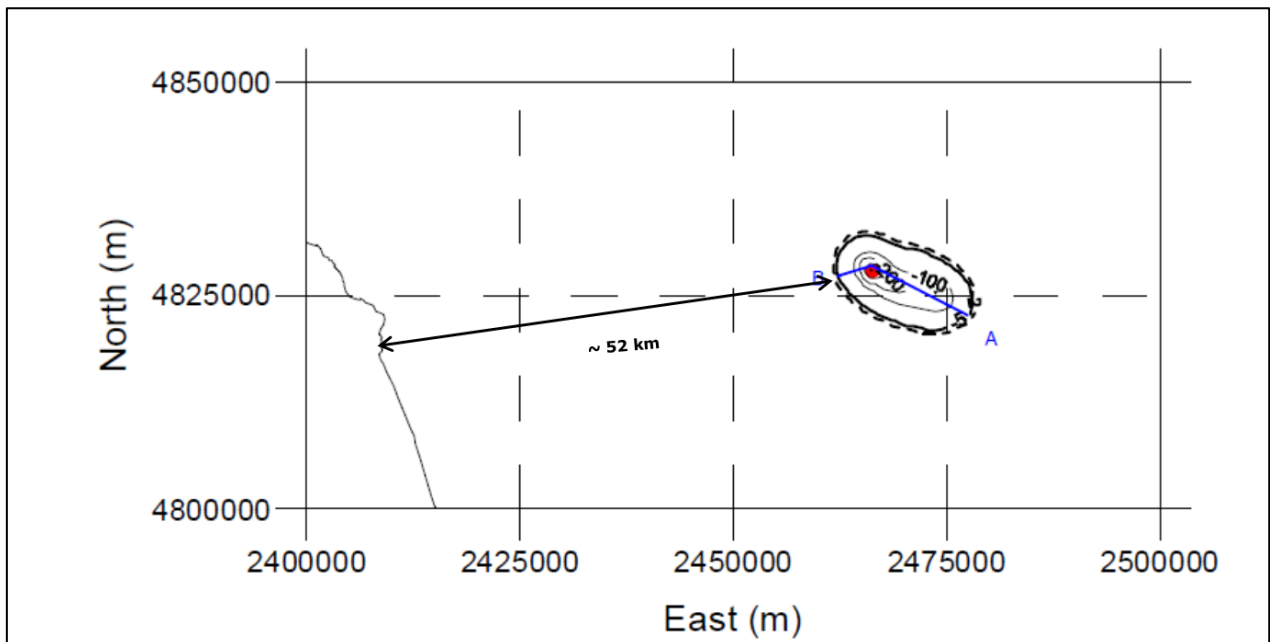


Figura 7 – Campo di Bonaccia: curve di isosubsidenza a fine produzione (2036)
caso “Do Nothing + Sviluppo + Infilling area Est”

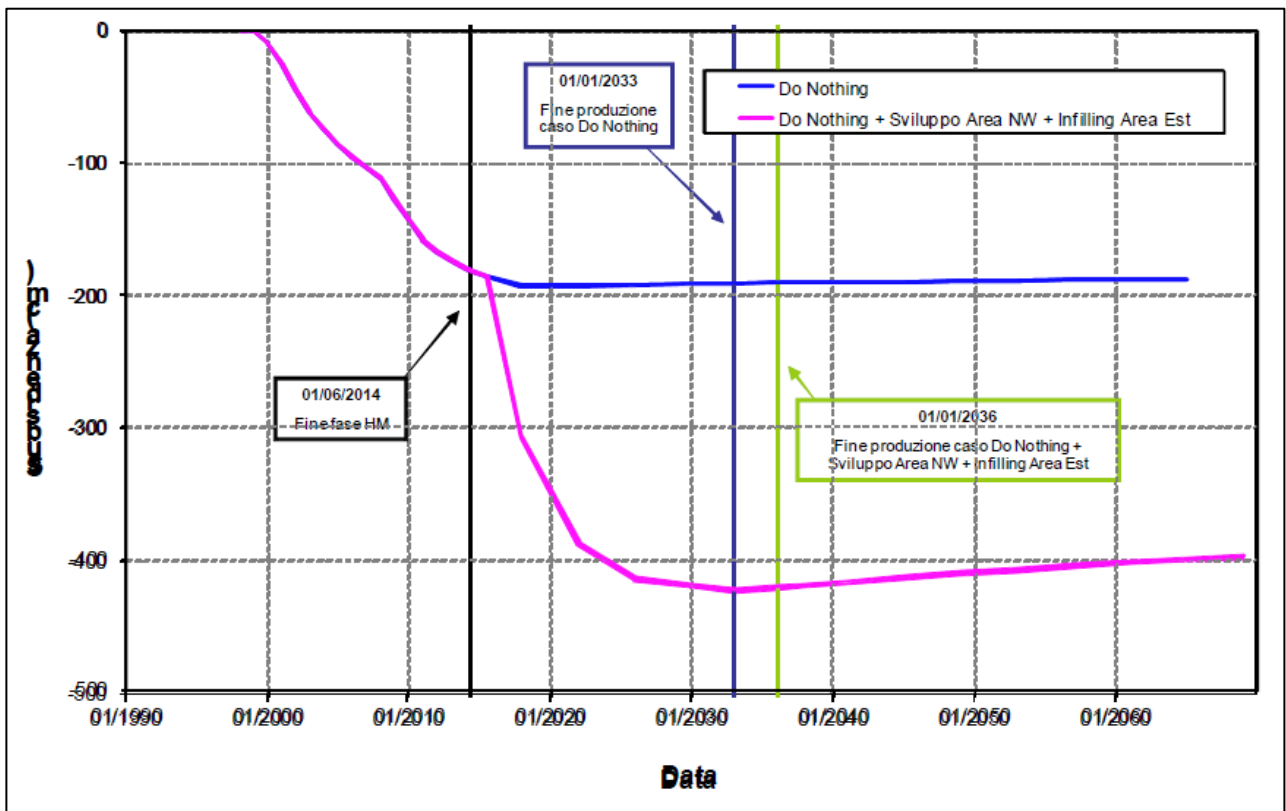


Figura 8- Campo di Bonaccia: evoluzione nel tempo della subsidenza

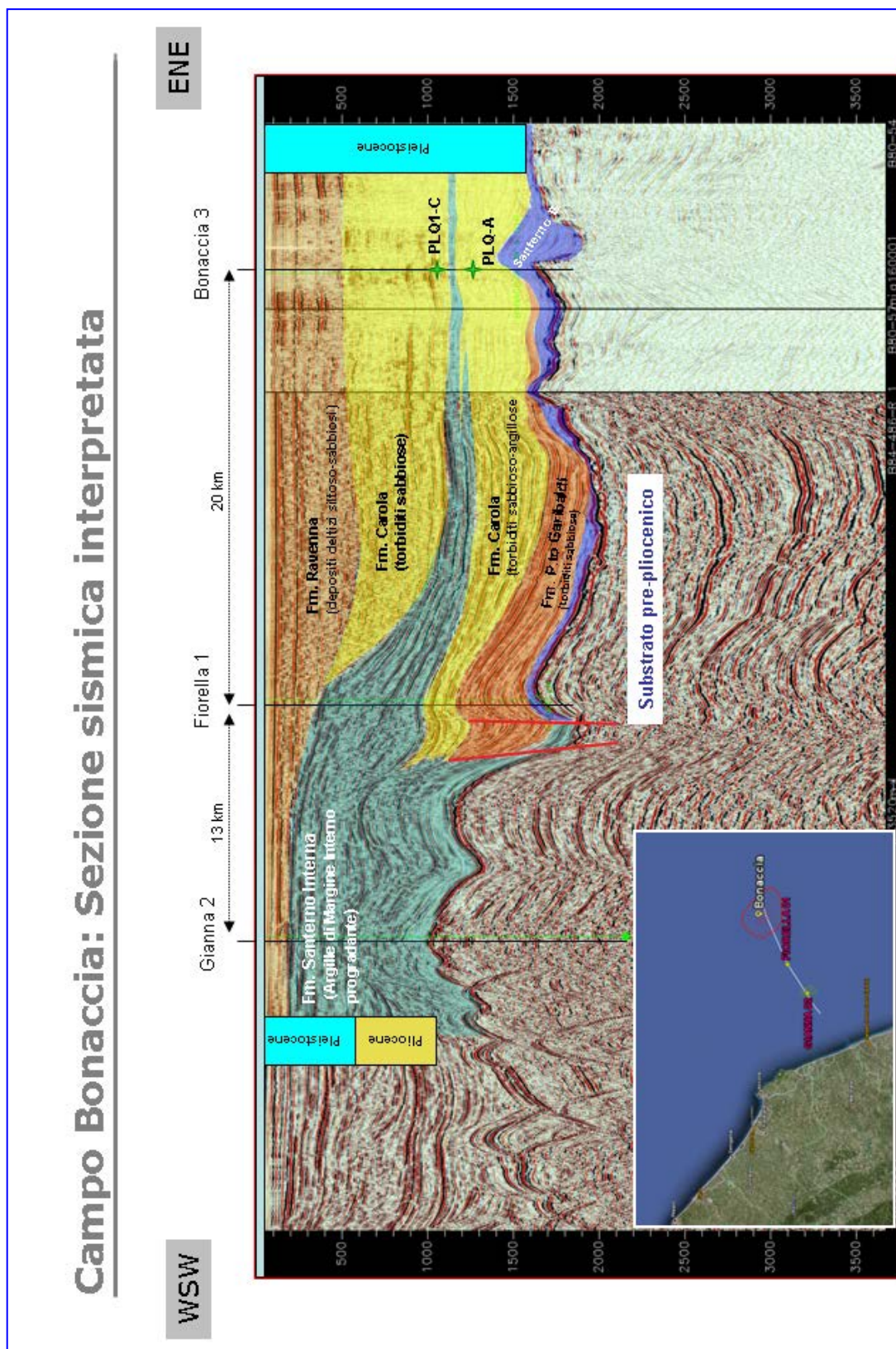
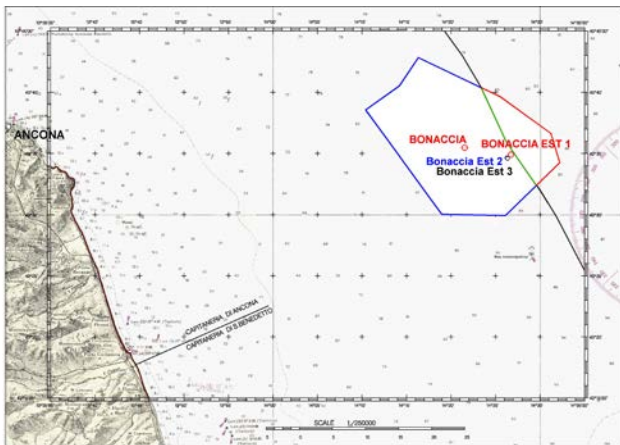
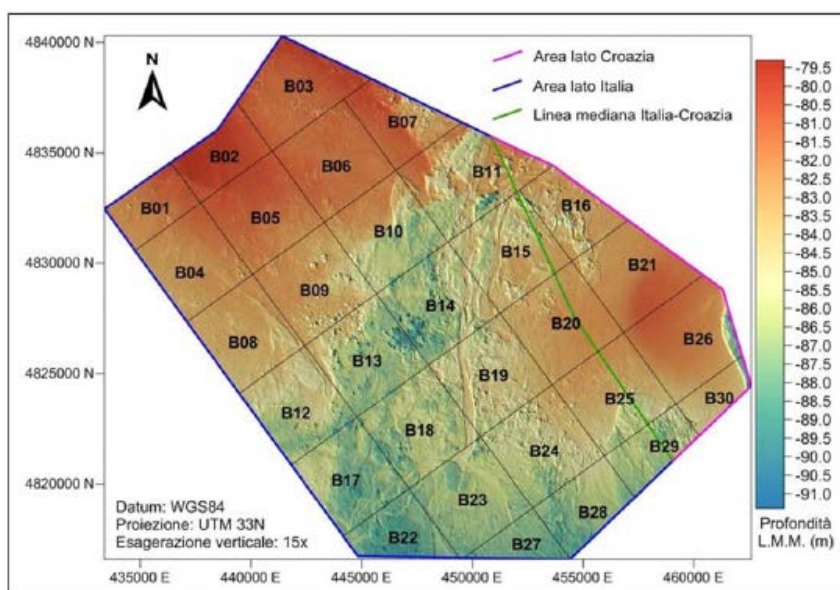


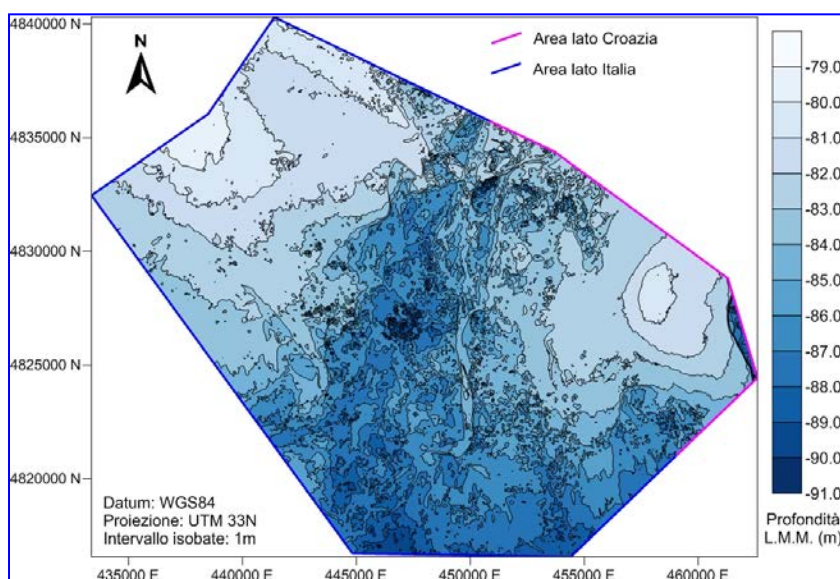
Figura 9 - Sezione sismica interpretata



a) Ubicazione dell'area indagata con ecoscandaglio e localizzazione dei campi a gas



b) Carta batimetrica 3D dell'area rilevata



c) Carta batimetrica dell'area rilevata - mappa-

Figura 10: Rilievo batimetrico

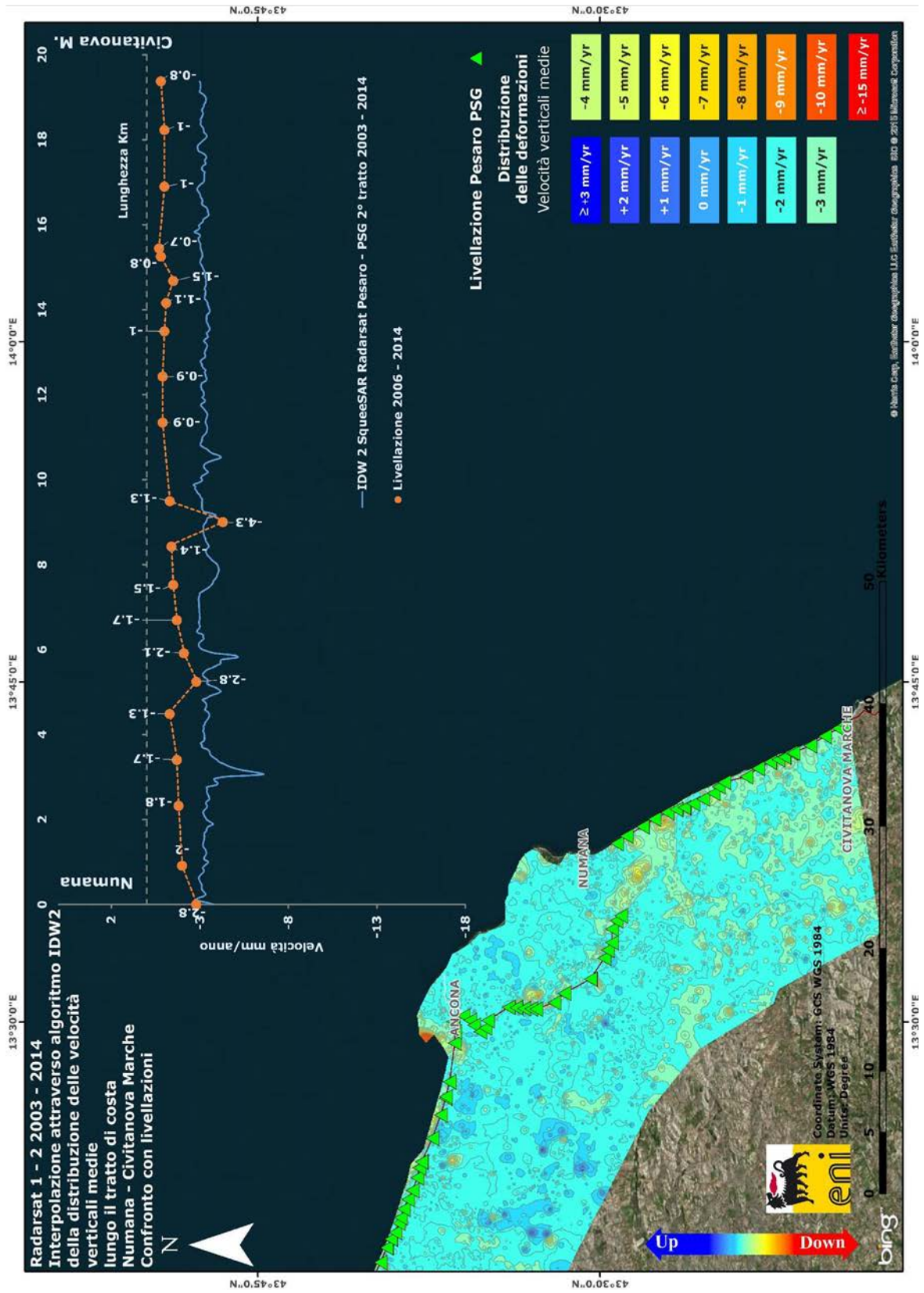


Figura 2 – Campo di Bonaccia: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2014

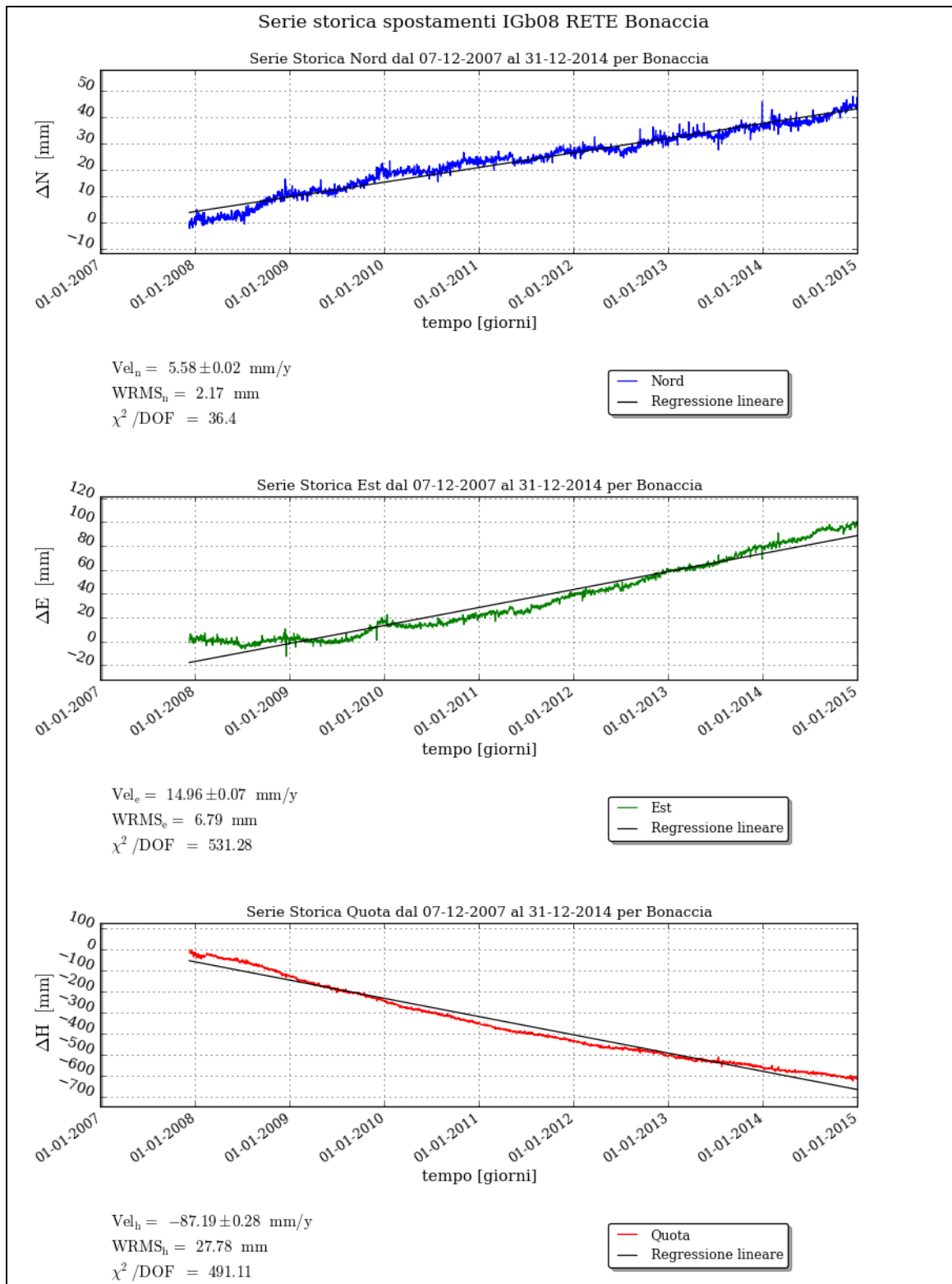


Figura 3 - Serie storiche plano-altimetriche CGPS Bonaccia



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

Figura 4 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di dati CGPS vs. modelli

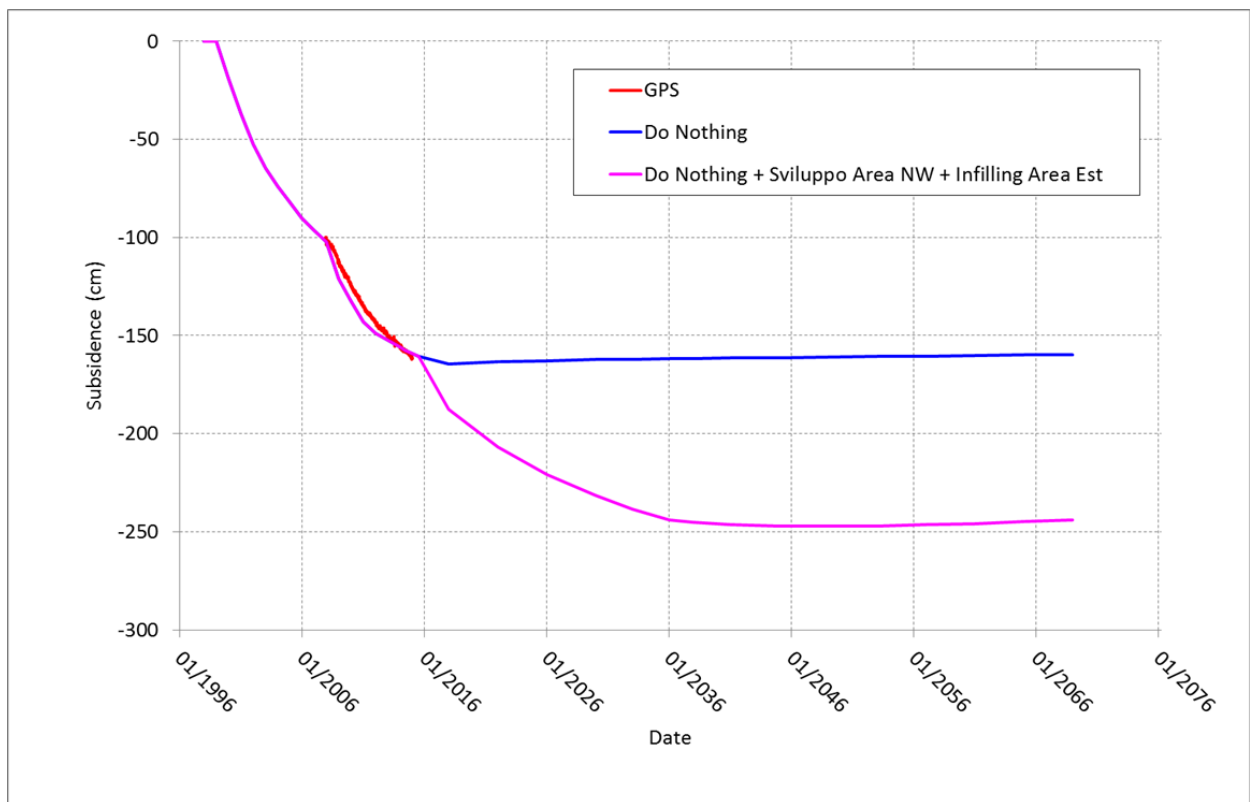


Figura 5 - Campo di Bonaccia: Abbassamento misurato e calcolato in corrispondenza del CGPS



DATI DI CAMPO		DECRETO VIA n.0000582 del 15 giugno 2009 (Bonaccia Est)	
UBICAZIONE PROFONDITA' FONDALE		AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA	
offshore - 57 Km a E Monte Conero 82 m		SIA (BONACCIA-BONACCIA EST) ULTIMO AGGIORNAMENTO (con BONACCIA NW)	
LITOLOGIA		STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "luglio '07"
FORMAZIONE RESERVOIR		RISERVE (MSm3)	MOD. STAT. E DINAM. ECLIPSE 3D "luglio '14"
ZONA MINERARIA		MOD. GEOMECCANICO	9415
PROFONDITA' RESERVOIR		ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ settembre 2007	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ novembre 2014
TIPO DI PIATTAFORMA		MAX SUBS AL CENTRO (cm)	423 (@ 2040)
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE		MAX. DIST. DAL CULMINE (Km)	8 (@ 2042)
			5 @ 2069
		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE		LIVELLAZIONI	
B.C17.TO	D.M @giu 2009 @ 31 dic 2014	DAL 2006 SONO OPERATIVE NUOVE LINEE DI LIVELLAZIONE IN ALTA PRECISIONE (DORSALE PESARO-PT.S.GIORGIO)	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	18/10/2018	NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO	
N. POZZI		ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE, CERTIFICATI UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM, RELATIVI AGLI ANNI:	
Bonaccia		# 2006-2009, 2011 e 2014	
Bonaccia Est	2	IL PROSSIMO RILIEVO DELLA " DORSALE PESARO-PT.S.GIORGIO " SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2017	
RISERVE TECNICHE (campo)		NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO	
A VITA INTERA (MSm3)	6305	MARKERS	
	9415	NON PRESCRITTI	
START UP PRODUZIONE		CGPS	
Bonaccia	feb-99	NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2009 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA	
Bonaccia Est	ott-10	CENTRALE ENI DI P.TO S.ELPIDIO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA	
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2029	SAR	
	2035	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ SETT.2014 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA	
GAS PRODOTTO (MSm3)		PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.MA BONACCIA NEL PROGRAMMA DI	
	5322	MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	
% RISERVE PRODOTTE		BATIMETRIE	
	57%	ESEGUIITO RILIEVO BATIMETRICO. DATA RILIEVO NOV.2009-MARZO 2010	

Figura 6 - Scheda di sintesi dati campo



Figura 7 - Particolare della rete di monitoraggio Eni



Appendice 1: aggiornamento dati SAR 2003-2014

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Fig.1A – Mappa calibrazione dati SAR

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

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

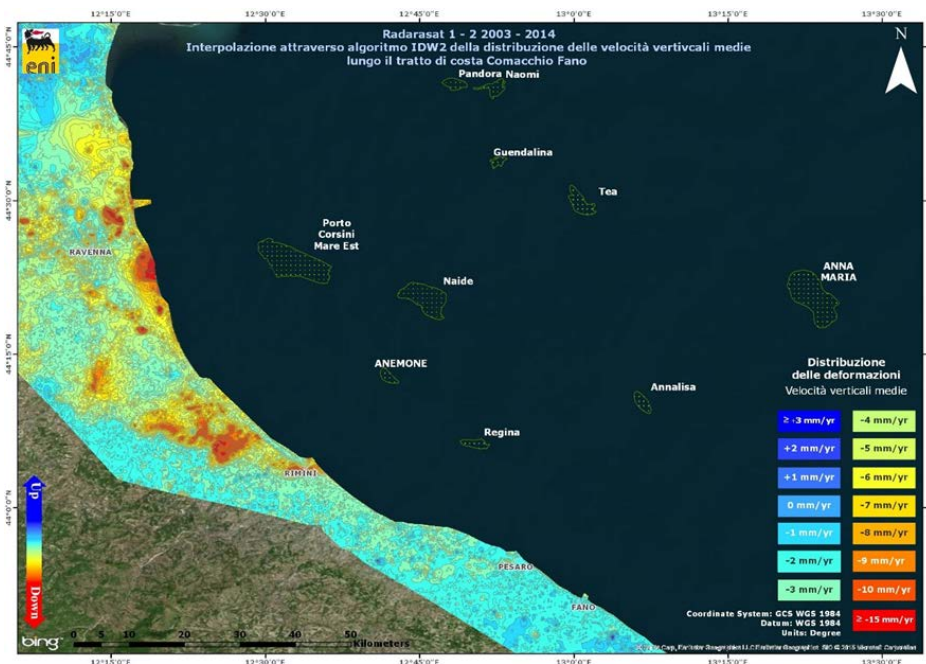


Fig. 2A – Tratto di costa da Comacchio a Fano: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

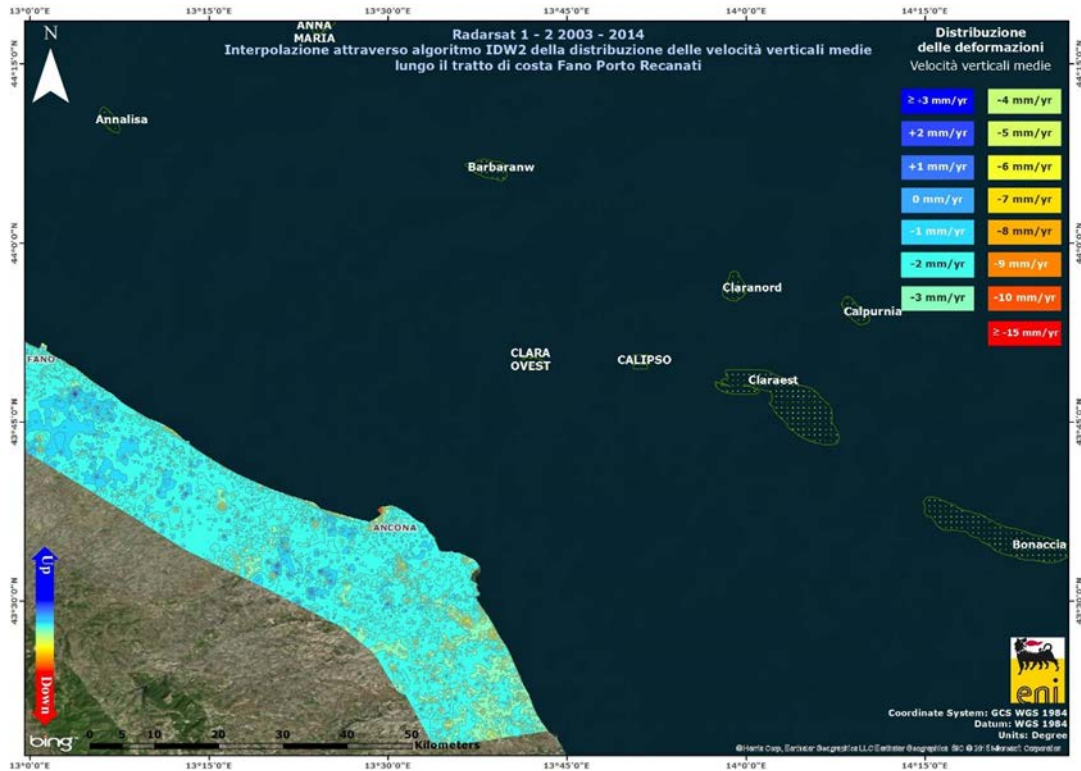


Fig. 3A – Tratto di costa da Fano a Porto Recanati: interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2 per il periodo 2003 – 2014 con il Tool Math – Spatial Analyst di ArcGIS

Confronto dati SAR 2003 – 2013 vs. 2003 – 2014

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

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

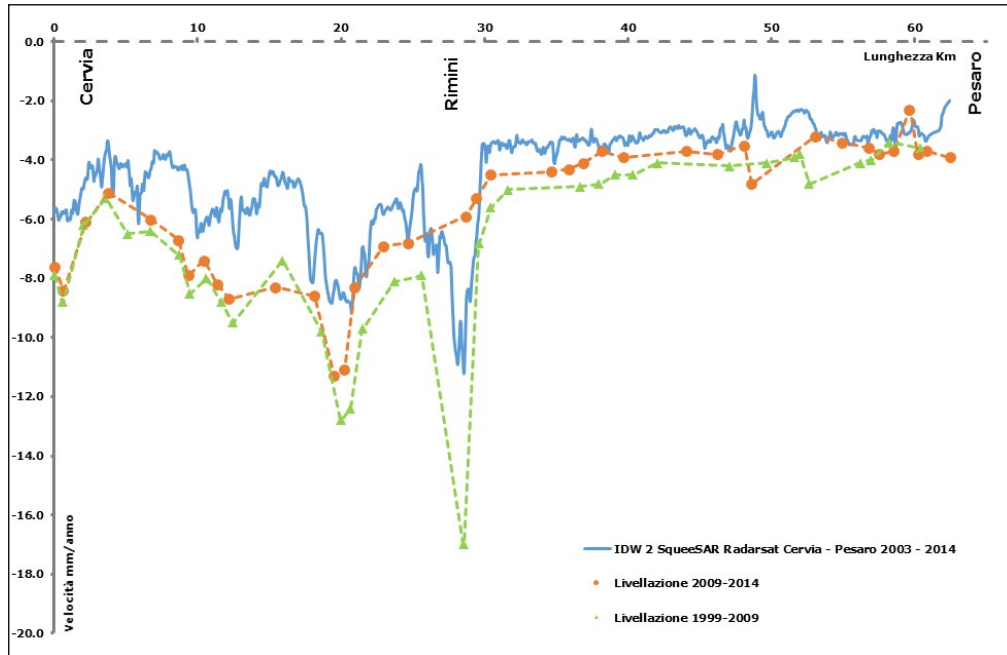


Fig. 9A – Tratto Cervia – Pesaro: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e le campagne di livellazione 1999-2009 e 2009-2014. In corrispondenza di Rimini, si nota un abbassamento registrato dal SAR e dalle livellazioni del periodo 1999-2009, che, però, non compare nelle livellazioni del periodo 2009-2014. Tale anomalia è da attribuirsi alla perdita del caposaldo 00305400

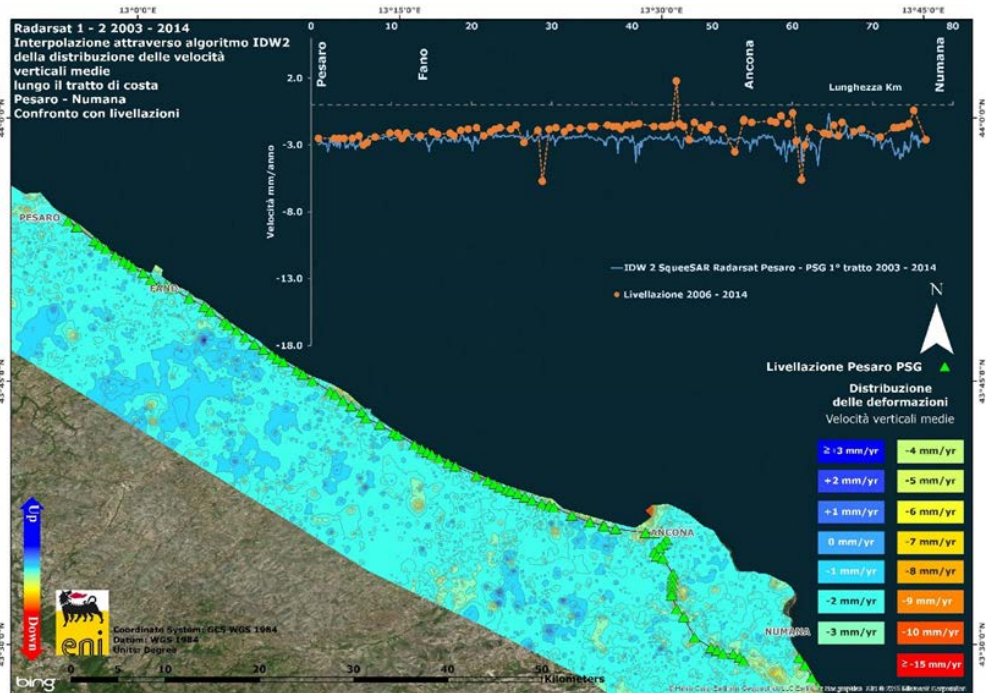


Fig. 10A – Tratto Pesaro – Numana: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

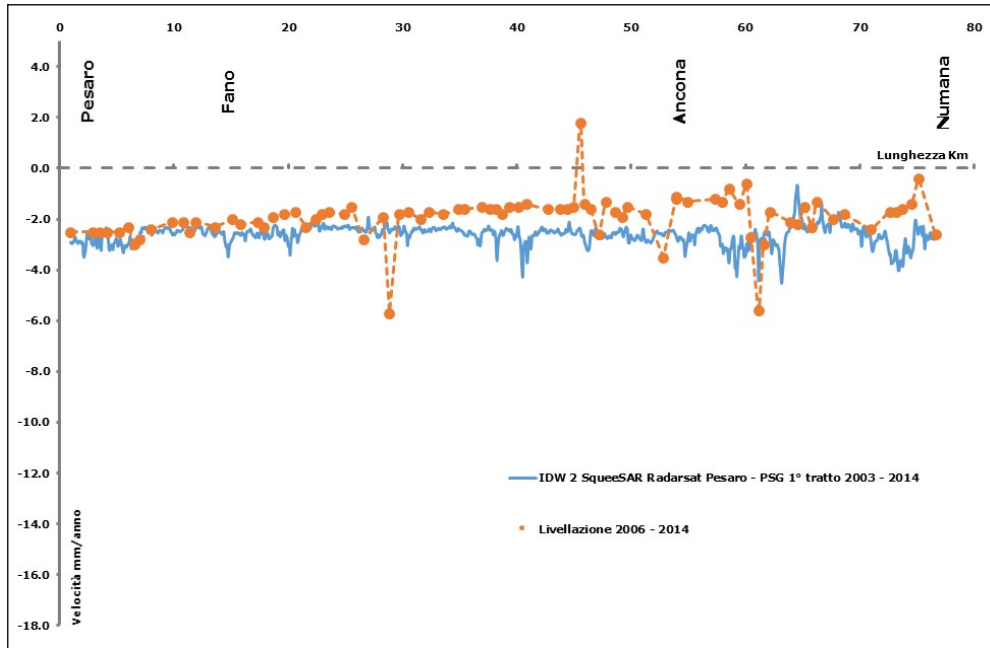


Fig. 11A – Tratto Pesaro – Numana: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si osservano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

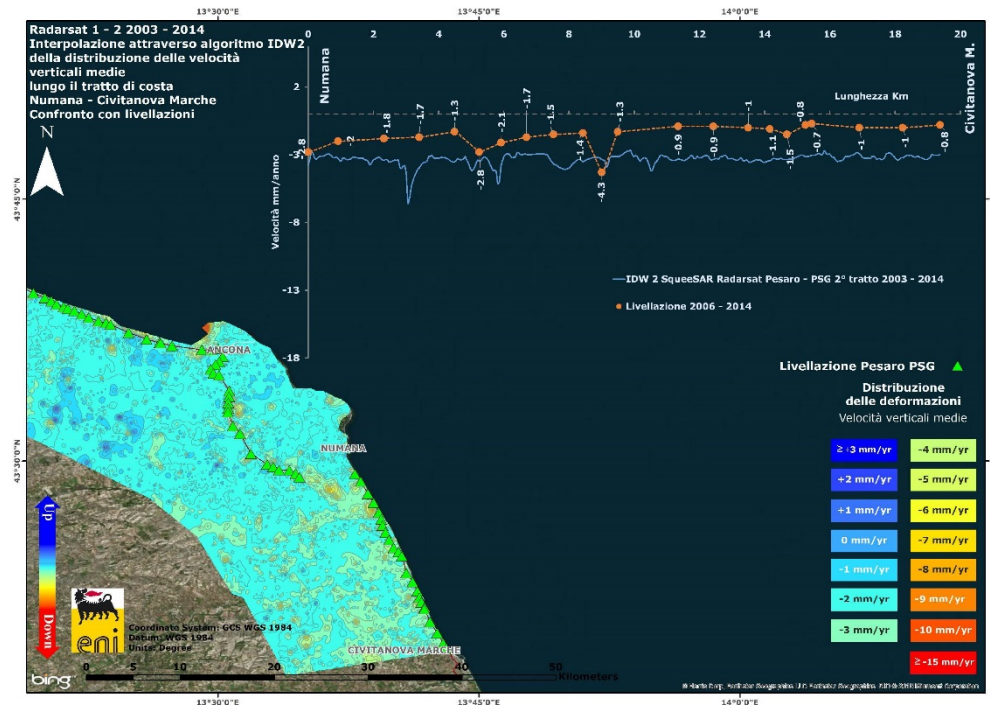


Fig. 12A – Tratto Numana – Civitanova Marche: confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014

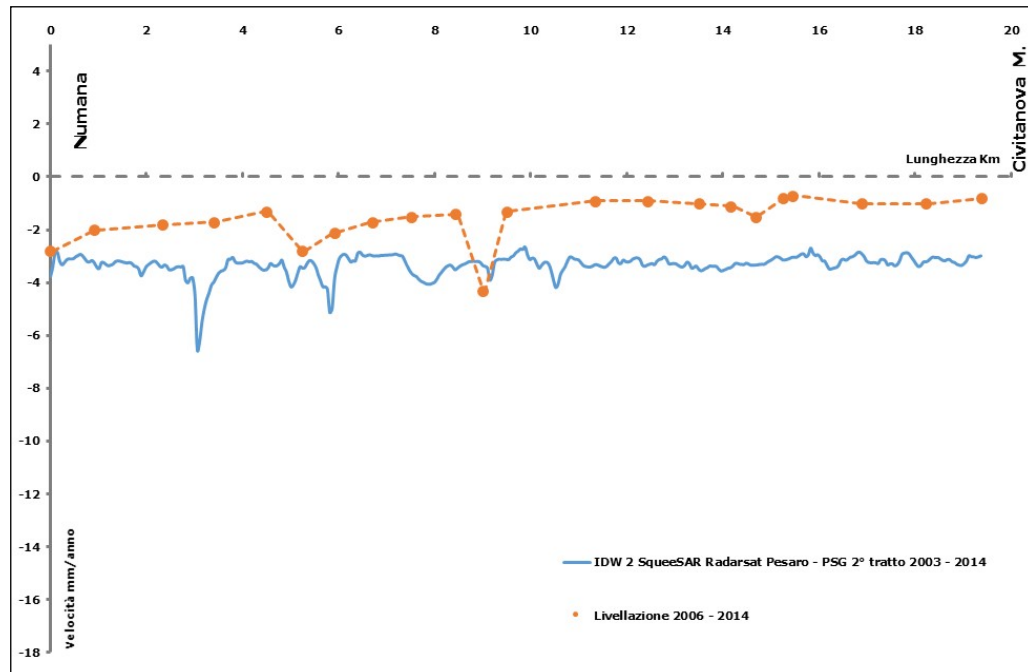


Fig. 13A – Tratto Numana – Civitanova Marche: dettaglio del grafico di confronto tra il database Radar-sat 1-2 per il periodo 2003-2014 e la campagna di livellazione 2006-2014. Non si notano anomalie: i due metodi descrivono lo stesso andamento

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

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 1B.

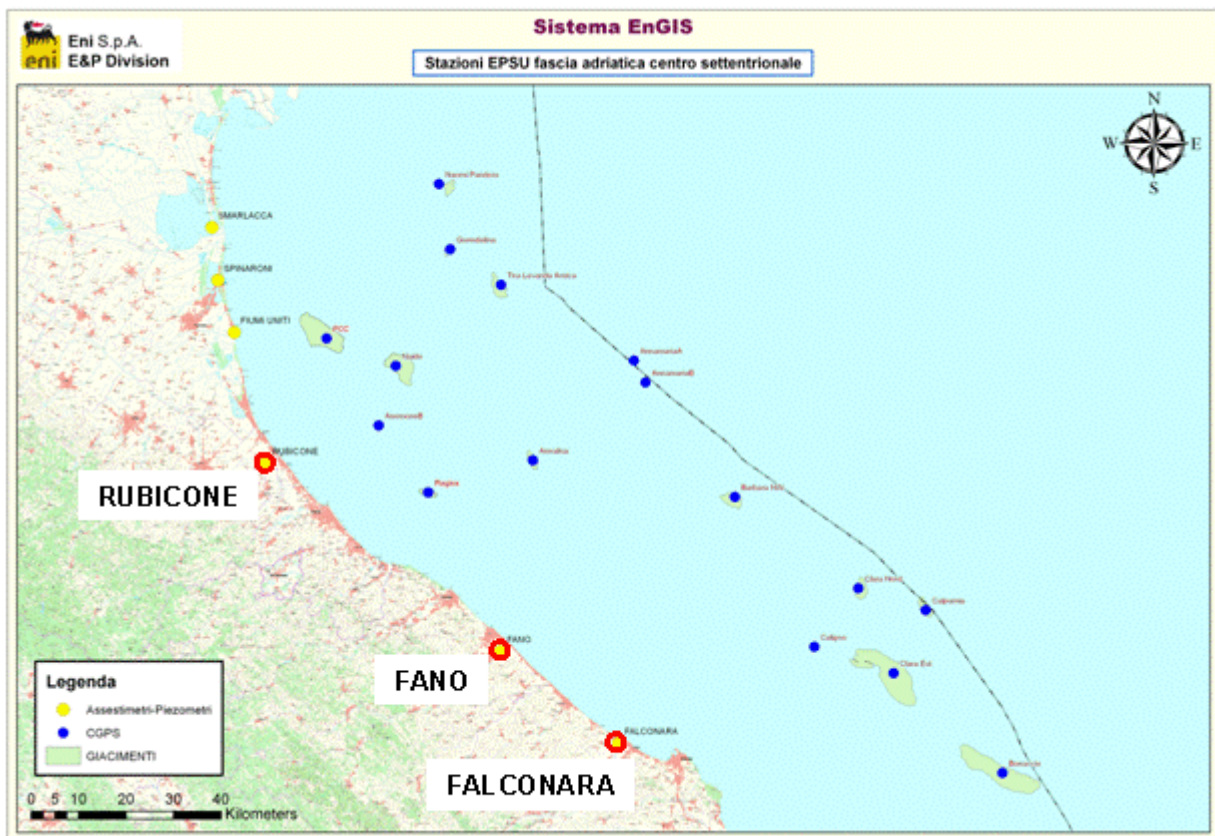


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

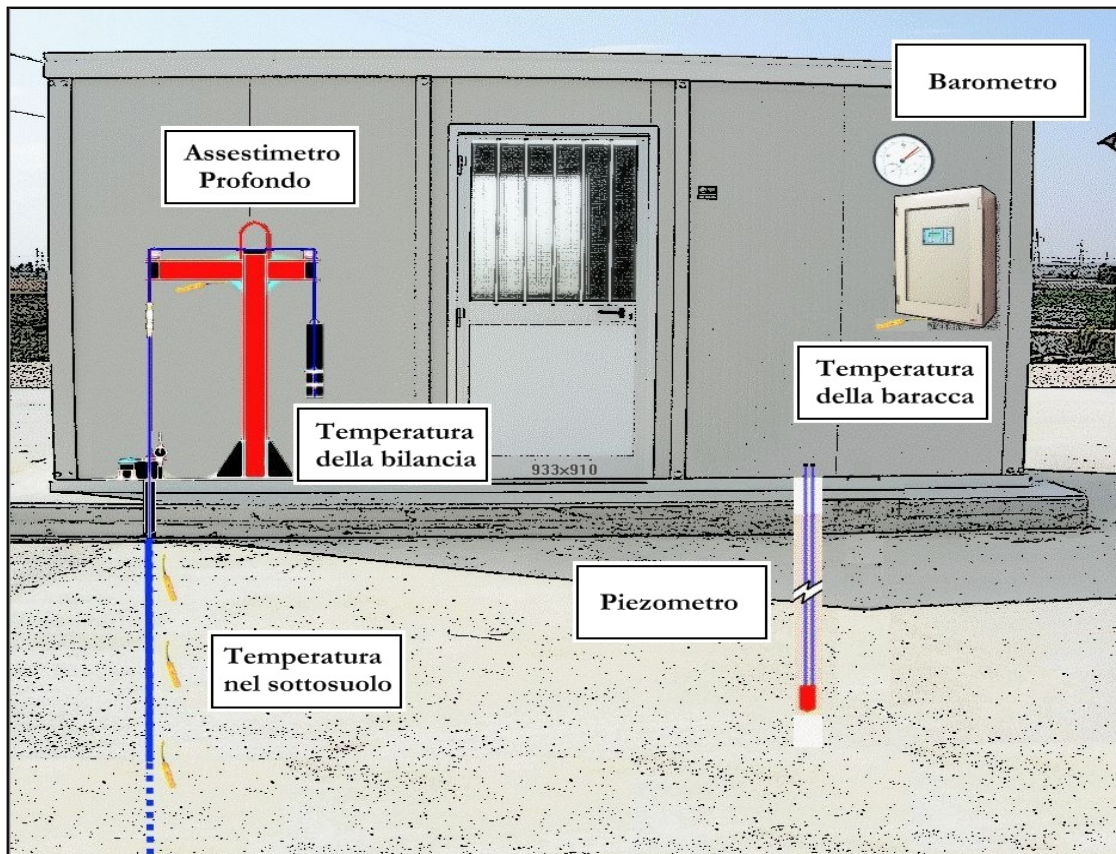


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU



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	40,8m	Lug. 2008
	CGFNP-1	Piezometro superficiale	6,1m	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 si allegano:

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

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



Stazione EPSU di 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 2014.

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 una compattazione, valori negativi, viceversa, un incremento del-



lo spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel caso della stazione di Rubicone, la variazione nel tempo delle misure assestometriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio ben correlabile con le variazioni di livello delle falde acquifere registrate dal piezometro doppio.

In particolare, l'assestometro ha registrato a partire dai primi mesi di funzionamento una compattazione crescente giunta a un massimo di circa 9,5 mm (ottobre 2009), per poi decrescere, fino quasi ad azzerarsi, nel periodo marzo-aprile 2010. A partire da metà maggio 2010 le misure mostrano una ripresa nel verso positivo (cioè aumento della compattazione) fino a circa metà settembre 2010 per un valore di picco di 5,3 mm. Da questa data si è registrata una riduzione della compattazione tanto che al 31 dicembre 2010 il valore registrato è stato pari a 1,9 mm. Tale riduzione è proseguita fino alla metà del mese di marzo 2011 raggiungendo 0,4 mm. Si nota poi un'inversione di tendenza, ovvero un aumento della compattazione che ha raggiunto, alla fine di giugno 2011, un valore di 2,7 mm. Da giugno 2011 a ottobre 2011 la compattazione è di nuovo aumentata giungendo a un valore di picco intorno ai 10 mm, per poi decrescere attestandosi intorno agli 8,5 mm al 31 dicembre 2011.

Nel corso del 2012, dopo un piccolo decremento della misura di compattazione durato sino ad aprile, si registra un aumento della stessa sino a 15,6 mm (settembre 2012) con un successivo assestamento sui 12,6 mm a fine 2012.

L'andamento oscillatorio delle misure è stato osservato anche nel corso del 2013-2014 con una compattazione complessiva di ca. 14 mm al dicembre 2014, dopo aver raggiunto un picco massimo di circa 16 mm al settembre dello stesso anno.

Nella stessa area della stazione assestometrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento del suolo stimata dai dati GPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestometriche. Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in buon accordo, essendo rispettivamente di ca. 1,6 mm/a per il GPS e di ca. 2,4 mm/a per l'assestometro.

Un'analisi qualitativa delle due serie temporali di misure (assestometriche e geodetiche GPS - vedere grafico all.) mostra poi come queste siano ben correlate tra loro e come gli anda-



menti di entrambe le curve ben si correlino a loro volta con le oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere, fatto del resto già fatto notare in precedenza. Una possibile interpretazione di tale evidenza è che l'abbassamento del suolo registrato dal CGPS sia in buona parte prodotto dalla compattazione degli strati più superficiali di terreno; compattazione che a sua volta è controllata dal livello dell'acqua nelle falde.

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).

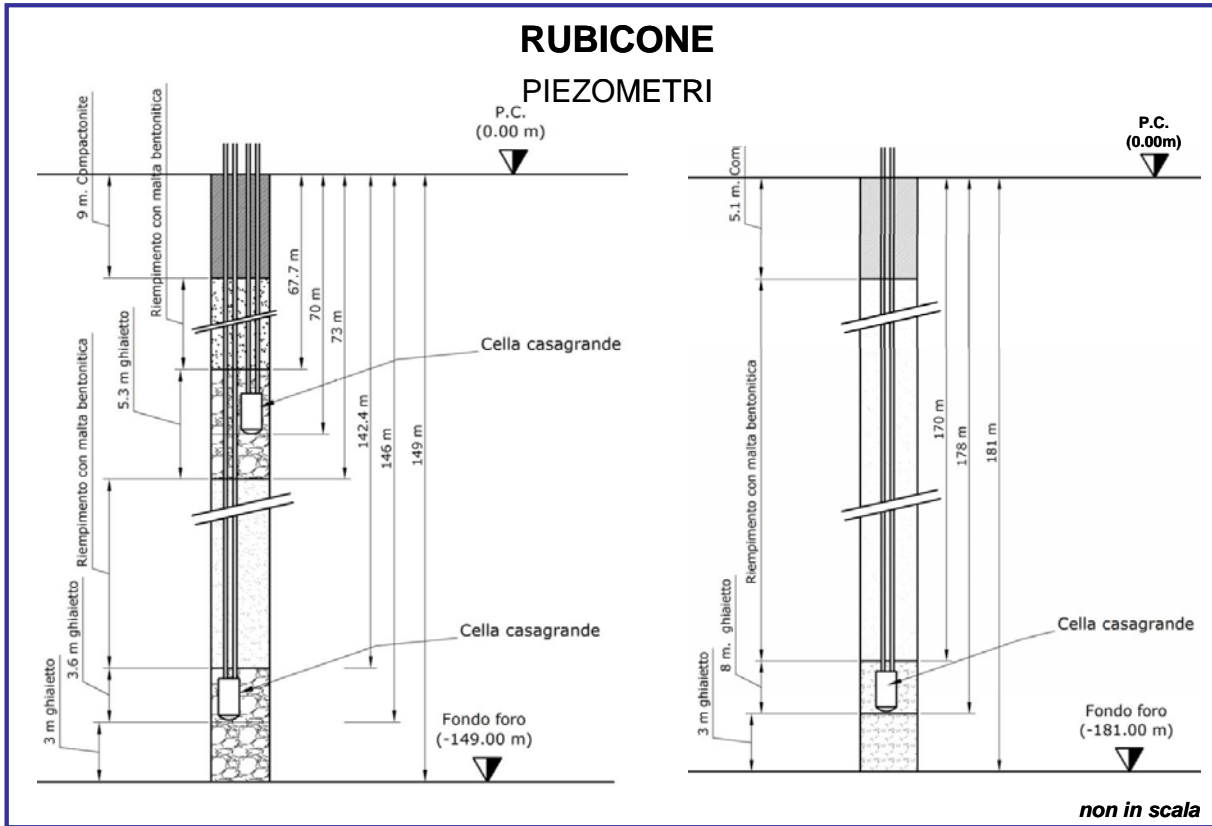
Analisi dei dati piezometrici

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), differenze che sono dell'ordine di 30 - 40 cm.

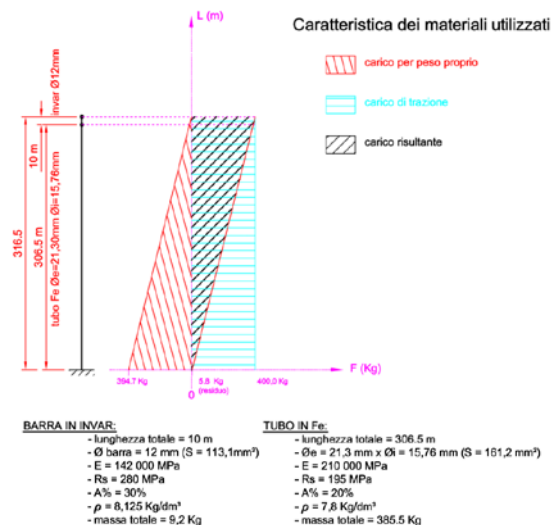
Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento.

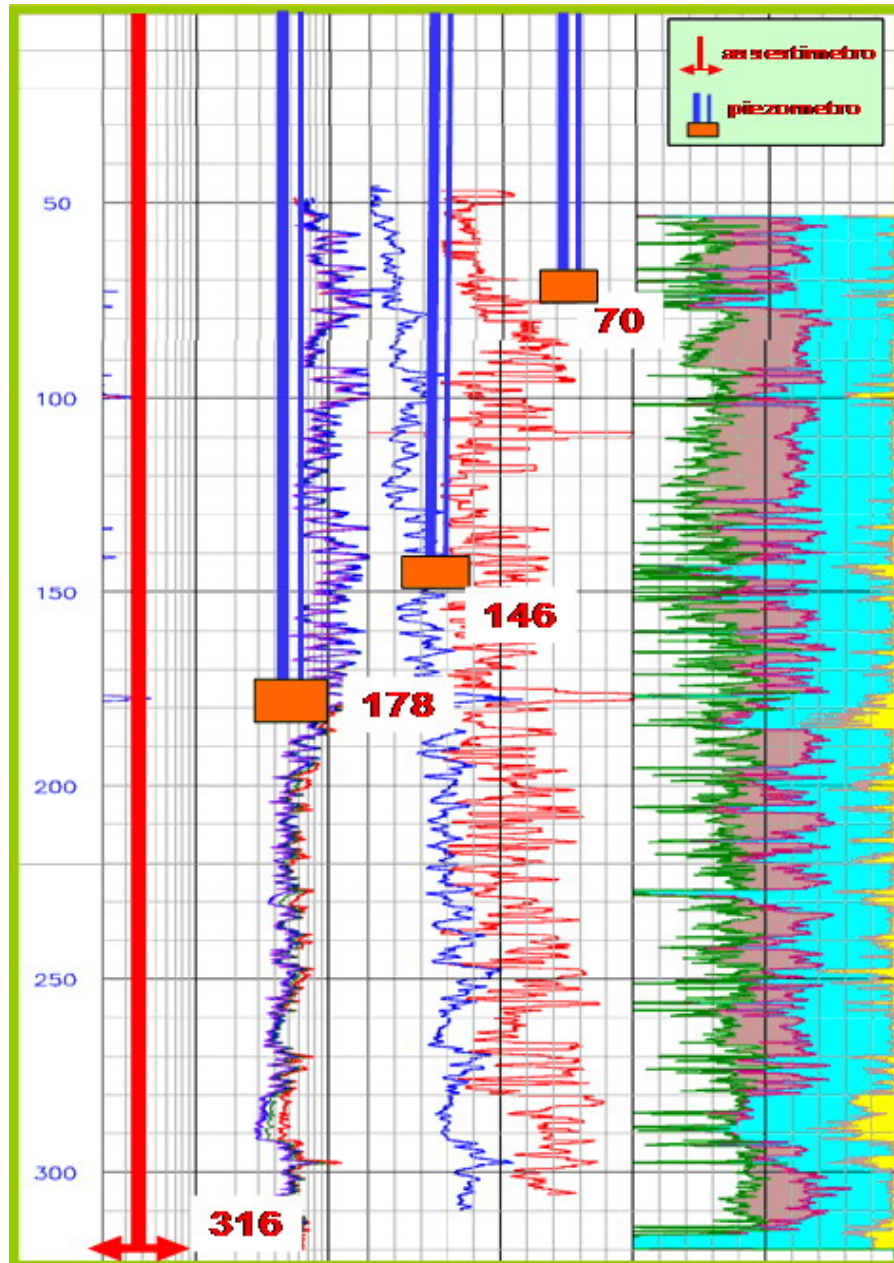
Un nuovo intervento di spurgo è stato fatto a fine settembre 2014, controllando accuratamente piezometri e trasduttori. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata verificata effettuando alcune misure manuali con freatometro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche,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



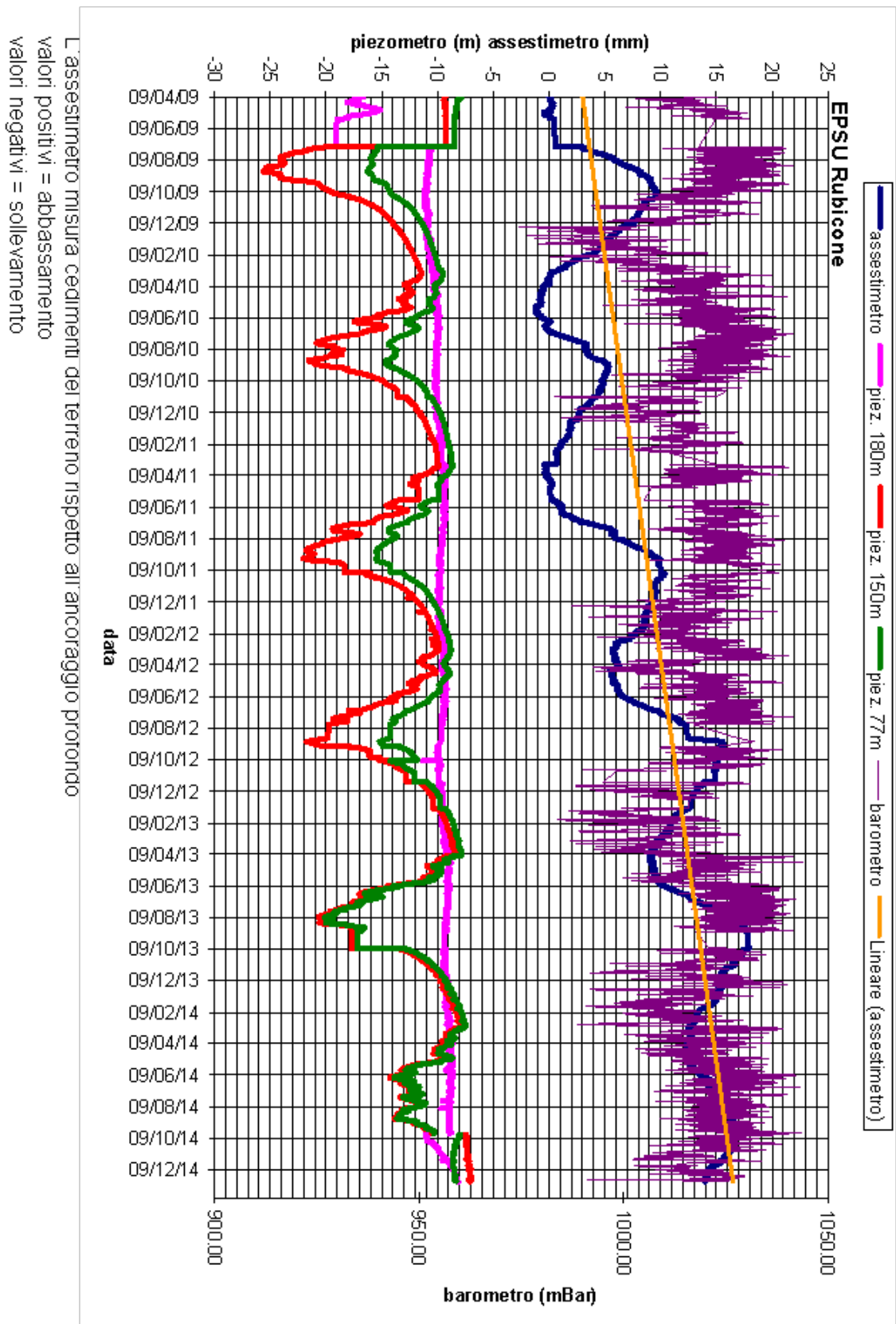
RUBICONE ASSESTIMETRO

- Modello di assestimetro costituito da 49 aste in ferro da 6m ed ultimi 10m da aste in Invar con 12 giunti telescopici e con boccole 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.



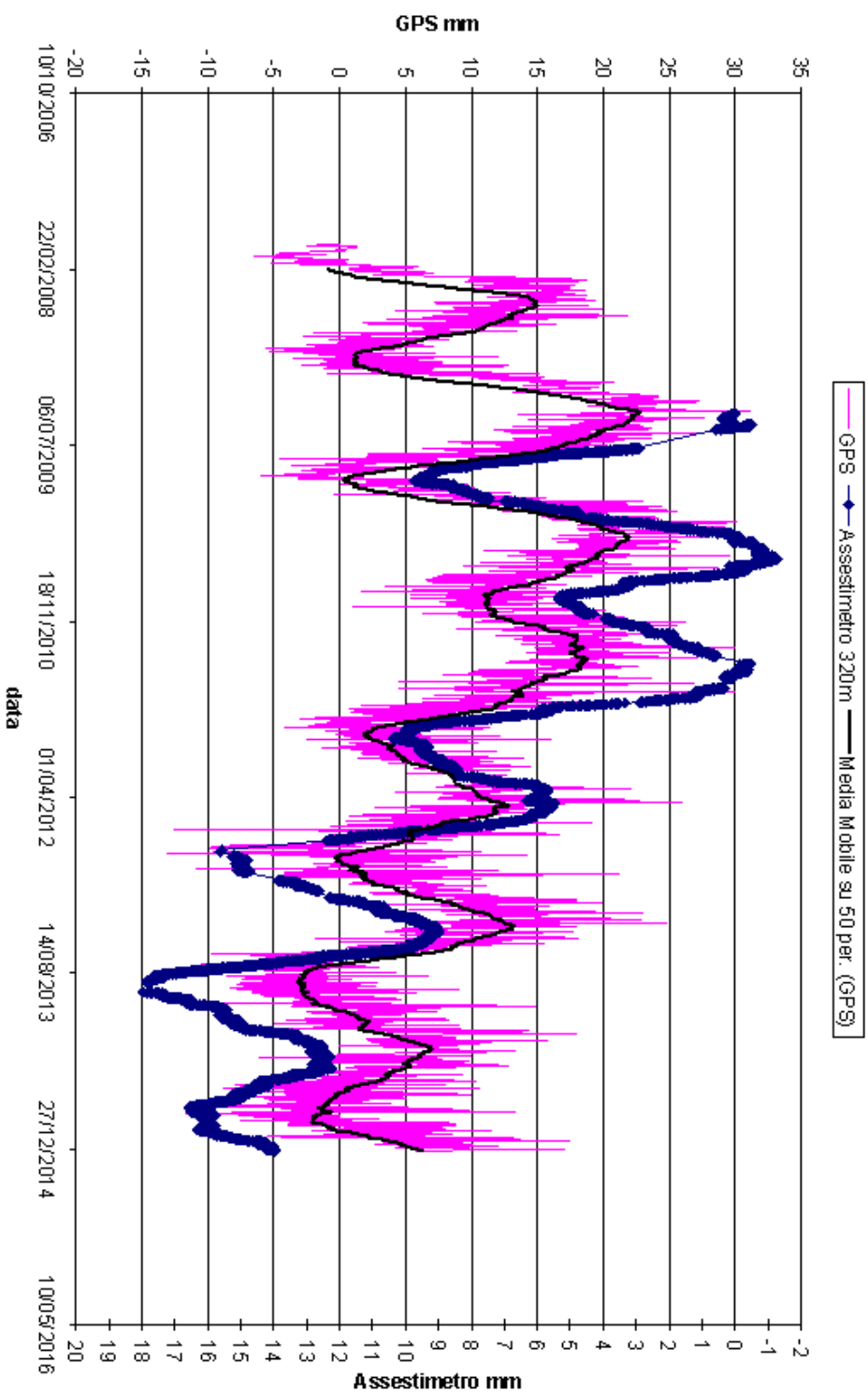


Le curve rappresentano i logs litologico-petrofisici tramite cui è stata ricostruita la serie stratigrafica del suolo attraversato.





RUBICONE - Confronto GPS ed asses timetro 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 asses timetrica 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 2014.

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 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 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



ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua registrate dal piezometro.

In particolare, lo strumento ha registrato in un primo periodo (fino a metà dicembre 2008) un'espansione di circa -1,3 mm, che si è poi assestata intorno a circa -1 mm fino a metà giugno 2009. Si è avuta successivamente un'inversione di tendenza con un lento ma costante aumento dei valori misurati (cioè compattazione); valori che nei primi nove mesi del 2012 hanno raggiunto 1,3 mm. Tale trend si è poi attenuato nell'ultimo scorcio del 2012 con i valori misurati che sono scesi a circa -0,4 mm (fine 2012). Nel corso del 2013 si è osservato un ciclo simile a quello dell'anno precedente con un massimo di espansione del terreno verso marzo (circa -1 mm), e un massimo di compattazione intorno a settembre 2013 (ca. 0,7 mm) per attestarsi poi a fine anno intorno a - 0,5 mm.

Anche nel 2014 si osserva nelle misure un andamento oscillatorio, sostanzialmente ben correlabile con i cicli stagionali: si registra un massimo di espansione intorno a marzo (circa -1 mm), una compattazione di circa 0,5 mm a fine estate che tende lievemente a decrescere (0,4 mm) verso la fine dell'anno.

Pur con un andamento oscillatorio nel tempo, non si nota nel grafico allegato un trend crescente di compattazione nel tempo. Le misure assestimetriche mostrano, quindi, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con assenza di un'apprezzabile compattazione.

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure della velocità di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. Il valore medio annuo di tale velocità è, infatti, di circa 0,4 mm/a in leggero sollevamento.

Un'analisi qualitativa delle due serie temporali di misure (assestimetriche e geodetiche GPS – vedere grafico all.) mostra poi come queste siano ben correlate tra loro con “pulsazioni” del terreno (espansioni e compattazioni) di piccolissima entità. Gli andamenti di entrambe le curve ben si correlano a loro volta con le oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere, come del resto si è osservato in precedenza.

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

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



cano sollevamenti del terreno e viceversa).

Analisi dei dati piezometrici

Nello stesso grafico dei dati assestometrici, 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.

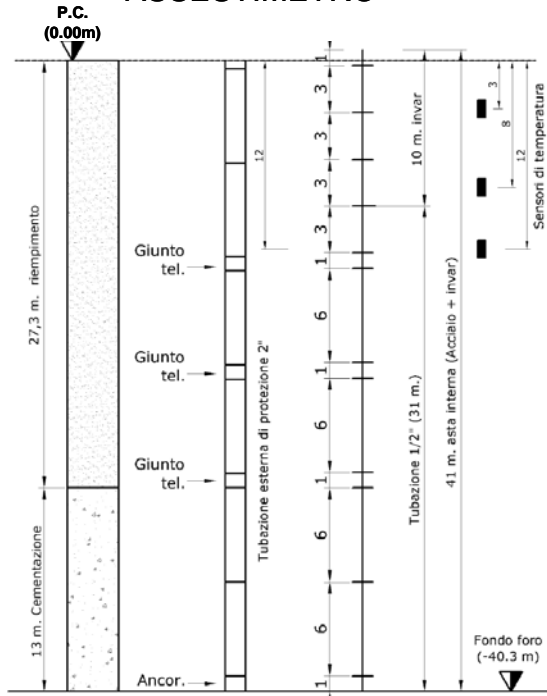
Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Nel dicembre del 2014 si è fatta la manutenzione dei piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un freatimetro 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.

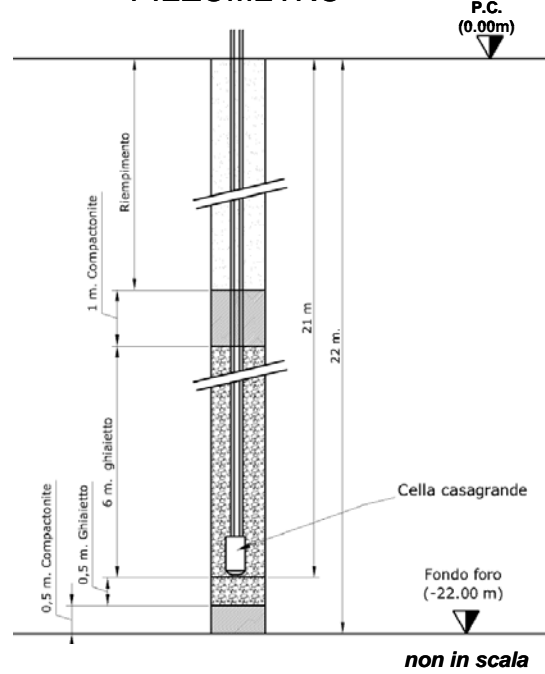


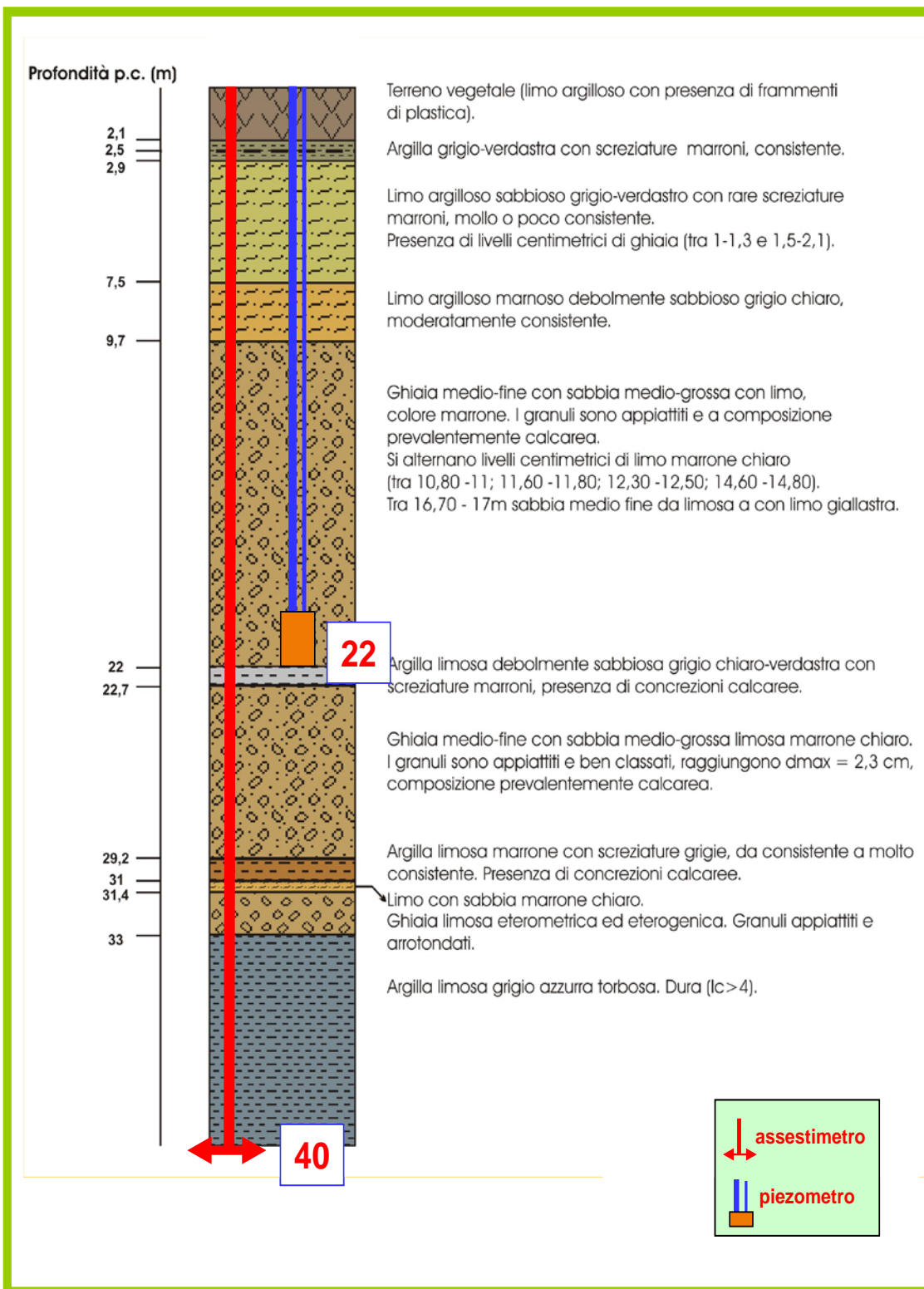
FALCONARA

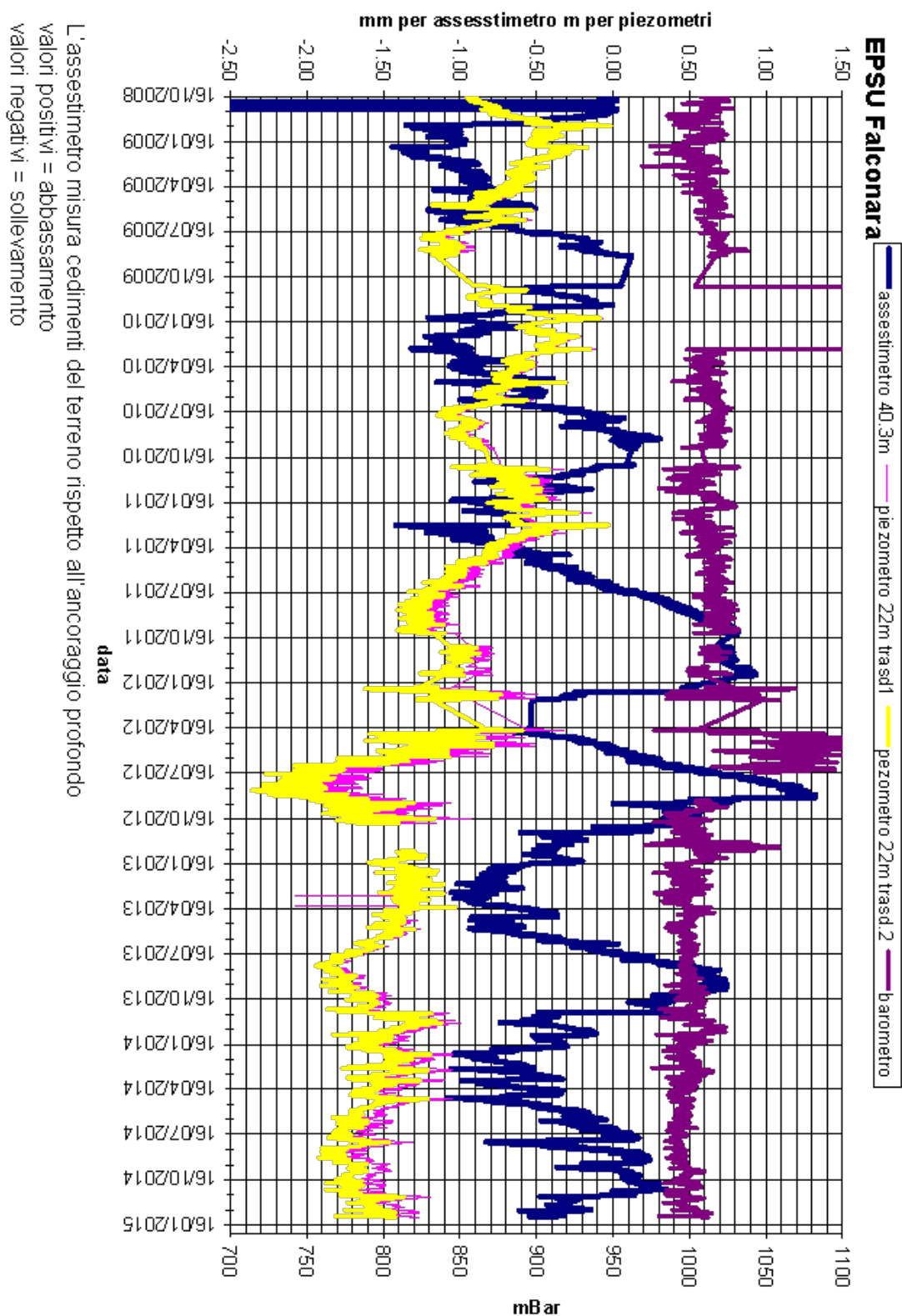
ASSESTIMETRO



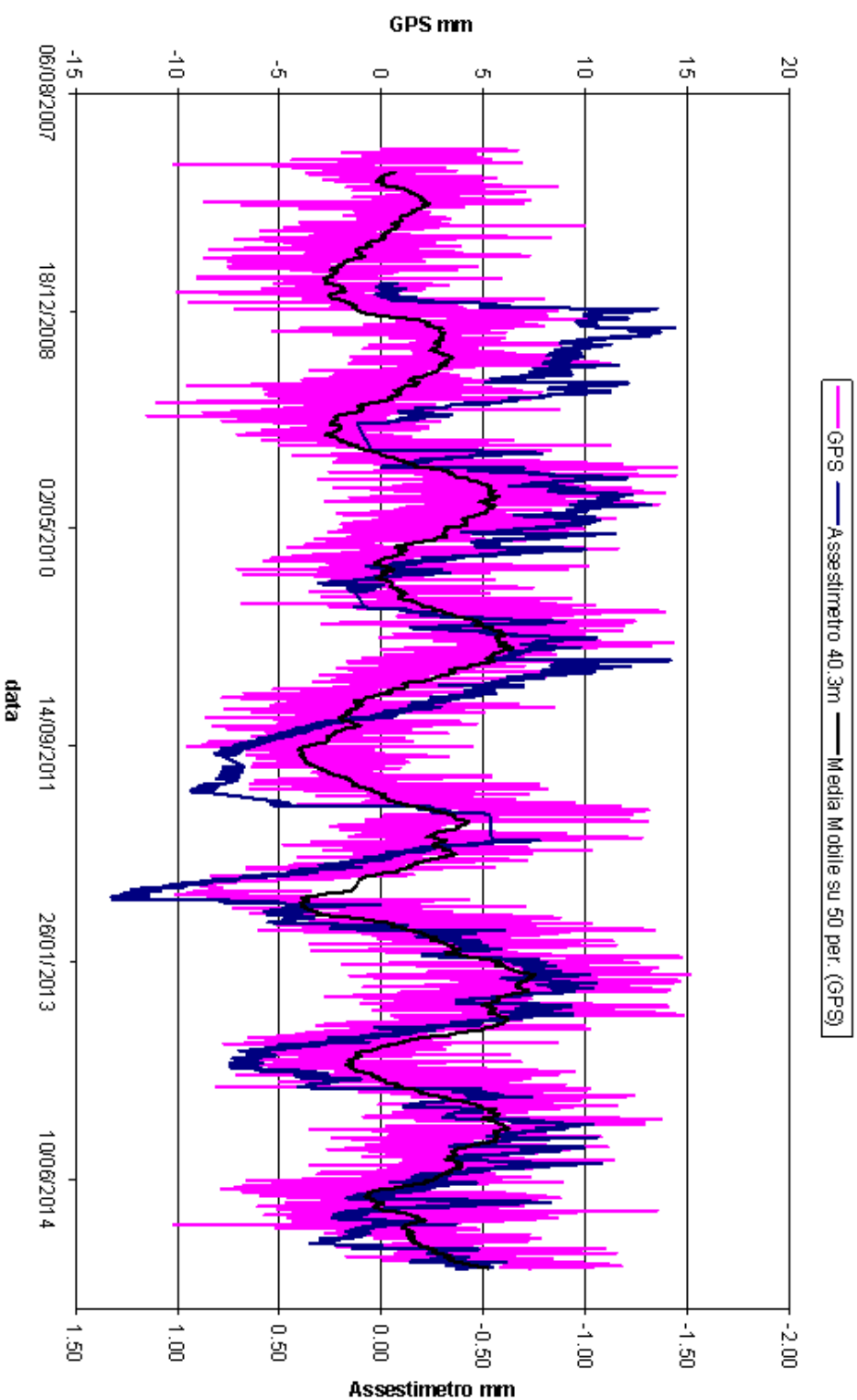
PIEZOMETRO







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 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 2014.

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 una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Anche nel caso della stazione di Fano, la variazione nel tempo delle misure assestimetriche mostra un andamento oscillatorio, sfasato, però, rispetto alle variazioni di livello della falda d’acqua. E’ da segnalare, inoltre, che l’entità delle oscillazioni è meno marcata rispetto a



quanto registrato dagli assestimetri delle stazioni di Rubicone e Falconara.

Il valore massimo di compattazione si è avuto a inizio 2012 ed è risultato pari a circa 1,4 mm. Tale valore è poi sceso a circa 0,8 mm nel luglio 2012, per incrementarsi nuovamente a 1,2 mm verso la fine dello stesso anno.

Nel corso del 2013 si è assistito a un ciclo simile all'anno precedente, con la compattazione che si è attestata verso fine anno intorno a un valore di circa 1 mm.

Le misure assestimetriche acquisite nel 2014 mostrano un andamento praticamente identico a quello degli altri anni: si è, infatti, registrata una compattazione di ca. di 1 mm a inizio anno annullatasi praticamente nel periodo estivo (agosto) in corrispondenza del massimo della quota della falda. Verso fine anno la misura si è riportata nuovamente a ca. 1 mm.

In questi primi cicli di misure l'assestometro mostra, quindi, una situazione sostanzialmente stabile, con assenza di un'apprezzabile compattazione del terreno.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione EPSU. I dati GPS danno la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,2 mm/a.

L'esame comparato delle due serie di misure (assestimetriche e geodetiche GPS – vedere grafico all.) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare la serie assestimetrica sembra essere ritardata di ca. 3-4 mesi rispetto a quella geodetica. E' 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 di 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 quello della curva GPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

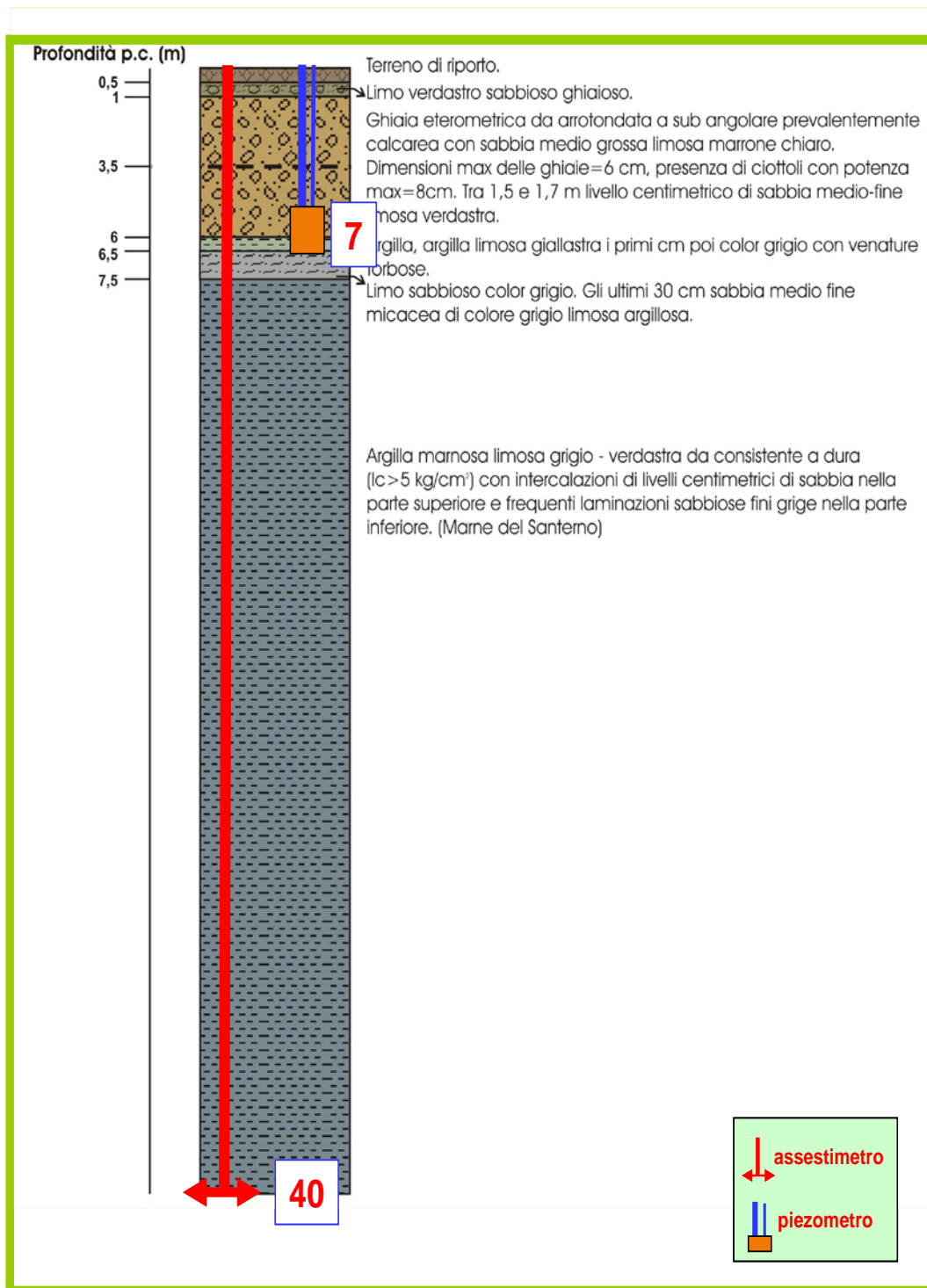
Analisi dei dati piezometrici

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.

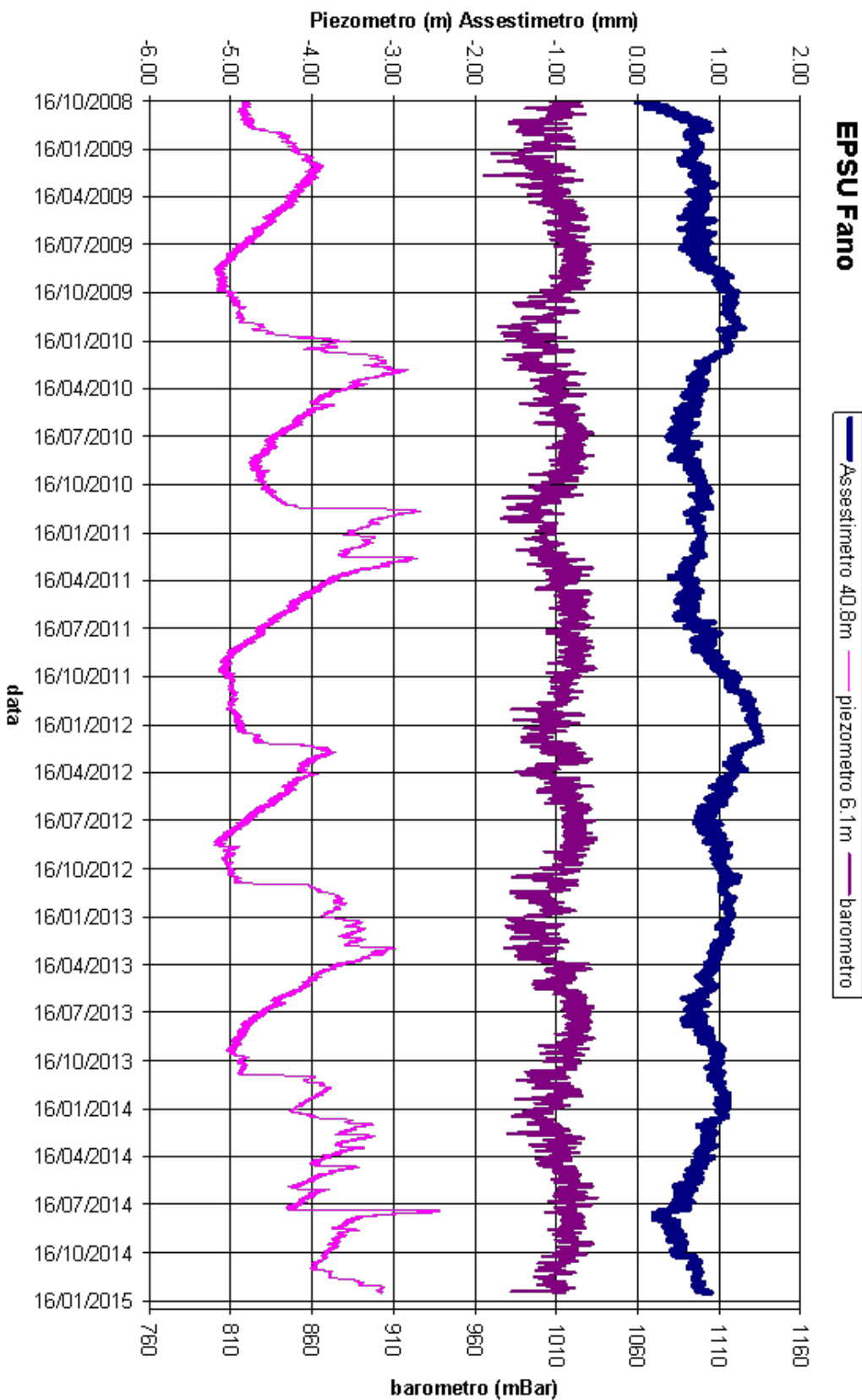
L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casagrande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è risultata di circa ± 8 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello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

Negli ultimi 6 mesi di misure si deve segnalare un incremento di 1,8 m del livello dell'acqua in pochi giorni (25-26 luglio), fenomeno registrato su entrambi i tubi. Le ultime misure indicano una quota falda di circa -3 m da p.c.

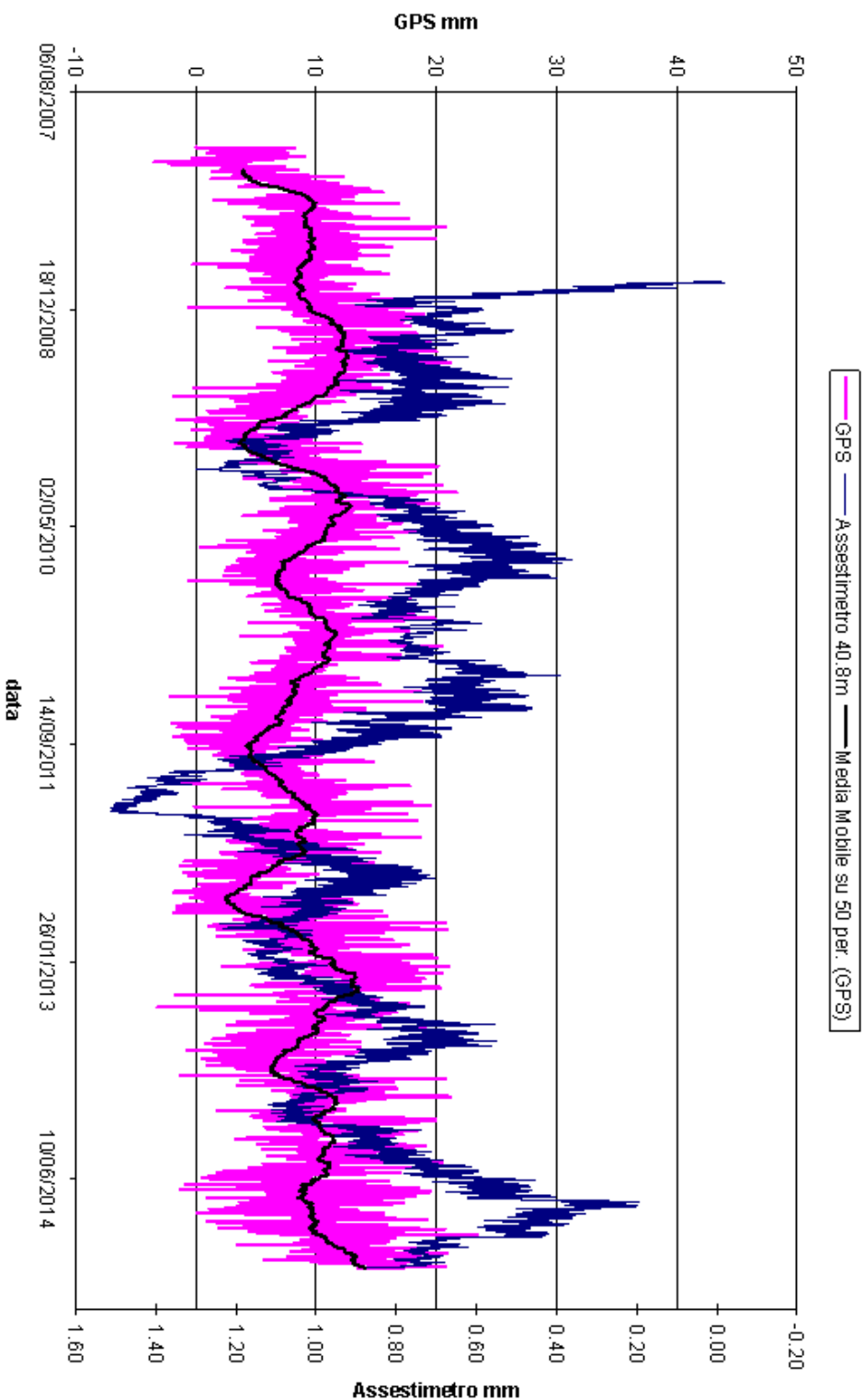




L'assestimento misura cedimenti del terreno rispetto all'ancoraggio profondo
valori positivi = abbassamento
valori negativi = sollevamento



FANO - Confronto GPS ed assestometro 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 assestimentrica 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, mentre quello più profondo 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 circa 14 mm di abbassamento totale del terreno in circa 6 anni scarsi 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 6 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 2014.

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	5,7	14,0	2,5	-	-
Fano	6,2	-	-	0,9	n.s
Falconara	6,2	-	-	-0,4	n.s

(n.s.= non significativa)