

Campo di ANNAMARIA

Aggiornamento al 31/12/17

Il campo a gas di Annamaria si trova nella zona meridionale del “*Northern Adriatic Contract Area*”, a circa 60 km della costa marchigiana, in un’area dove la profondità dell’acqua varia tra 56 e 65 m (Figura 1).

Il campo, situato tra Italia e Croazia, ricade entro due concessioni denominate *Production License A.C11.AG* (Eni 100%) e “*Exploitation Concession SJEVERNI JADRAN*” (titolare INA, operatore INAgip).

La concessione A.C11.AG è stata inizialmente conferita a Eni in data 23/10/79 per la durata di anni 30, ossia, fino al 23/10/09; tale scadenza è stata in seguito prorogata al 23/10/19 con decreto ministeriale del 06/07/09.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C11.AG	23/10/19	Eni	Eni	100%	Marche

Il contesto geologico in cui si colloca l’area di Annamaria è rappresentato dalla fascia di transizione tra l’avanfossa plio-pleistocenica e il relativo avanpaese, con un substrato costituito da una piattaforma carbonatica (Calcari del Cellina) suturata dalle peliti di rampa della F.ne Santerno. A partire dal Pleistocene inferiore, l’area di Annamaria è stata raggiunta dalle frange più esterne del sistema torbido della F.ne Porto Garibaldi e in seguito dalle torbidi distali della F.ne Carola, che hanno progressivamente colmato il bacino torbido poggiando direttamente in *onlap* sulla rampa di avanpaese della F.ne Santerno (Figura 2).

La fase esplorativa del campo ha visto prima la perforazione dei pozzi Jadran-16/1A (1979) e Annamaria-1 (1982), che hanno intercettato la culminazione che sarà poi sviluppata dalla piattaforma Annamaria A, e poi del pozzo Annamaria-2 (2002) che ha intercettato la culminazione in seguito sviluppata dalla piattaforma Annamaria B.

Lo sviluppo del campo ha richiesto la perforazione di 6 pozzi (AM1dir, AM2dir, AM3dir, AM4dir, AM5dir, AM12dir) dalla piattaforma Annamaria A, ubicata in acque croate (inizio produzione marzo 2009) e operata da INAgip, e di 6 pozzi (AM6dir, AM7dir, AM8dir,

AM9dir, AM10dir e AM15dir) più uno di monitoraggio (AM11dir) dalla piattaforma Annamaria B, ubicata in acque italiane e operata da Eni.

Su **Annamaria B** sono entrati in produzione per primi i pozzi AM 6dir, AM8dir e AM9dir (marzo 2010), in seguito i pozzi AM10dir (maggio 2010), AM7dir (giugno 2010) e AM15dir (agosto 2010). Nel documento SIA redatto per il progetto di sviluppo, si è riportato un profilo di produzione derivante dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse 3D*) dell'aprile 2006. Tale profilo è riferito alla produzione di entrambe le piattaforme, e ha previsto:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 8793 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,0 MSm³/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 9337 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,1 MSm³/g.

Nel maggio 2012, è stato fatto un aggiornamento del modello di giacimento *Eclipse (rel. Eni-GISE 07/12 del 31/05/2012, Campo di Annamaria – Studio dinamico di giacimento)* tenendo conto sia dei dati di produzione acquisiti nella prima fase produttiva del campo, sia del previsto completamento della fase di sviluppo del giacimento con la perforazione di ulteriori due pozzi *infilling* nel periodo gennaio - aprile 2013 dalla piattaforma Annamaria B. Questo nuovo studio ha portato a una riduzione di circa il 31% delle riserve a vita intera del campo. Infatti, con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme, si è stimato:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 8022 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,0 MSm³/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 4415 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1,1 MSm³/g.

Un ulteriore aggiornamento del modello di giacimento *Eclipse* è stato successivamente fatto nel dicembre 2015 (*rel. Eni-GISE 16/15 del 15/12/2015, Annamaria Field – Dynamic Model Update*) tenendo conto dei dati di produzione e di pressione acquisiti.

Con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme si è stimato:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 3815 MSm³ di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso *Do Nothing*);
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 3890 MSm³ di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso *Do Nothing*).

Infine, allo scopo di aggiornare, ulteriormente, il modello geomeccanico del campo si è aggiornato nuovamente il modello *Eclipse* di giacimento nel dicembre 2017 (*rel. Eni-GISE 19/17 del 12/2017, Annamaria Complex – Nota Tecnica – Studio di giacimento per studio geomeccanico*) tenendo conto dei dati di produzione e di pressione acquisiti.

Con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme si sono stimate, per il campo di Annamaria, 7528 MSm³ di riserve producibili al 2030 così suddivise:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 3546 MSm³ di riserve producibili al 2030;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 3982 MSm³ di riserve producibili al 2030.

La produzione totale di campo al 31/12/17 è stata di 5459 MSm³ (Figure 3a e 3b) così ripartita fra le due piattaforme:

- Annamaria A: 2717 MSm³ (Figura 4);
- Annamaria B: 2742 MSm³ (Figura 5).

Per alcuni livelli rappresentativi del campo, la Figura 6 riporta un confronto fra le pressioni rilevate sul pozzo Annamaria 11B che sono registrate in continuo con “*Permanent Pressure Gauges*” (PPG), e i corrispondenti valori di pressione calcolati dal modello *Eclipse* (dicembre 2017); tale confronto mostra, in generale, un buon accordo tra i dati misurati e quelli calcolati con modello.

Per il giacimento di Annamaria la previsione iniziale di subsidenza allegata al SIA è stata eseguita con modello geomeccanico a elementi finiti (FEM), adottando criteri del tutto cautelativi e impiegando metodologie e strumenti in linea con il più avanzato stato dell’arte in campo internazionale (*Campo di Annamaria – Modello elasto-plastico di subsidenza, rel. Eni-TERA 16/2007, giugno 2007*).

Detto modello ha stimato in 90 cm al 2038 (anno di fine produzione) il valore massimo di subsidenza nel caso dello scenario di riferimento ritenuto più probabile (*M2*).

Alla stessa data e per lo stesso scenario la curva d’iso-subsidenza di 2 cm è stata prevista estendersi per circa 12 km dal centro del campo¹. Al 2060 il valore massimo di subsidenza

¹ Nel 2002 Eni ha nominato una Commissione Scientifica Internazionale (CSI), presieduta dal Prof. E. Boschi e costituita da esperti di fama internazionale, per valutare gli effetti dell’estrazione di gas dai giacimenti offshore sulla stabilità delle coste del Ravennate e, in generale, di tutto il Nord Adriatico. In merito all’estensione del cono di subsidenza, la CSI ha concluso che la linea d’isosubsidenza di 2 cm è da considerarsi “*the limit of any physical identification of induced subsidence effects*”. Tutti gli studi e le conclusioni della CSI sono stati poi resi pubblici con il volume “*Land Subsidence – Special Volume*” edito in occasione del *7th International Sympo-*



è stato previsto essere 86 cm con la curva d'isosubsidenza di 2 cm prevista estendersi per circa 15 km dal centro del campo.

I risultati dello studio hanno mostrato, quindi, come il cono di subsidenza si esaurisca a una distanza di oltre 45 km dalla costa più vicina dopo 22 anni dalla fine della produzione del campo. Questo risultato è stato, di fatto, lo stesso per tutti gli scenari considerati e non è stato sostanzialmente modificato considerando anche una possibile interferenza con altri campi a gas in produzione nelle acque croate.

Per accertare, infatti, gli effetti di possibili interazioni di tipo idraulico e/o meccanico con giacimenti limitrofi è stato eseguito uno studio di previsione di subsidenza considerando anche i campi a gas di Ida e Ika in produzione nelle acque croate (*Campo di Annamaria – Studio di previsione di subsidenza e interazione con i campi di Ida e Ika, Management Summary, Relazione Eni-TERA 11/2008, maggio 2008*).

Tale studio è stato trasmesso da Eni al MATTM nell'ambito della documentazione integrativa del SIA del campo "Annamaria" con nota del 19/06/08.

I risultati di questa nuova valutazione sono stati del tutto in linea con quelli ottenuti nella previsione di subsidenza indotta dalla produzione del solo campo di Annamaria. Nel caso di riferimento più probabile (M2), infatti, la subsidenza calcolata al 2038 è stata pari a 92 cm, valore che è raggiunto alla fine della produzione e tende lievemente a ridursi negli anni successivi; al 2060 l'estensione della linea d'iso-subsidenza dei 2 cm è risultata estendersi di circa 15 km dal centro del campo, confermando come il fenomeno si esaurisca a oltre 45 km dalla linea di costa. A seguito della revisione del modello di giacimento del maggio 2012 è stato poi eseguito un nuovo aggiornamento del modello geomeccanico (*Campo di Annamaria – Modello elasto-plastico di subsidenza e interazione con i campi di Ida e Ika, Management Summary, Relazione Eni-TERA 03/2013, aprile 2013*).

Le previsioni di subsidenza sono state eseguite per tre differenti scenari di compressibilità C_m : uno scenario più probabile (Medio), uno scenario conservativo (*Up*) e uno scenario ottimistico (*Low*). I risultati della simulazione riferiti allo scenario "*Up*", più conservativo, hanno dato un valore di subsidenza massimo di 127 cm a fine produzione (2040) che si riduce

sium on Land Subsidence – Shanghai (P.R. China) – 23-38 Oct. 2005. A partire da tale data Eni considera nei propri studi la linea d'isosubsidenza di 2 cm come il contorno esterno che delimita il cono di subsidenza.

a 119 cm a fine simulazione (2070). Per tutti gli scenari previsionali il fenomeno di subsidenza è previsto esaurirsi, comunque a oltre 30 km dalla linea di costa.

Per migliorare il *match* tra le misure CGPS acquisite in piattaforma e le previsioni modellistiche di subsidenza nel 2017 si sono aggiornati sia il modello di giacimento (statico e dinamico). che il modello geomeccanico (*Campo di Annamaria – Modello elasto-plastico di subsidenza e interazione con i campi di Ida e Ika, Management Summary, Relazione Eni-TERA 05/2017, dicembre 2017*).

Le previsioni di subsidenza sono state fatte considerando due possibili scenari di sviluppo:

- *Do Nothing (DN)*;
- Perforazione di 4 *Development Wells (4DW)*, con data di fine produzione al 1° gennaio 2031 e fine simulazione al 1° gennaio 2061, 30 anni dopo la chiusura di pozzi.

Il comportamento meccanico delle rocce è stato descritto, invece, secondo la legge costitutiva elasto-viscoplastica “*Soft Soil Creep*” (VNM) che è stata formulata arricchendo il classico modello elasto-plastico “*Modified Cam-Clay Model*” (MCCM) con la componente viscosa della deformazione.

Dall’analisi dei risultati riportati in Tabella 1 emerge che:

Tabella 1 – Subsidenza massima ed estensione del fenomeno.

Data	Scenario di Sviluppo	Subsidenza Max (cm)	Estensione Max (km)	Distanza Min da Costa (km)
01-gen-17	\	59	22	51
01-gen-31	DN	118	25	46
01-gen-61		112	29	44
01-gen-31	4DW	163	25	46
01-gen-61		157	29	44

- in entrambi gli scenari di sviluppo, il massimo cedimento del fondale marino si verifica tra le piattaforme A e B e alla data di fine produzione (2031);
- nello scenario **DN**, la massima subsidenza prevista è rispettivamente di 118 cm a fine produzione e di 112 cm a fine simulazione; nello scenario **4DW**, invece, tali valori aumentano rispettivamente a 163 cm (fine produzione) e a 157 cm (fine simulazione). Il modesto risollevarimento del fondale marino che il modello prevede in entrambi i casi è causato dalla spinta degli acquiferi che ripressurizzano gli strati depletati dalla produzione di gas;

- a fine simulazione (2061), la distanza minima dalla costa del cono di subsidenza, circoscritto dalla isolina dei 2 cm, è pari a 44 km ed è la stessa per entrambi gli scenari considerati (Figura 7).

In ottemperanza a quanto prescritto al punto C del *DEC/2008-0000271 del 12/12/08*, nel periodo 4/2009-12/2009 è stato eseguito un rilievo batimetrico in un'area del campo di Annamaria comprendente le piattaforme di Annamaria A e Annamaria B, per un'estensione totale pari a circa 1200 km². Il risultato di questo primo rilievo ha permesso una caratterizzazione geomorfologica del fondale caratterizzato da una profondità minima di -41m nella parte NE che declina fino a -68m di profondità nella parte meridionale. L'area del rilievo si può idealmente dividere in due parti, separate approssimativamente dalla batimetrica di -56m:

- la parte settentrionale è abbastanza regolare a bassa pendenza, ad eccezione della parte di NE, dove sono visibili delle depressioni lineari;
- la parte meridionale invece è più aspra e articolata, caratterizzata da strutture che sembrerebbero essere tipiche di un paleo-delta.

Le pendenze del fondale sono generalmente inferiori a 0.5°; i valori più elevati (>2°) sono presenti nella parte settentrionale.

La parte settentrionale è, quindi, delimitata a sud (intorno alla batimetrica di -56m) da un brusco cambiamento nella morfologia del fondale oltre il quale si rilevano strutture meandri-formi. È possibile ipotizzare dall'andamento batimetrico generale come queste strutture appartengano al paleo-delta del fiume Po, con una parte settentrionale rappresentativa della piana alluvionale e deltizia e una parte meridionale rappresentativa di morfologie di fronte deltizia e di prodelta.

L'acquisizione del rilievo batimetrico *multibeam* del 2009 è stata fatta non solo per una caratterizzazione geomorfologica del fondale, ma anche per ottenere un "termine di confronto" prima dell'avvio della produzione del campo, abbracciando un'area d'estensione tale da includere tutta la possibile superficie di disturbo indotta dalla subsidenza così come prevista in fase di modellazione.

Nel corso del 2016 si è proceduto, perciò, all'acquisizione di un nuovo rilievo batimetrico della sola zona italiana per il controllo e taratura delle previsioni del modello geomeccanico. Un primo confronto per la zona monitorata (Figura 8) tra le quote rilevate nel 2009 e nel 2016 (Figura 9) mostra che il fondale marino è soggetto a un abbassamento ben definito

nell'intorno della piattaforma Annamaria B (rapporto "AM711" del survey batimetrico 2016 di Lighthouse). È stata poi analizzata la subsidenza misurata mediante le batimetrie del 2009 e del 2016 rispetto a quanto simulato dal modello geomeccanico. In Figura 10 si mostra il confronto in termini di linee di isosubsidenza (5, 15, 30 e 50 cm) e si osserva un'accurata riproduzione delle misure da parte del modello. Nella Figura 11 si riporta, inoltre, il confronto lungo 2 sezioni trasversali: una parallela alla linea mediana (NW-SE) con azimut di 315°, l'altra perpendicolare (NE-SW) con azimut di 225°. Dato che entrambe queste sezioni passano per la piattaforma Annamaria B, si riporta anche il valore di subsidenza registrato dalla stazione CGPS che, relativamente al periodo 2009-2016, corrisponde a 65 cm.

Dalla Figura 11 si nota come il modello riproduca accuratamente la subsidenza misurata con le batimetrie lungo la sezione NE-SW, compatibilmente con l'incertezza associata alle misure. Lungo la direzione NW-SE si ha una perfetta corrispondenza tra i risultati modellistici e le misure batimetriche nel lato SE, mentre si riscontra una sovrastima del profilo calcolato rispetto a quello misurato a NW, il che è indicativo del buon grado di cautela adottato nel realizzare il modello geomeccanico.

In conclusione, i valori di massima subsidenza ricavati dai rilievi batimetrici sono in linea sia con quelli previsti dal modello geomeccanico, sia con l'abbassamento della piattaforma Annamaria B registrato dalla stazione CGPS. L'estensione areale del cono di subsidenza, ricavata dalle misure batimetriche, risulta anch'essa in linea con quella prevista dal modello geomeccanico.

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), è rilevata 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 del 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 2017 (ultimo rilievo eseguito), è stata ampliata con l'aggiunta di uno sbraccio esteso all'area del campo di Agosta.

Tale rete 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 1200 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 210 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare.

Le operazioni si sono svolte nel periodo compreso tra agosto e ottobre 2017 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell'ente certificatore.

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

Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili 13 serie di misure, includendo la campagna del 2014. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e a cadenza triennale a partire dal 2011.

La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

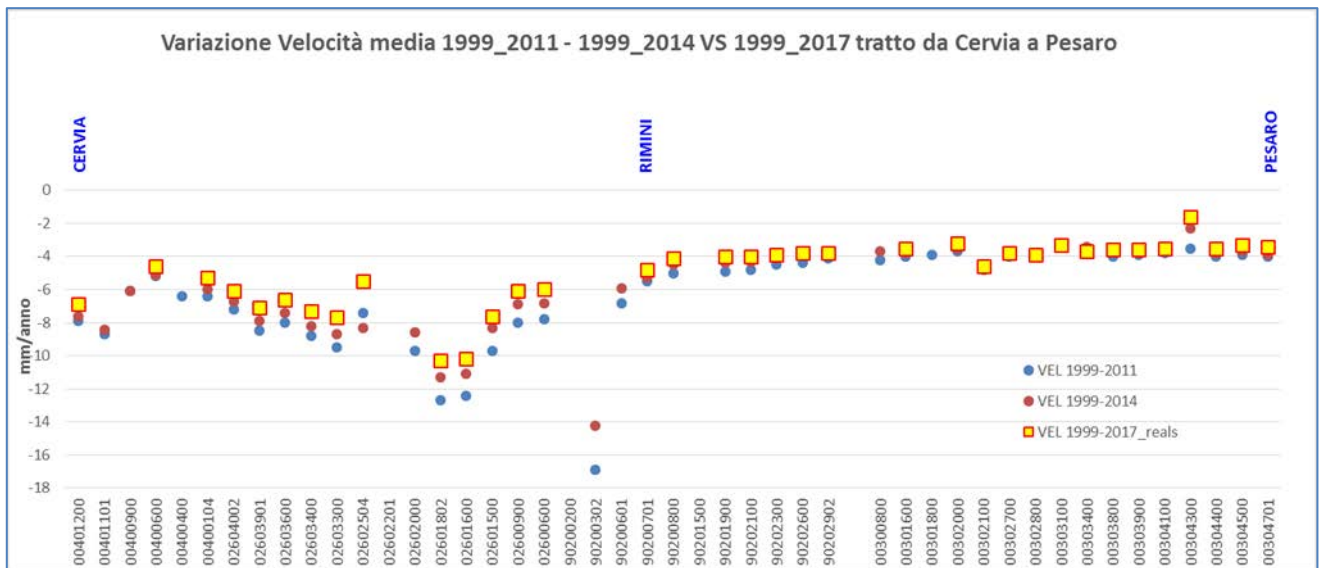
Le velocità medie di subsidenza, stimate con regressione lineare e relative ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportate in Figura A per i seguenti periodi: 1999-2011, 1999-2014 e



1999-2017. Il confronto fra i valori rilevati dei tre periodi mostra come negli ultimi anni dette velocità siano generalmente in diminuzione.

Il fenomeno, già osservato con le misure del 2014, è stato ulteriormente confermato dai dati acquisiti con la campagna di livellazione del 2017.

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



Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisori e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati. I parametri matematici della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura, sia per i valori legati alla propagazione dell'errore. Come programmato in precedenza, l'ente certificatore ha iniziato, da questa campagna, ad introdurre la compensazione sviluppata utilizzando i valori di velocità desunti dalle stazioni CGPS permanenti della rete Eni. A questo proposito, però, è necessario anche segnalare che i valori delle quote dei capisaldi ottenuti con questo procedimento possono differire da quelli che si ottengono con la compensazione classica, che è invece vincolata a un solo caposaldo di riferimento. In effetti, ciò è stato osservato nel caso dei risultati del rilievo 2017, in cui le misure delle quote di alcuni capisaldi sono risultate maggiori dei corrispondenti valori rilevati con la livellazione del 2014. Valori questi ultimi che erano stati ottenuti con la compensazione classica vincolata al solo caposaldo di Treviso.

I risultati del rilievo 2017 sono, comunque, compatibili con il quadro generale di una diminuzione della velocità di subsidenza osservata anche con il monitoraggio SAR.

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

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza V_a^2 di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

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

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2014 mostra per l’area in esame un quadro di generale abbassamento, con valori in leggera diminuzione rispetto a quelli misurati nelle campagne fatte fino al 2011. Il 50% dei punti, infatti, ricade nella classe 2, il 45% dei punti in quella 3 e solo il 5% (due capisaldi) ha valori di V_a di poco superiori a 10 mm/a (11,3 mm/a come valore massimo).

Il confronto con i dati di livellazione del periodo 1999-2017 conferma, come già detto, tale rallentamento della velocità di subsidenza, che è diffuso per tutto il tratto analizzato.

Ricade, infatti, nella classe 2 il 60% dei punti analizzati, il 31% dei punti in quella 3, mentre è praticamente invariata la percentuale dei punti appartenenti alla classe 4 (6%, ovvero due soli punti); un solo caposaldo appartiene alla classe 1.

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2020), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del

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

tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2017) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 12).

Le attività di monitoraggio sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore operate da Eni. Dal 2007, infatti, ne sono state installate sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008), di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto 2011). Le stazioni CGPS di Naide e PCC sono, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. In tempi più recenti sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016). Le serie storiche di misure CGPS acquisite nelle stazioni messe in opera nel periodo 2015 - 2016, sono, però, ancora troppo brevi per consentire valutazioni specifiche.

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche *SSU (Satellite Survey Unit)* equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una trave di cemento armato. Le 3 stazioni *SSU* sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice B); 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, però, più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, infine, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico (completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017) che, una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, entrerà a fare parte delle stazioni utilizzate per il monitoraggio della stabilità della costa.

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

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma di Annamaria B, certificati fino al 2015 e in fase di certificazione per gli anni successivi, 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 31/12/2017 (Figura 13a), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 1.

Tabella 1 – Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2015

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
Annamaria-B	29,71	20,01	-100,31	29,56	19,58	-97,99	0,15	0,43	-2,32

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

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

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

In generale:

- dataset < 12 mesi: solo follow up per monitoraggio dei dati acquisiti
- dataset di 12÷36 mesi e
 - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
 - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;
- dataset > 36 mesi: analisi di trend e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese, 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.

Dalle prossime relazioni i dati saranno riferiti al sistema di riferimento ITRF2014, reso disponibile nel 2017 e per il quale è necessaria la rielaborazione di tutte le serie storiche esistenti. 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 Annamaria B (p.ma in acque italiane), sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale pari a -109,6mm/a (Figure 13a e 15) in leggero aumento rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-108,6mm/a al 2016).

Nell'andamento temporale di tale dataset di misure CGPS, inoltre, si può osservare una variazione di velocità, che può essere correlata con una variazione della storia produttiva del campo (Figura 14).

In particolare:

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -51,86 mm/a nel periodo aprile 2010 - gennaio 2013;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -130,56 mm/a nel periodo gennaio 2013 - dicembre 2017.

Si riporta in Figura 13b anche la serie storica di misure CGPS rilevate sulla piattaforma Annamaria A (acque croate). L'elaborazione di tali misure, relative a un intervallo temporale superiore ai 36 mesi, consente di stimare una velocità media di subsidenza totale al 31 dicembre 2017, pari a -72,12mm/a.

Si segnala altresì che eventuali piccole differenze nelle stime delle velocità, che si possono verificare rielaborando in epoche successive i dati CGPS, dipendono anche dal fatto che l'aggiornamento delle serie storiche comporta sia l'elaborazione di 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 previsti dal modello geomeccanico del dicembre 2017 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS (aggiornati al 31/12/2017) senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale². Come mostrato in Figura 16, l'accordo è decisamente buono a conferma dell'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza. Allo scopo di monitorare *in-situ* la compattazione delle rocce serbatoio, si è proceduto in data 07/09/2017 al rilievo con FSMT dei *marker* installati nel pozzo di Annamaria B11 (precedenti rilievi in data 16/03/10, 19/09/10, 17/03/2011, 06/04/2012, 24/07/2013, 30/09/2014, 31/05/2015 e 24/07/2016), come prescritto dal *DEC/2008-0000271 del*

² L'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma, e che viene rilevato sia con la batimetria che con il CGPS, rappresenta la "subsidenza totale" di tale zona. Quest'ultima è causata dal concorso di diversi fenomeni, quali: 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 (evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa). I modelli geomeccanici, invece, valutano la sola "subsidenza antropica" per effetto dell'estrazione del gas e non tengono conto degli altri fenomeni di cui si è detto.



12/12/08 e dal “Piano di monitoraggio dei fenomeni geodinamici” redatto da Eni e inviato a MATTM il 14/07/09.

In particolare, la compattazione totale misurata tra luglio 2016 e settembre 2017 è stata pari a circa 242 mm, così ripartita:

- da 970 a 1002 m: compattazione di 10 mm;
- da 1058 m a 1499 m: compattazione di ca. 219 mm;
- da 1738 a 1769,50 m: compattazione di ca. 13 mm.

In Figura 17 e Figura 18 sono riportati i risultati dei monitoraggi FSMT in termini di compattazione (mm) avvenuta tra coppie rilievi consecutivi.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni hanno confermato come eventuali fenomeni di subsidenza connessi alla produzione di gas dal campo di Annamaria non abbiano alcun impatto sull’andamento altimetrico del tratto di litorale antistante.

Si segnala infine che:

- a) Figura 19 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 20 è presentato un particolare della rete di monitoraggio.

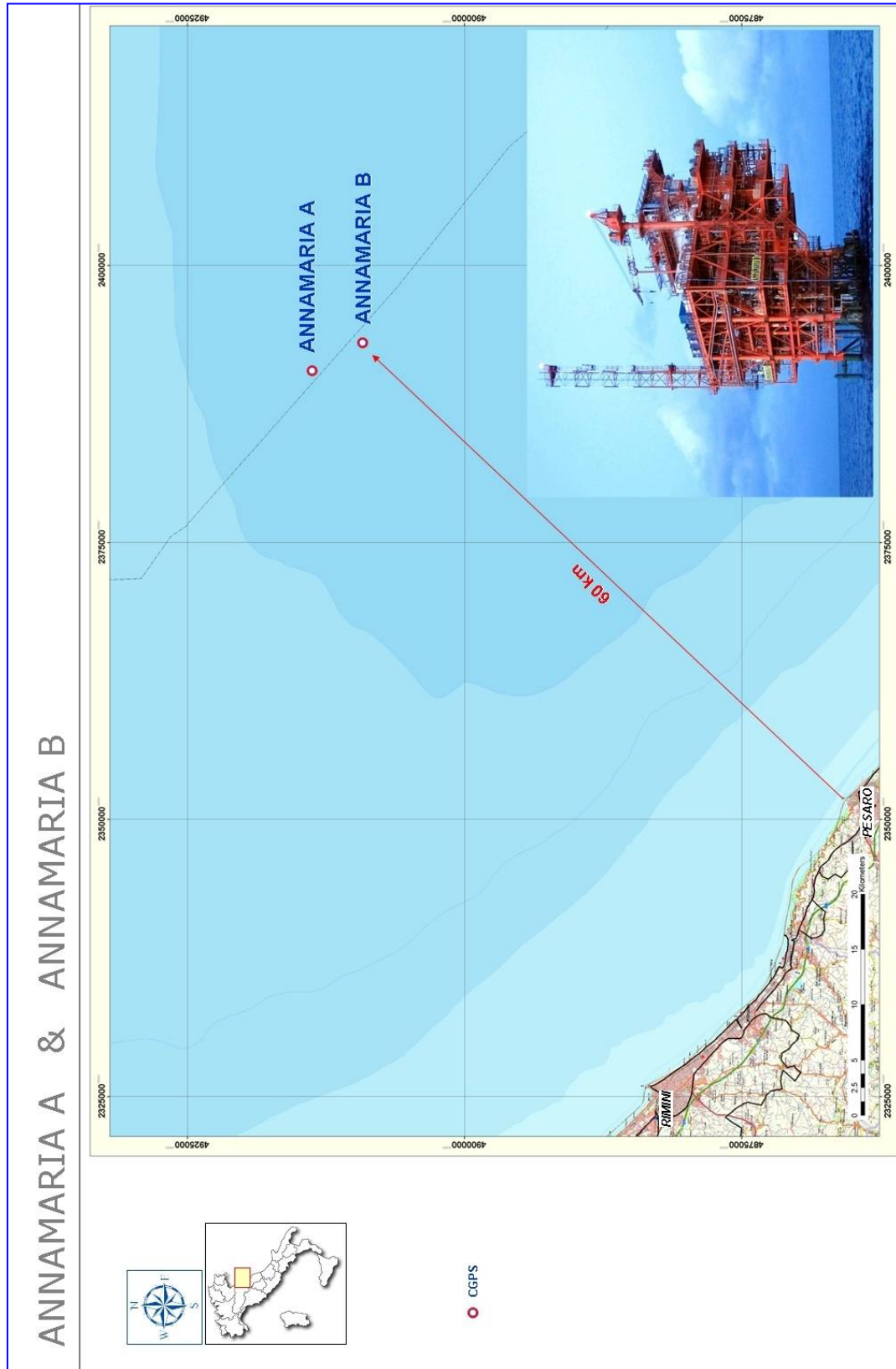
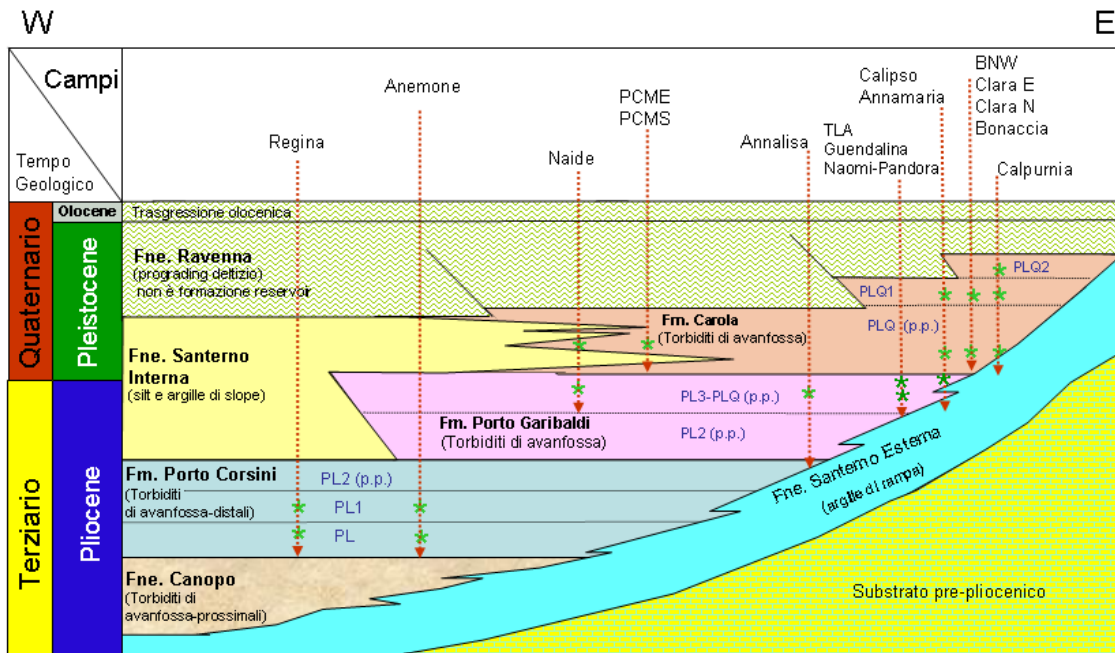


Figura 1 - Ubicazione del campo di Annamaria



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

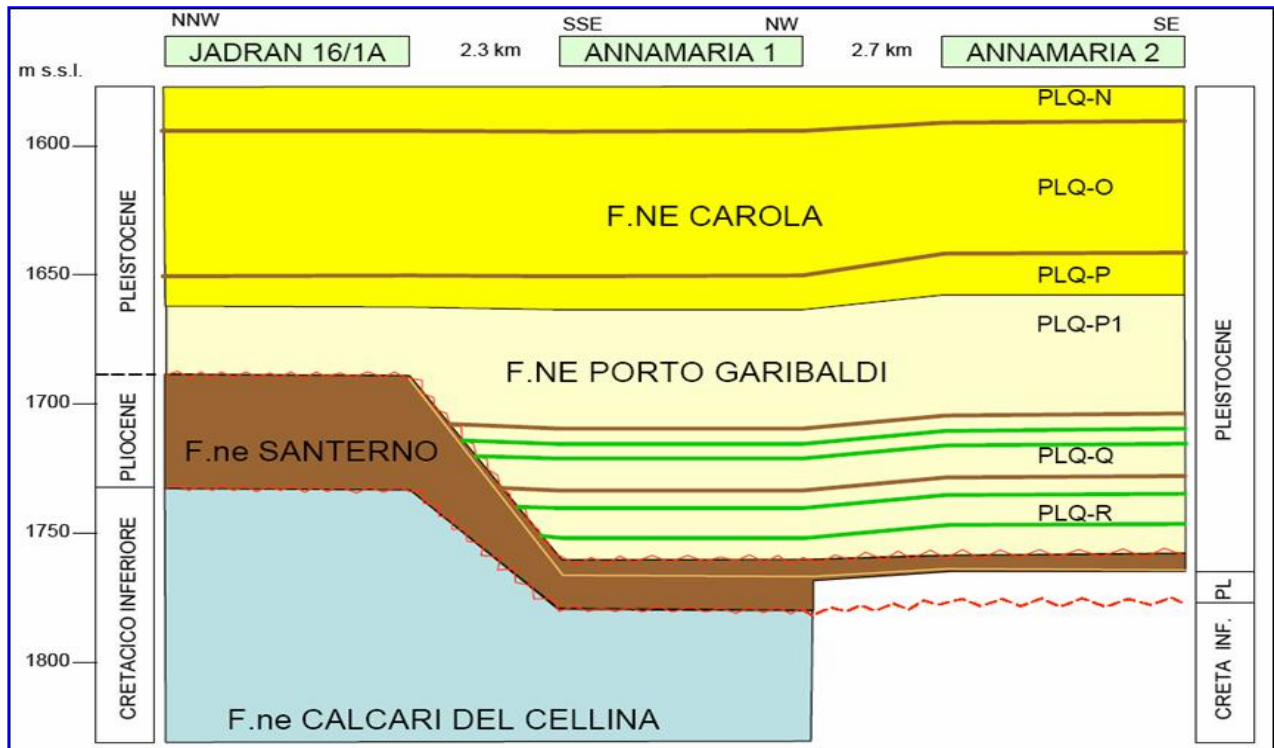


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici



CAMPO DI ANNAMARIA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2009	46	46	46	46	1%
2010	626	626	671	671	9%
2011	811	811	1482	1482	20%
2012	808	808	2290	2290	30%
2013	951	951	3241	3241	43%
2014	808	808	4049	4049	54%
2015	613	613	4662	4662	62%
2016	457	457	5119	5119	68%
2017	340	355	5459	5474	73%
2018		292		5766	
2019		246		6012	
2020		221		6233	
2021		198		6431	
2022		180		6611	
2023		166		6777	
2024		152		6929	
2025		139		7068	
2026		130		7198	
2027		111		7309	
2028		100		7409	
2029		69		7478	
2030		50		7528	

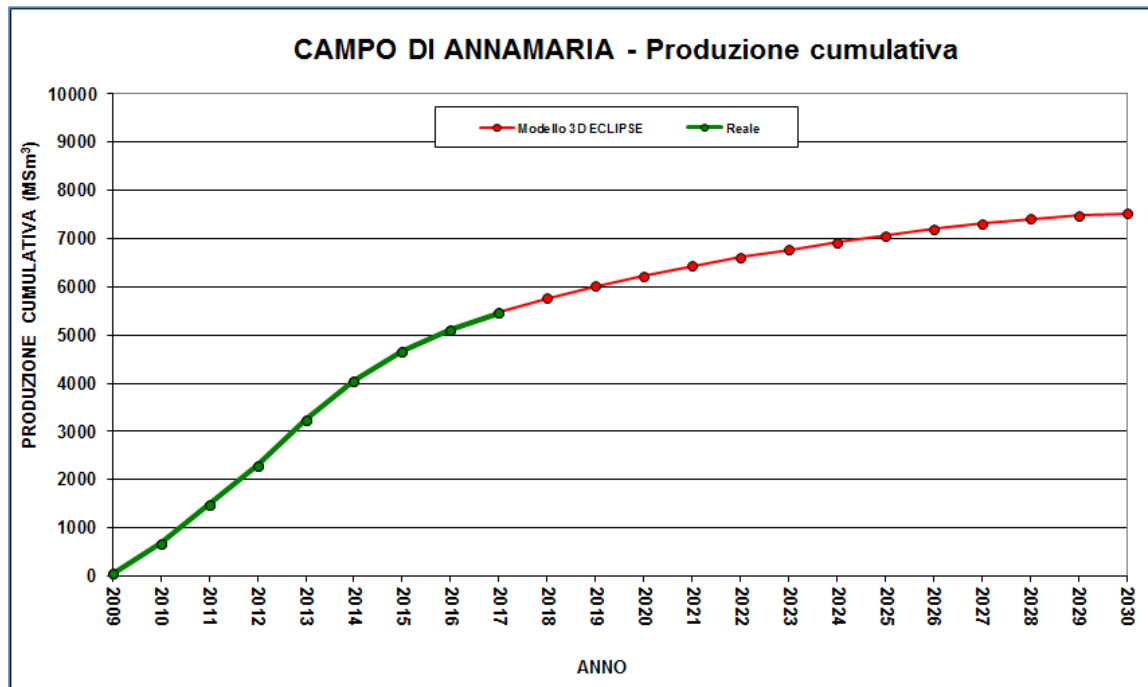


Figura 3a – Campo di Annamaria: tabella e grafico di produzione vs. modello *Eclipse* 2017

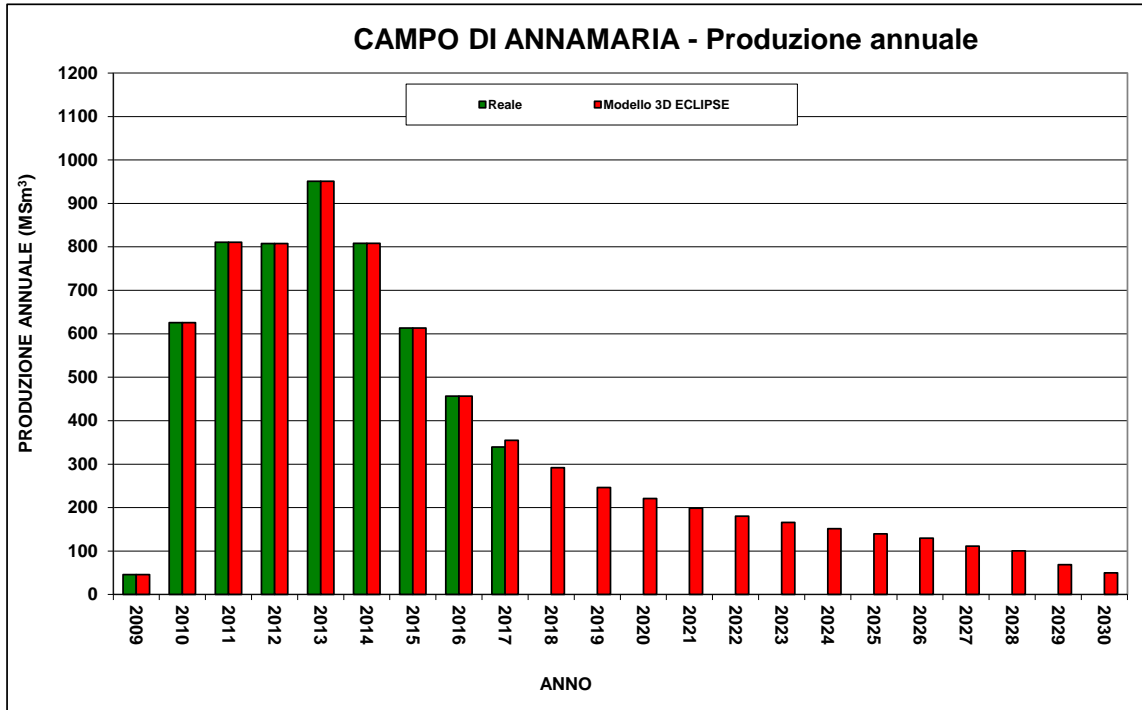


Figura 3b – Campo di Annamaria: tabella e grafico di produzione vs. modello *Eclipse* 2017

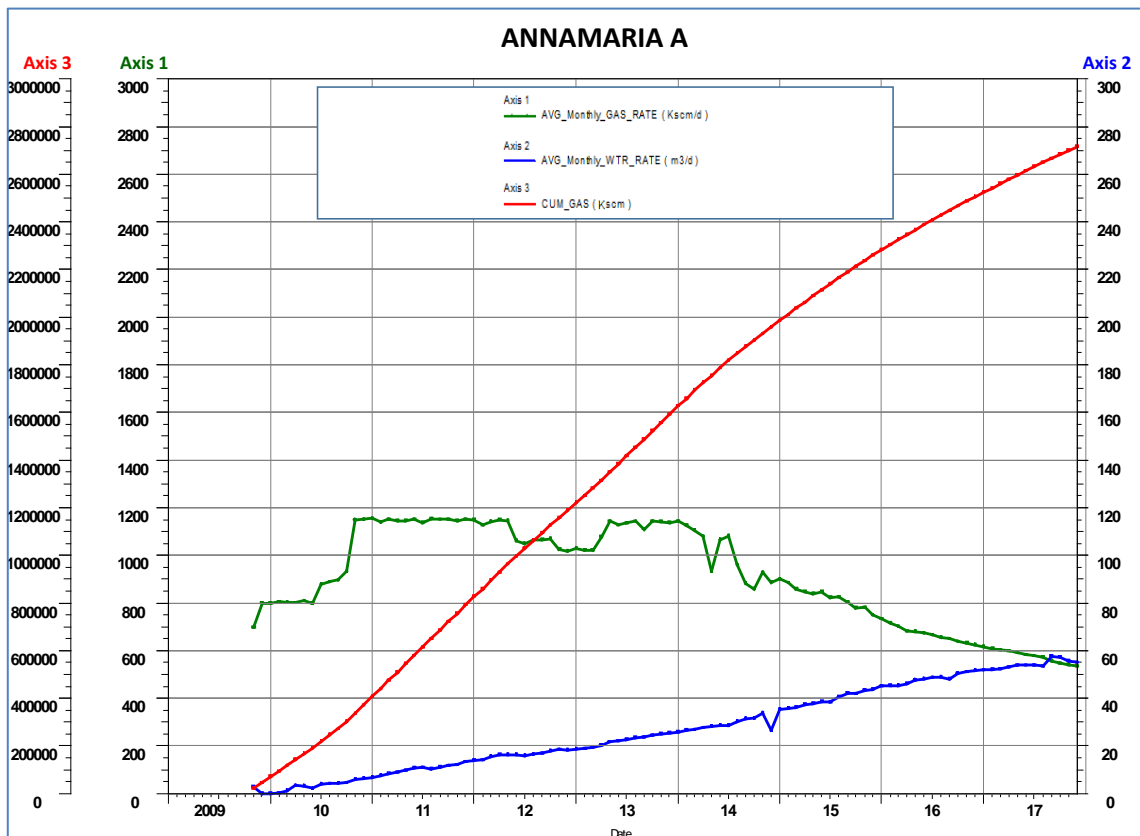


Figura 4 – Campo di Annamaria – Piattaforma A: di produzione storica

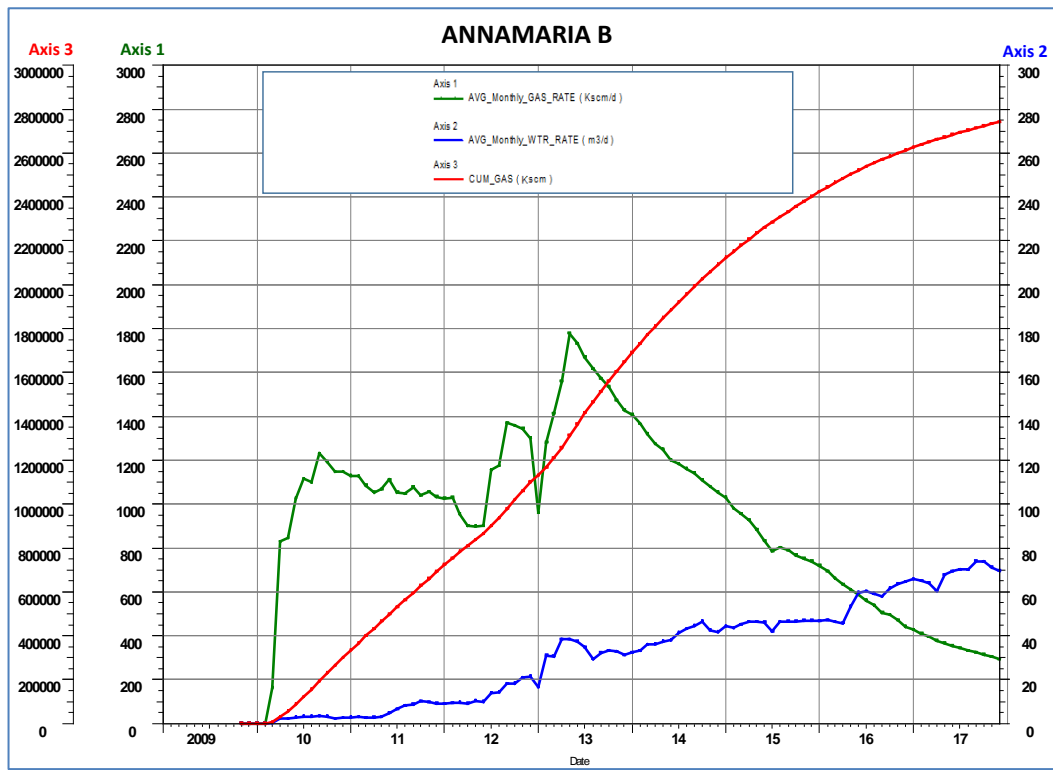


Figura 5 - Campo di Annamaria – Piattaforma B: produzione storica

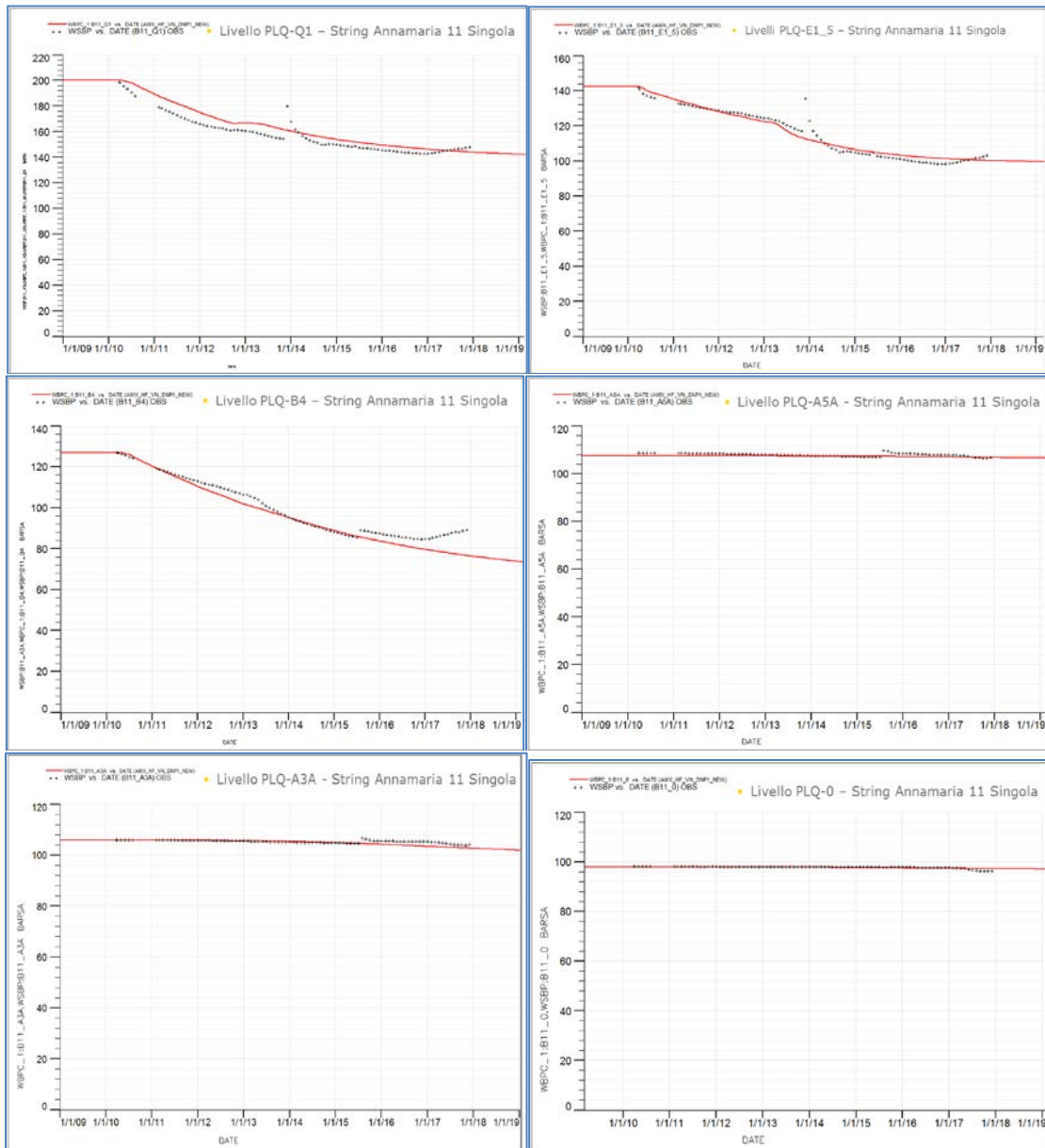


Figura 6 – Misure di pressione (Annamaria 11B PPG) e modello *Eclipse* 2017

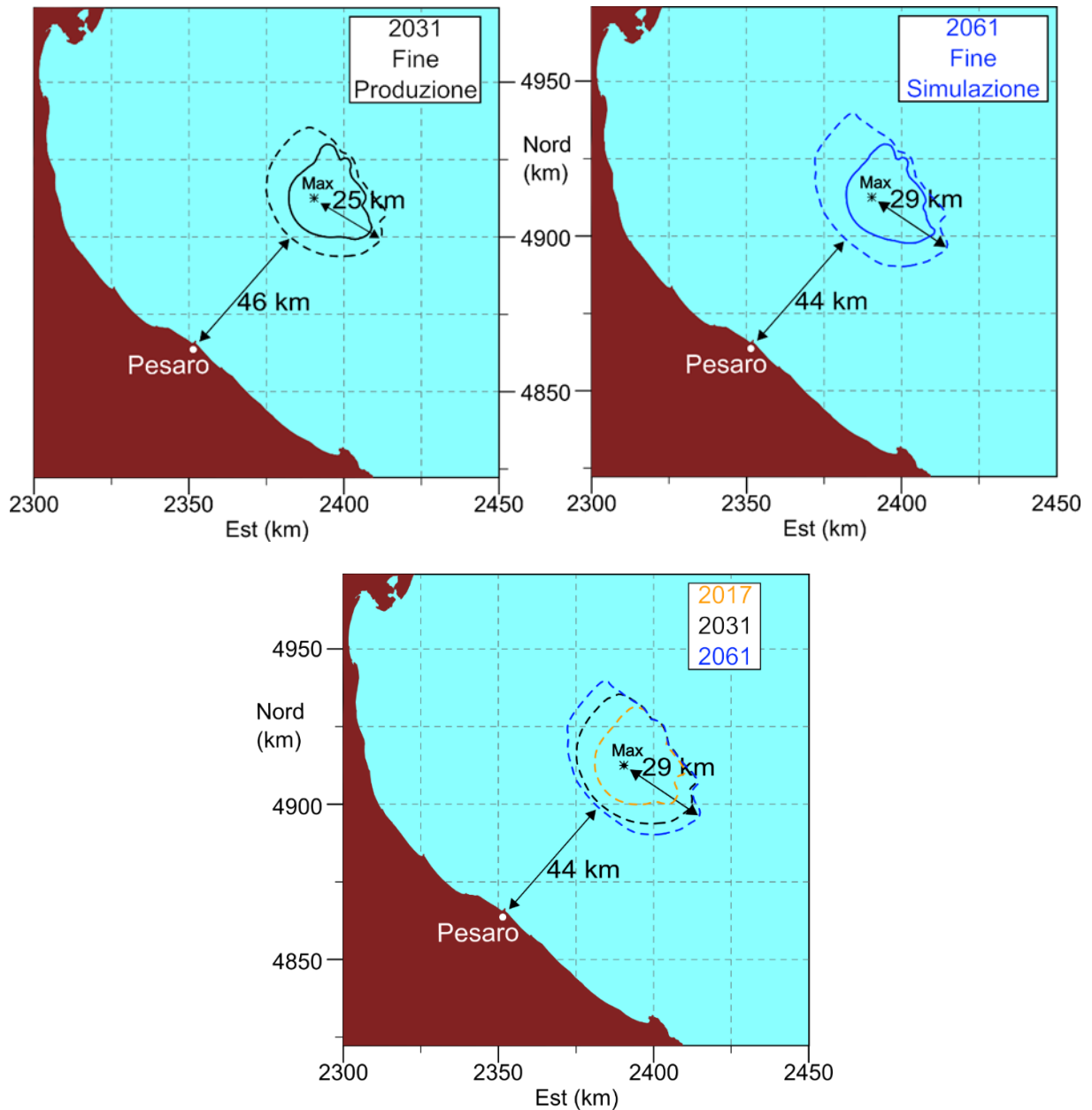


Figura 7 – Modello geomeccanico 2017 per il campo di Annamaria. In alto: linee di iso-subsidenza dei 2 cm (linea tratteggiata) e 5 cm (linea continua) al termine della produzione (a sinistra) e a fine simulazione (a destra). Sotto: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm. L'asterisco indica il punto di massimo.

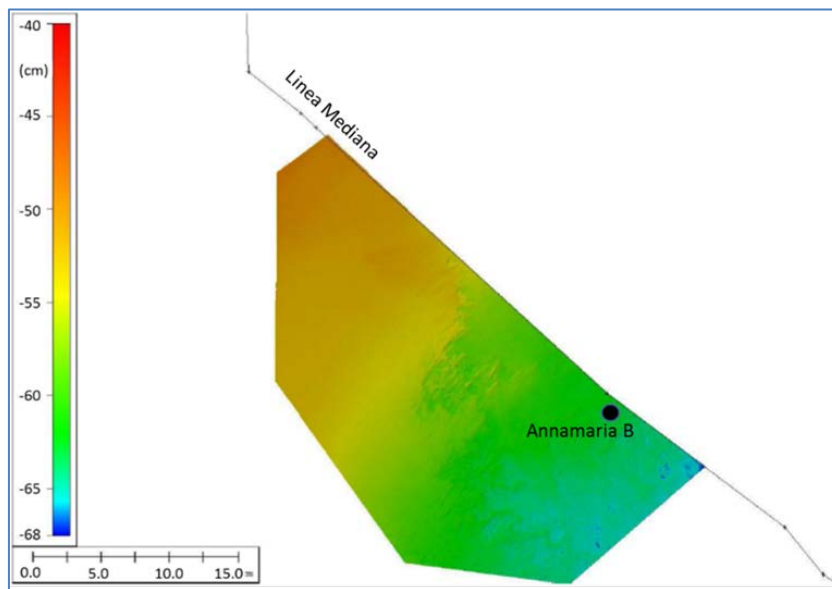
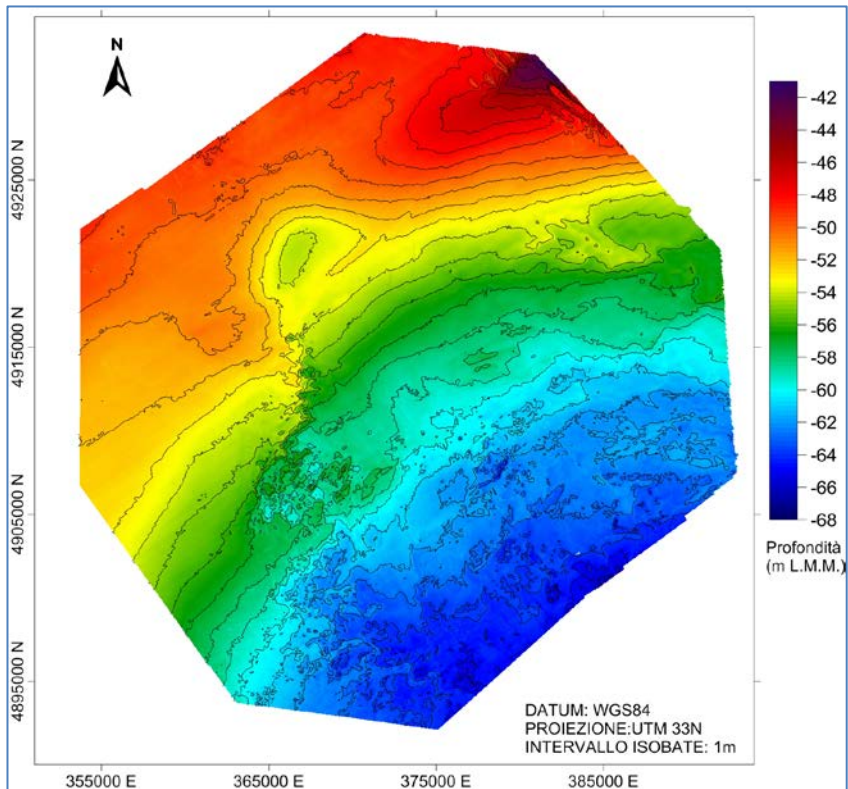
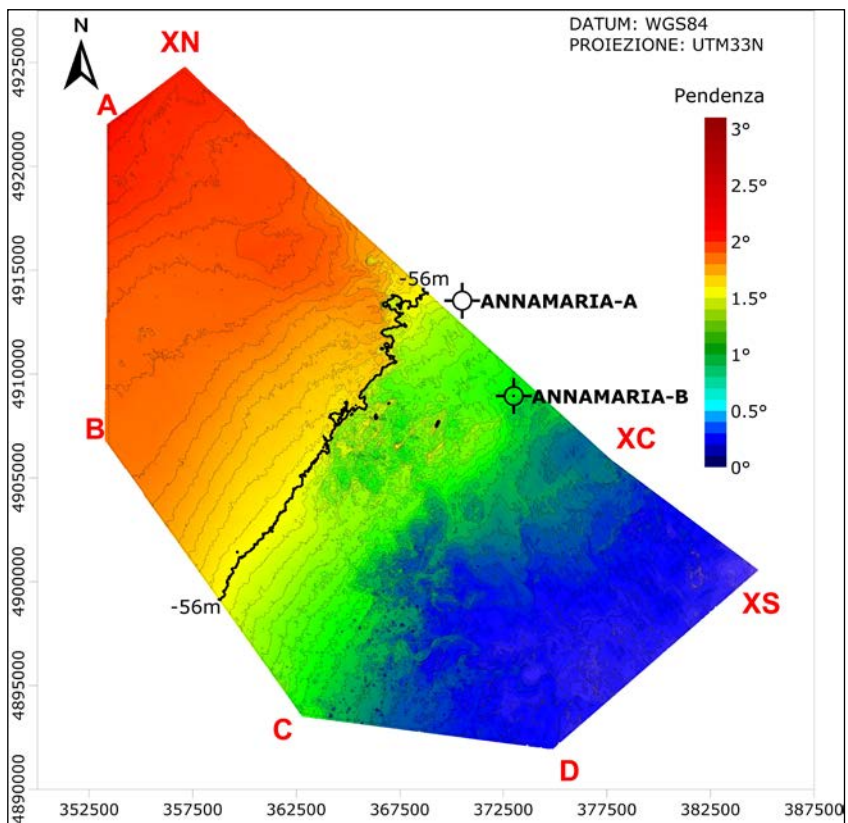


Figura 8 – Campo di Annamaria: area della batimetria 2016



"rilievo 2009"



"rilievo 2016"

Figura 9 – Campo di Annamaria: modello digitale del fondale da rilievo batimetrico *multibeam* 2009 e 2016

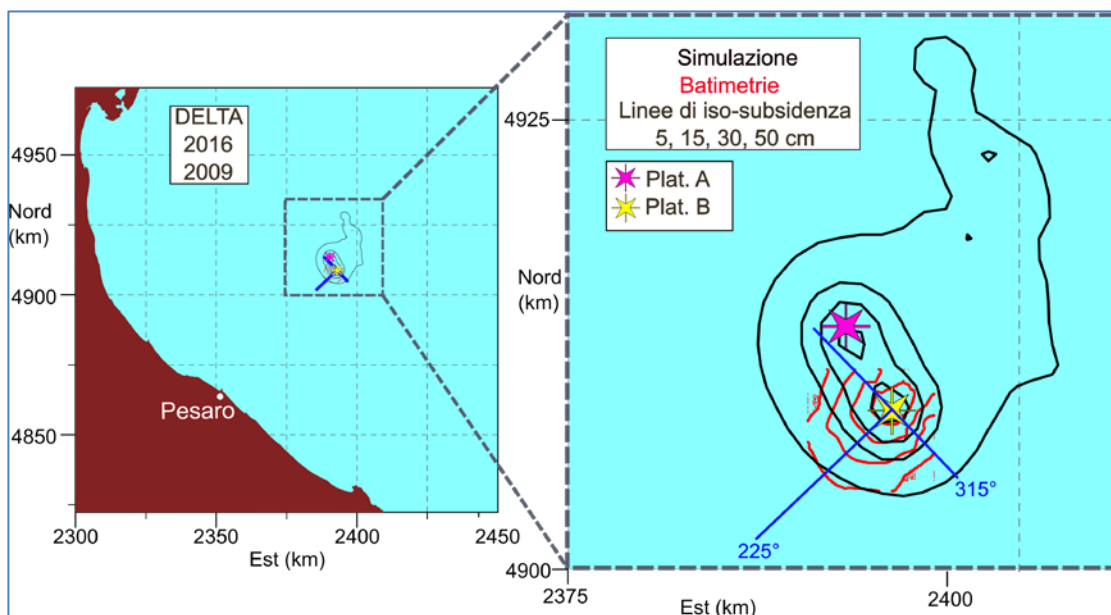


Figura 10: Estensione e andamento del disturbo subsidenziale calcolato da modello e rilevato dalla batimetria

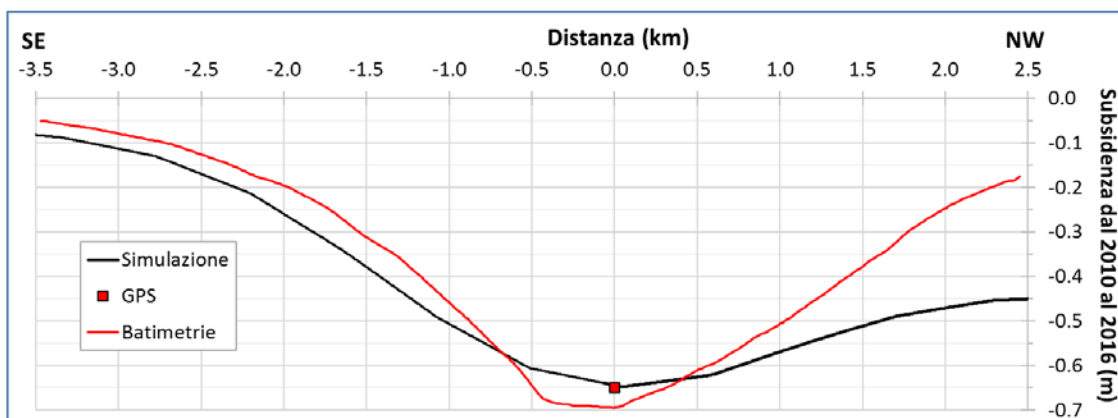
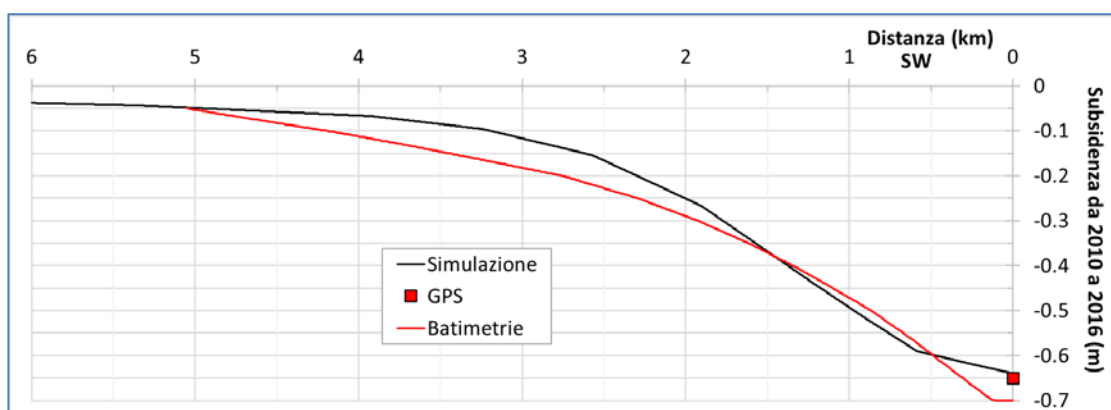


Figura 2 – Subsidenza sviluppata dal 2009 al 2016 lungo la sezione perpendicolare alla linea mediana e avente azimut 225°(sopra) e 315° (sotto). Confronto tra valori stimati dal modello Abaqus, misure batimetriche e CGPS

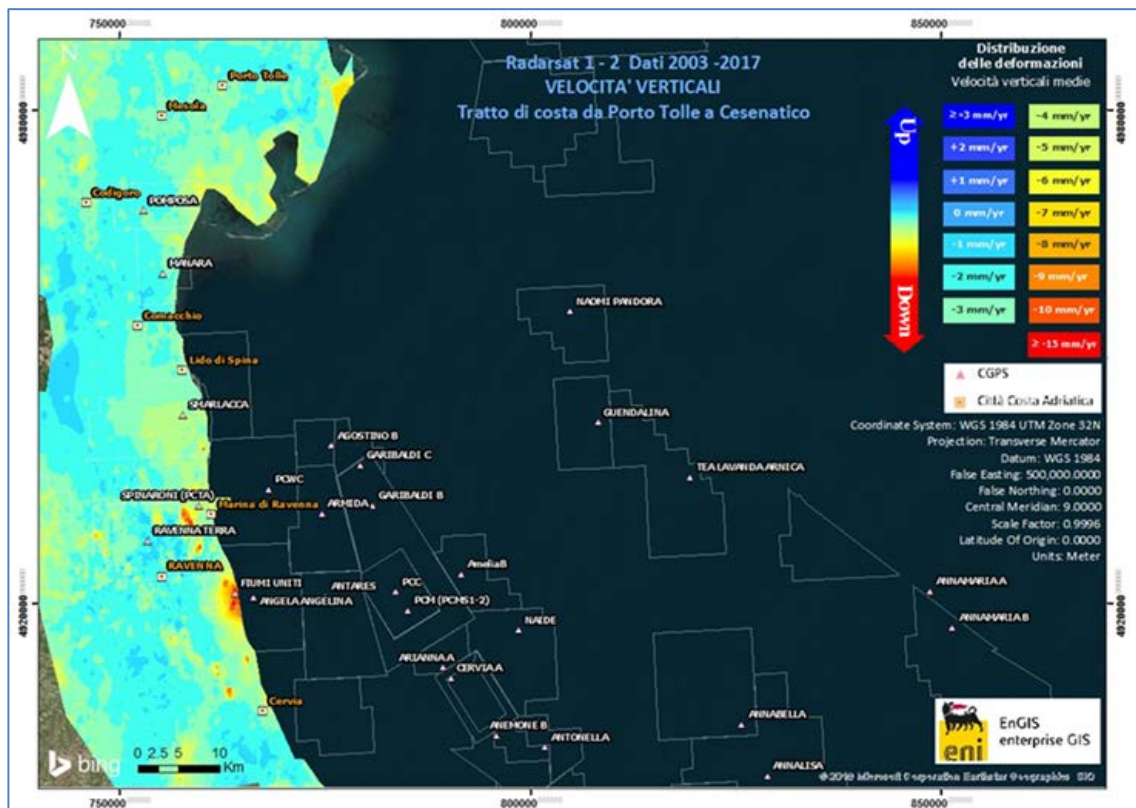
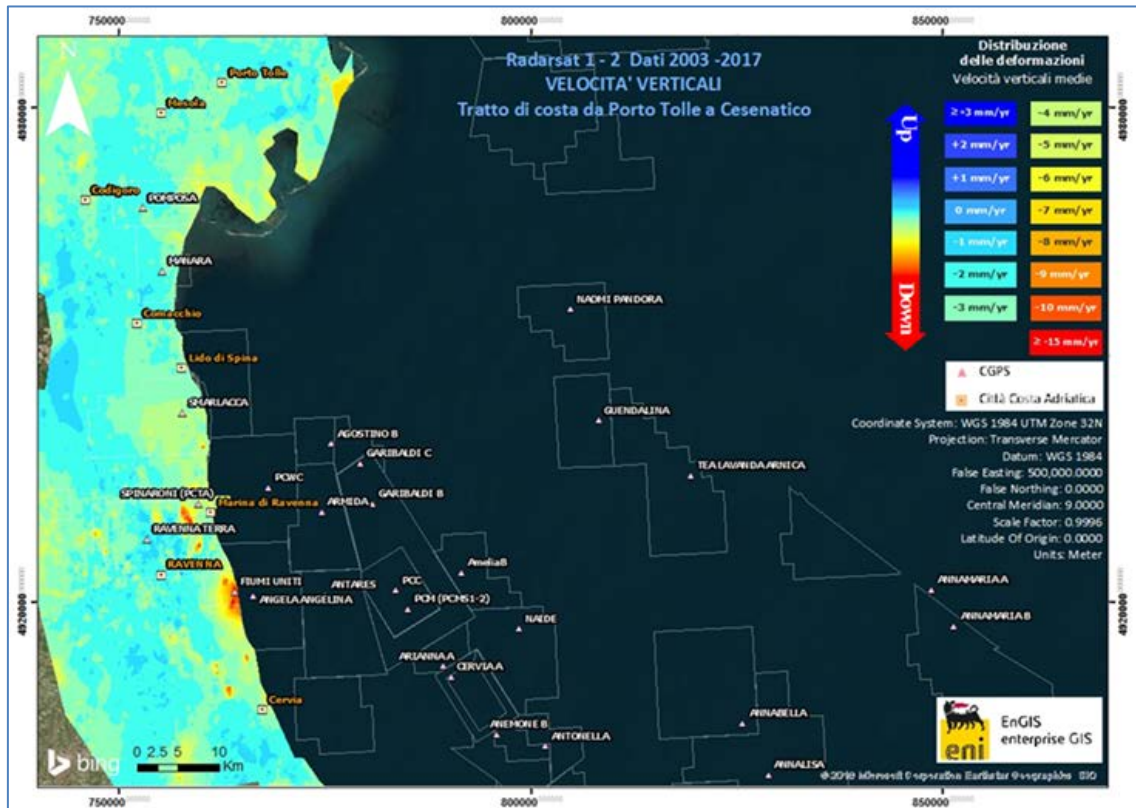
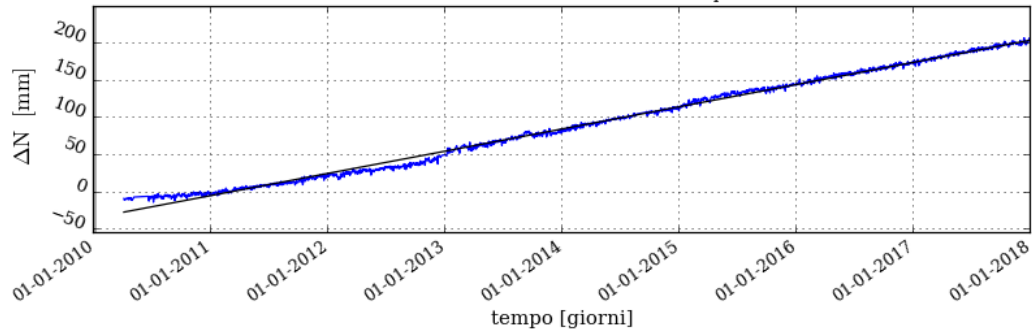


Figura 12 – campo di Annamaria: analisi dati SAR dal 2003 al 2017



Serie storica spostamenti IGB08 RETE AnnamariaB

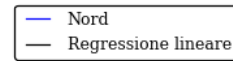
Serie Storica Nord dal 04-04-2010 al 31-12-2017 per AnnamariaB



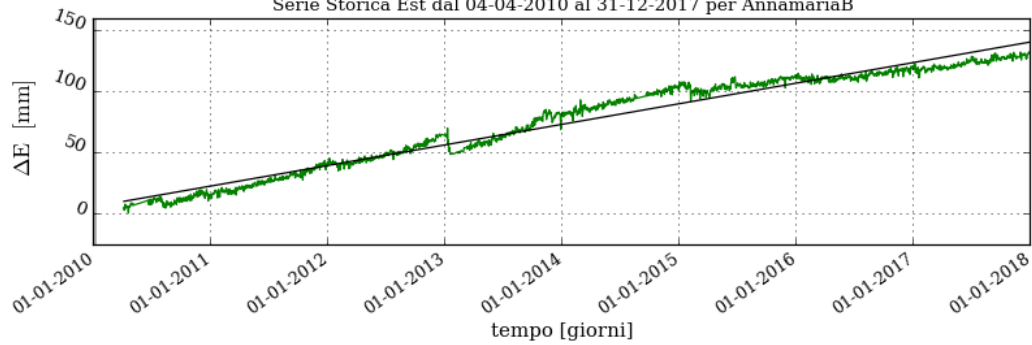
$$Vel_n = 29.94 \pm 0.04 \text{ mm/y}$$

$$WRMS_n = 4.29 \text{ mm}$$

$$\chi^2 / \text{DOF} = 83.83$$



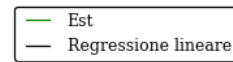
Serie Storica Est dal 04-04-2010 al 31-12-2017 per AnnamariaB



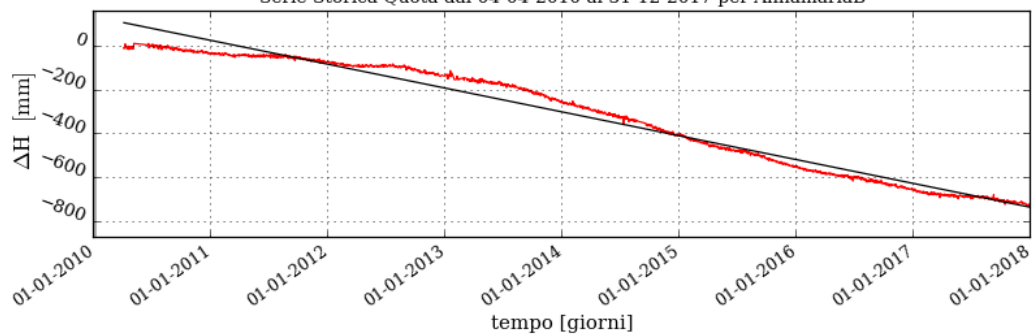
$$Vel_e = 16.8 \pm 0.06 \text{ mm/y}$$

$$WRMS_e = 6.73 \text{ mm}$$

$$\chi^2 / \text{DOF} = 305.42$$



Serie Storica Quota dal 04-04-2010 al 31-12-2017 per AnnamariaB



$$Vel_h = -109.62 \pm 0.35 \text{ mm/y}$$

$$WRMS_h = 39.0 \text{ mm}$$

$$\chi^2 / \text{DOF} = 523.72$$

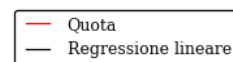
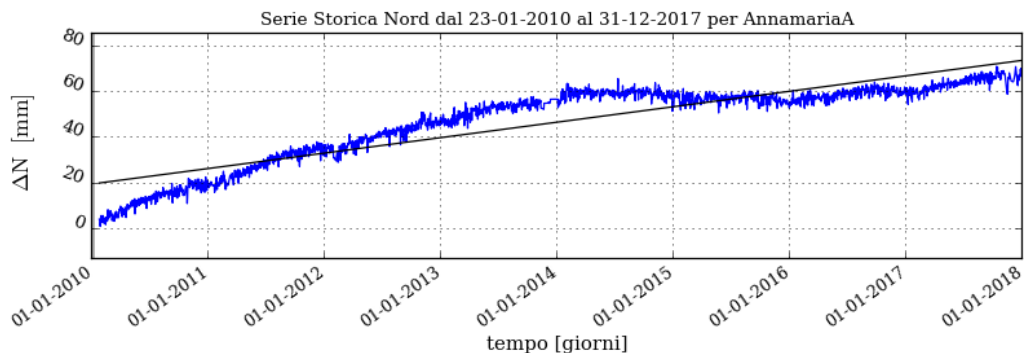


Figura 13a - Serie storiche di misure CGPS: piattaforma Annamaria B (acque italiane)

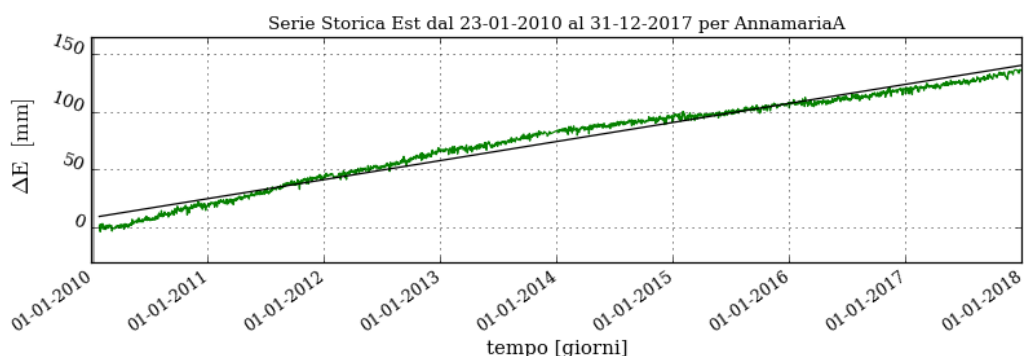


Serie storica spostamenti IGB08 RETE AnnamariaA



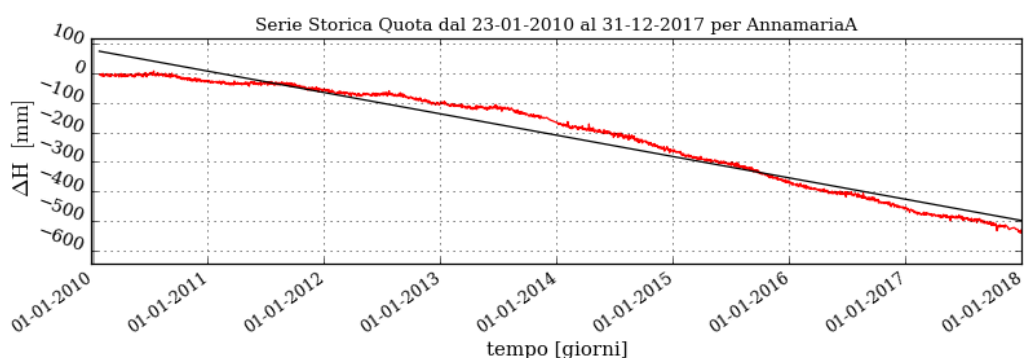
$Vel_n = 6.86 \pm 0.06$ mm/y
 $WRMS_n = 7.12$ mm
 $\chi^2 / DOF = 258.63$

— Nord
— Regressione lineare



$Vel_e = 16.58 \pm 0.05$ mm/y
 $WRMS_e = 5.71$ mm
 $\chi^2 / DOF = 269.04$

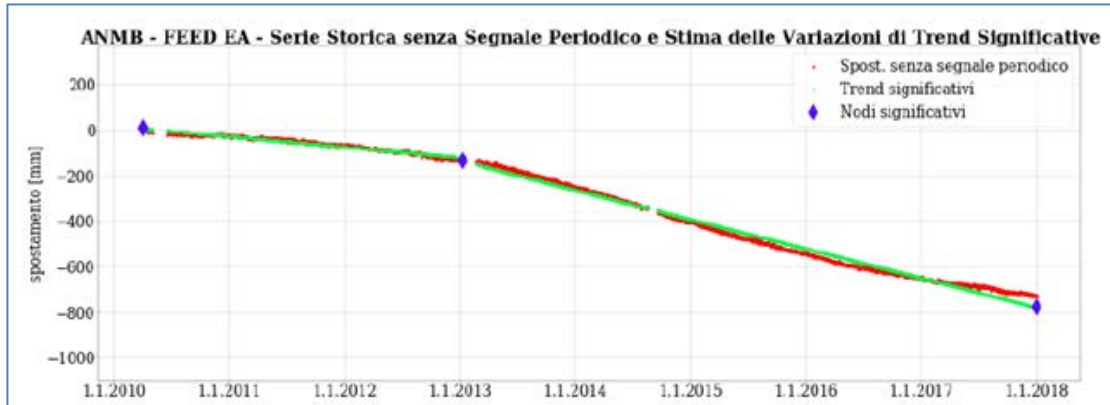
— Est
— Regressione lineare



$Vel_h = -72.12 \pm 0.28$ mm/y
 $WRMS_h = 33.54$ mm
 $\chi^2 / DOF = 477.34$

— Quota
— Regressione lineare

Figura 13b - Serie storiche di misure CGPS: piattaforma Annamaria A (acque croate)



FEED PP - MODELLO EMPIRICO			
Periodo	velocità [mm/y]	sigma [mm/y]	
04/04/2010 - 07/01/2013	-51.86	0.57	
07/01/2013 - 31/12/2017	-130.56	0.26	

Figura 14 - Analisi della serie storica di misure CGPS (p.ma Annamaria B)

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2017	Max subsidenza prevista (caso di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio	CGPS				
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2016	vel.media (mm/a) @ dic.2017	TREND rispetto @ dic. 2016	mesi di registrazioni
ANEMONE	1978	2018	100%	-39cm al 2048	2015	giu-07	-4,7	-4,5	invariato	110
ANNALISA	2000	2023	94%	-10cm al 2027	2014	ott-07	-4,1	-3,6	diminuzione	93
ANNAMARIA B	2009	2030	73%	-163cm al 2031	2017	gen-10	-108,6	-109,6	aumento	93
BARBARA NW	1999	2035	74%	-44cm al 2029	2017	gen-08	-29,6	-29,3	diminuzione	106
BONACCIA	1999	2035	65%	-423cm al 2033	2014	dic-07	-76,2	-75,0	diminuzione	119
BONACCIA NW	2015					set-15	n.d.	-59,8	n.d.	27
CALIPSO	2002	2025	81%	-85cm al 2026	2017	nov-07	-15	-14,8	diminuzione	116
CALPURNIA	2000	2022	99%	-14cm al 2015	2017	giu-07	-2	-1,4	diminuzione	110
CLARA EST	2000			-129cm al 2037		nov-07	-13,4	-13,7	invariato	122
CLARA NW	2016	2038	59%	-97cm al 2061	2017	mar-16	n.d.	-24,2	n.d.	21,5
CLARA NORD	2000	2021	99%	-34cm al 2016	2017	nov-07	-23,6	-22,1	diminuzione	122
ELETTRA	2014	2029	58%	-11cm al 2061	2017	lug-14	-23,6	-24,2	aumento	41
FAUZIA	2014	2020	94%	-5cm al 2068	2017	set-14	-5,5	-4,9	diminuzione	39
GUENDALINA	2011	2023	98%	-3cm al 2023	2014	ago-11	-5,4	-5,5	invariato	76
NAIDE	2005	2020	95%	-8cm al 2020	2017	giu-05	-3,4	-3,3	invariato	150
NAOMI - PANDORA	2001	2037	48%	-4,7cm al 2049	2017	giu-02	-1,5	-1,5	invariato	186
PCME (PMS)	2001	2014	100%	-5,4cm al 2020	2016	lug-05	-3,8	-3,7	invariato	149
REGINA	1997	2030	97%	-130cm al 2061	2017	giu-07	-25,5	-23,7	diminuzione	126
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2018	103%	-5cm al 2018	2015	nov-07	-4,3	-3,7	diminuzione	122

Figura 15 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di misure CGPS vs. modelli

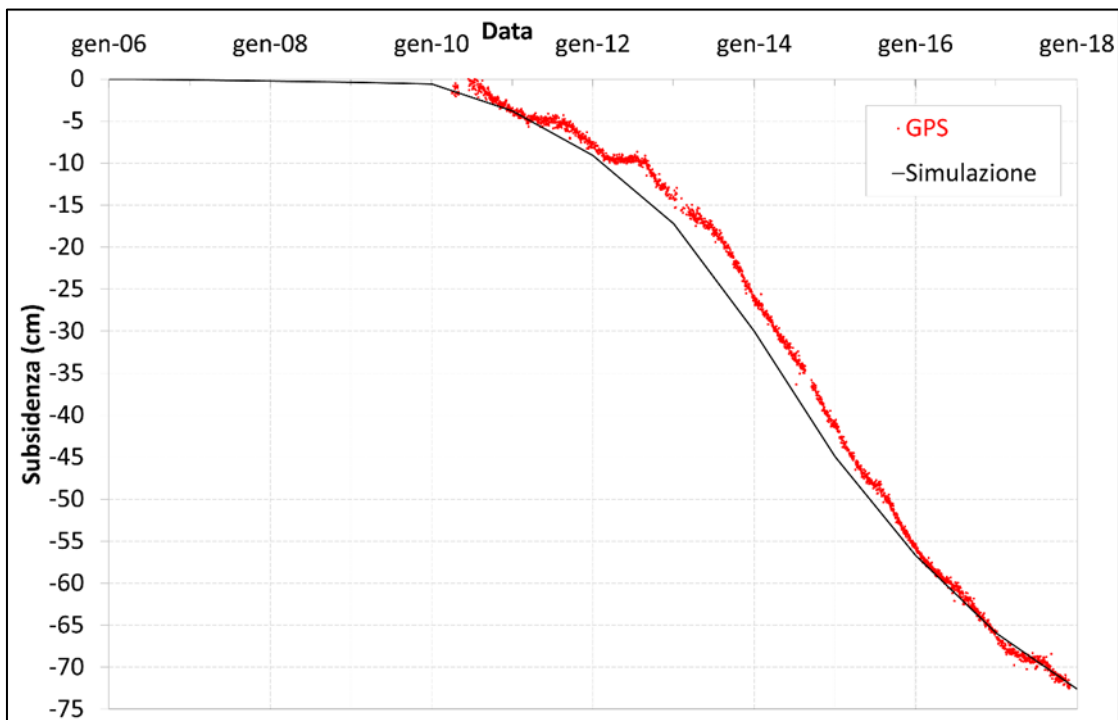
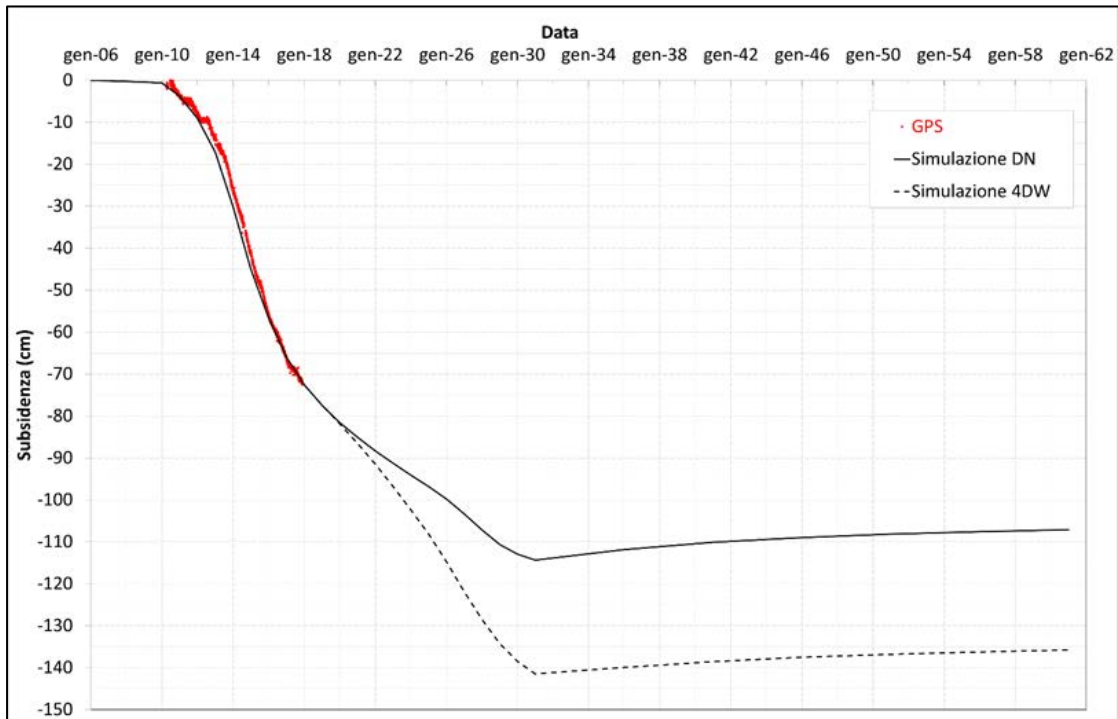


Figura 16 – Confronto fra la subsidenza totale misurata dalla stazione CGPS installata sulla piattaforma Annamaria B e i valori previsti dal modello geomeccanico del 2017



SPACING #	Measured Depth (m MD)		Compattazione (-) & Espansione (+) (mm)							
	Top Bullet	Bottom Bullet	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16	set-17
			mar-10	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16
99	970.00	980.50	2	1	2	1	2	-3	-25	-16
98	975.25	985.75	-1	0	0	1	1	-3	2	-2
97	980.50	991.00	-5	3	-3	-2	4	-4	27	10
96	985.75	996.25	0	-1	0	0	0	0	-22	-2
95	991.00	1001.50	2	2	-3	-1	1	-1	-2	-1
TOT			-1	3	-2	0	5	-7	-17	-10
92	1057.55	1068.05	1	3	-2	0	2	-6	17	20
91	1062.80	1073.30	3	-4	2	-2	-1	0	-15	21
90	1068.05	1078.05	1	0	0	-3	4	-2	-3	-9
89	1073.30	1083.80	-3	4	4	-11	5	0	19	-6
88	1078.05	1089.05	2	4	-6	-1	1	-3	-32	-21
87	1083.80	1094.30	1	-1	-5	7	0	-4	3	-17
86	1089.05	1099.55	2	-1	1	7	-14	0	24	25
85	1094.30	1104.80	2	0	2	-4	3	-4	-32	6
84	1099.55	1110.05	2	1	1	0	0	-4	14	-33
83	1104.80	1115.30	-3	-1	1	-1	2	1	-3	-7
82	1110.05	1120.55	-1	1	4	0	-3	0	4	-3
81	1115.30	1125.80	4	-4	3	-3	1	-3	3	-7
80	1120.55	1131.05	-1	-6	6	-2	5	-1	-4	-7
79	1125.80	1136.30	-2	-2	3	-3	-4	1	6	-8
78	1131.05	1141.55	2	1	1	-4	-2	0	-2	-2
77	1136.30	1146.80	4	1	-4	-2	12	0	-24	-10
76	1141.55	1152.05	-4	2	-2	1	2	-1	-3	-2
75	1146.80	1157.30	-1	-3	3	-3	-4	1	10	2
74	1152.05	1162.55	1	1	-3	-2	5	-5	-8	-4
73	1157.30	1167.80	1	-1	1	-2	-3	-6	-27	-4
72	1162.55	1173.05	2	-5	5	-4	-4	-2	-2	-4
71	1167.80	1178.30	0	2	-3	-6	-3	-8	17	-7
70	1173.05	1183.55	-6	3	-2	-13	-15	-19	-17	-10
69	1178.30	1188.80	-2	0	0	-9	-46	-26	-27	-11
68	1183.55	1194.05	2	-2	0	-14	-46	-18	-24	-13
67	1188.80	1199.30	-4	1	-2	-14	-18	-13	-24	-19
66	1194.05	1204.55	2	-1	-2	-5	-11	-13	-19	-23
65	1199.30	1209.80	-1	0	-3	-1	-4	-4	0	-17
64	1204.55	1215.05	3	0	-2	-3	5	-2	-5	-2
63	1209.80	1220.30	-3	2	1	0	-5	-3	-12	4
62	1215.05	1225.55	1	-3	1	0	2	-3	-4	-2
61	1220.30	1230.80	0	-2	2	-2	2	1	-5	-6
60	1225.55	1236.05	-1	0	-2	3	-5	-2	-2	3
59	1230.80	1241.30	2	-3	2	-1	0	-5	-5	-3
58	1236.05	1246.55	1	0	-2	-5	-5	2	-9	-7
57	1241.30	1251.80	-3	2	-1	1	-3	-3	-7	-8
56	1246.55	1257.05	1	3	0	-14	-1	-3	7	-18
55	1251.80	1262.30	-2	2	3	-9	-12	-2	-8	-8
54	1257.05	1267.55	-4	4	0	-7	-14	-13	-14	9
53	1262.30	1272.80	-2	-1	-5	-4	-12	-8	-10	-15
52	1267.55	1278.05	1	-1	-4	-10	-15	-12	-14	-12
51	1272.80	1283.30	-4	-2	2	-12	-22	-15	-14	-16
50	1278.05	1288.55	-4	-2	-4	-6	-18	-9	-22	-14
49	1283.30	1293.80	-1	-2	-3	-3	-10	-10	2	-10
48	1288.55	1299.05	2	-1	0	-2	0	-3	-2	-4
47	1293.80	1304.30	2	1	0	-4	0	0	-1	-8
46	1299.05	1309.55	0	-1	0	-3	4	-1	-7	-6

Figura 17 - Misure di compattazione *in-situ* (da FSMT) da spacing # 46 a spacing # 99



SPACING #	Measured Depth (m MD)		Compattazione (-) & Espansione (+) (mm)							
	Top Bullet	Bottom Bullet	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16	set-17
			mar-10	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16
45	1304.30	1314.80	2	0	1	0	-4	-1	-6	-3
44	1309.55	1320.05	-1	-2	2	-9	-5	-6	6	-5
43	1314.80	1325.30	-3	-2	-6	-6	-3	-4	-6	-4
42	1320.05	1330.55	0	-1	-5	-4	-2	-1	-12	-7
41	1325.30	1335.80	-1	-2	-3	-7	-6	-3	-2	-7
40	1330.55	1341.05	-1	-2	-3	-8	-5	-7	3	-8
39	1335.80	1346.30	2	-1	-2	-1	1	-4	-12	-3
38	1341.05	1351.55	-1	0	1	-1	-6	-1	-3	-3
37	1346.30	1356.80	0	-2	-1	-2	-5	-2	-3	-6
36	1351.55	1362.05	-1	-1	-1	-7	-4	-2	-4	-6
35	1356.80	1367.30	-3	1	0	-10	-2	-4	-2	-2
34	1362.05	1372.55	0	-2	1	-4	-4	-5	-3	-5
33	1367.30	1377.80	-1	0	0	-3	-3	-4	-1	-8
32	1372.55	1383.05	-4	1	-1	-2	-8	-2	-5	-5
31	1377.80	1388.30	-4	-2	2	-9	-5	-5	-3	-3
30	1383.05	1393.55	-3	-2	-3	-2	-7	-4	-4	-5
29	1388.30	1398.80	0	-2	-1	-6	-5	-5	1	-8
28	1393.55	1404.05	0	-3	1	-6	-7	-5	-1	-2
27	1398.80	1409.30	0	0	0	-4	-3	-4	-3	-4
26	1404.05	1414.55	1	1	0	-1	-2	-3	0	-5
25	1409.30	1419.80	2	-1	1	-5	-5	-2	-2	-4
24	1414.55	1425.05	0	0	0	-13	-4	-3	-1	-4
23	1419.80	1430.30	1	-2	-1	-11	0	0	0	-5
22	1425.05	1435.55	0	-1	2	-7	-2	-1	-1	-6
21	1430.30	1440.80	0	-2	4	-5	-3	-4	-1	-5
20	1435.55	1446.05	2	-2	1	-4	1	-2	-3	-3
19	1440.80	1451.30	1	-2	3	-3	-1	-3	-2	-2
18	1446.05	1456.55	1	0	-1	1	3	-4	-2	0
17	1451.30	1461.80	1	1	2	-4	2	-1	-2	-4
16	1456.55	1467.05	0	1	-2	0	-1	-2	-1	-3
15	1461.80	1472.30	-1	1	2	-3	0	0	0	-3
14	1467.05	1477.55	-1	2	1	-3	2	-6	0	-3
13	1472.30	1482.80	-1	0	0	1	-1	-3	-1	-6
12	1477.55	1488.05	1	1	1	-2	4	0	-3	-1
11	1482.80	1493.30	2	-4	2	0	0	-1	-1	-2
10	1488.05	1498.55	2	-1	3	-2	-2	-1	-2	-5
TOT			-8	-21	-3	-161	-167	-169	-178	-219
7	1738.00	1748.50	-2	-2	2	-3	-3	-5	1	-4
6	1743.25	1753.75	-4	-1	-5	-11	6	-1	-12	0
5	1748.50	1759.00	-2	-2	-4	-5	-6	-2	-5	-1
4	1753.75	1764.25	-3	-1	-8	-7	-5	-3	1	-7
3	1759.00	1769.50	5	-1	-3	-9	-6	-3	-1	-8
2	1764.25	1774.75	4	-4	0	-	-	-	-	-
TOT			-2	-12	-17	-	-	-	-	-
TOT wo 2			-3	-5	-9	-20	-10	-10	-8	-13
TOT			-11	-30	-22	-	-	-	-	-
TOT wo 2			-12	-22	-14	-181	-173	-186	-203	-242

Figura 18 - Misure di compattazione in-situ (da FSMT) da spacing # 2 a spacing # 45



campo ANNAMARIA - ANNAMARIA B (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DECRETO VIA: GAB-DEC-2008-0000271 del 12.12.2008 poi modificato alla lett. C con GAB-DEC-2009-0000093 del 31.07.2009	
AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNAMARIA)		SIA	
ULTIMO AGGIORNAMENTO		STUDIO DI GIACIMENTO	
LUBRIFICAZIONE PROFONDITA' FONDALE offshore - 60 km dalla costa marchigiana 55-65 m		MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "APRILE '06" Nota tecn. Stud. Giac. per Stud. Geomecc., Report GISE-19/17 (dic 2017)	
LITOLOGIA silti-sabbie fini in livelli sottili Ravenna - Carola		RISERVE (MSm ³) 8793 (Annamaria B) - 18130 (campo) 3546 (Annamaria B) - 7528 (campo)	
ZONA MINERARIA PLO2 - PLO1 - PLQ		MOD. GEOMECCANICO ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ GIUGNO 2007 ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ APRILE 2013	
PROFONDITA' RESERVOIR 570 - 1015 (TVDS)		MAX SUBS AL CENTRO (cm) 90 (@2038) SCENARIO DI RIFERIMENTO 51 @ 2040 - SCENARIO DI RIFERIMENTO (Medio)	
TIPO DI PIATTAFORMA fissa - standard		MAX DIST. DAL CULMINE (km) 15 (@ 2060) 21 @ 2070 a circa 32 km dalla costa	
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE torbiditi sottili		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE A.C11.AG		LIVELLAZIONI ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE I CAMPI NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014 e 2017. I DATI SONO STATI CERTIFICATI DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM IL PROSSIMO RILIEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2020 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTI LA PERIODICITA' DEL RILIEVO E' , COMunque, PRESCRITTA OGNI 3 ANNI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE 23/10/2019		MARKERS MARKERS SU ANNAMARIA B11: ULTIMO SURVEY @settembre 2017 Survey eseguiti : marzo 2010 (rilievo base); settembre 2010; marzo 2011; aprile 2012; luglio 2013, maggio 2015 e luglio 2016	
N. POZZI 12 14		CGPS NEL GENNAIO DEL 2010 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA	
Annamaria A 6 6		SAR ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ Dicembre 2017 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.MA ANNAMARIA B NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	
Annamaria B 6 8		BATIMETRIE Rilievo batimetrico di controllo effettuato tra giugno-luglio 2016 Rilievo batimetrico "base" effettuato tra aprile-giugno 2009 (area italiana) e ottobre-dicembre 2009 (area croata)	
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm ³) 18130 7528			
Annamaria A 9337 3982			
Annamaria B 8793 3546			
START UP PRODUZIONE (Annamaria B) mar-10			
(Annamaria A) mar-09			
FINE PRODUZIONE PREVISTA 2038 2030			
GAS PRODOTTO (campo) (MSm ³) 5459			
Annamaria A 2717			
Annamaria B 2742			
% RISERVE PRODOTTE (campo) 73%			

Figura 19 – Campo di Annamaria: scheda di sintesi

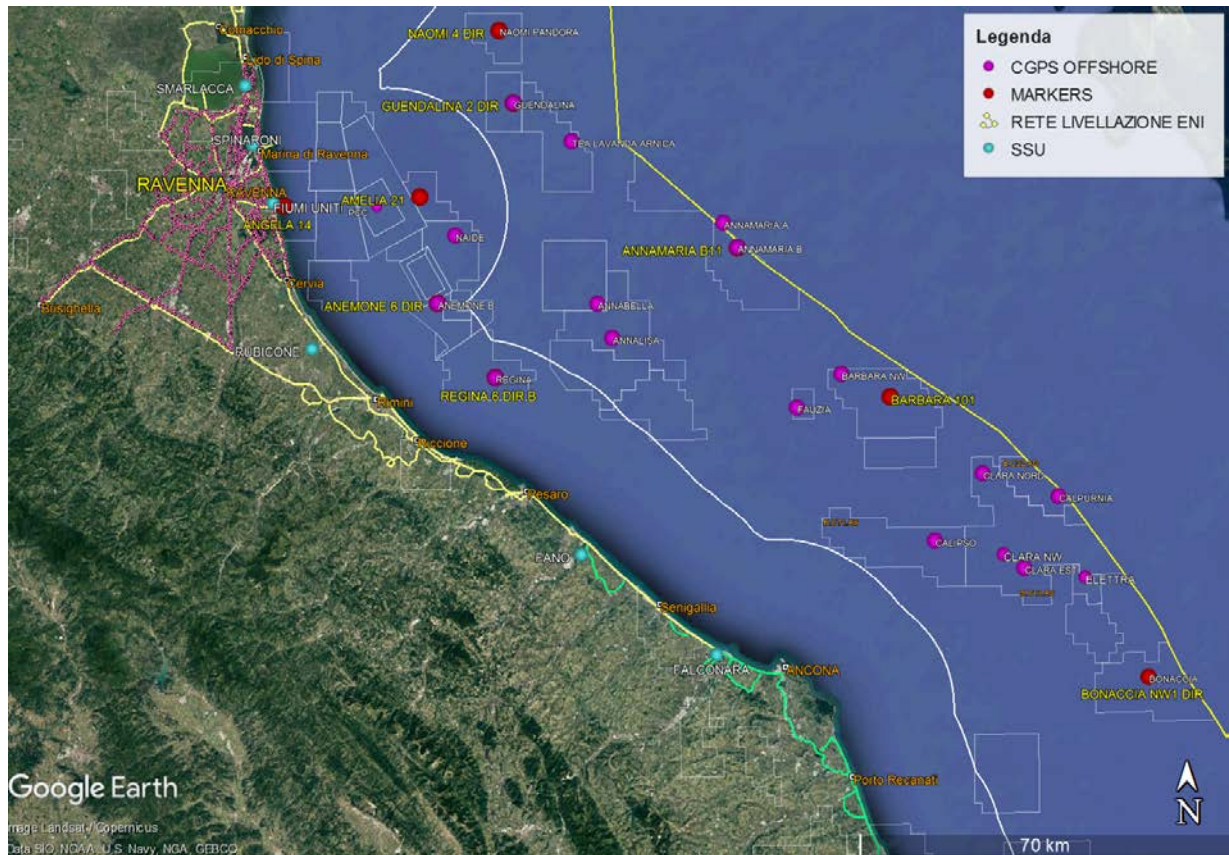


Figura 20 - Particolare della rete di monitoraggio Eni



Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2017

I dati *InSAR* del periodo 2003 – 2017 sono stati elaborati con un algoritmo diverso da quello utilizzato negli scorsi anni, essendo cambiato ad aprile 2017 il contrattista fornitore del servizio (Telespazio/e-GEOS).

Il nuovo algoritmo impiegato sarà descritto in seguito con maggior dettaglio (si veda la sezione “Tecnica *PSP-DIFSAR*”) allo scopo di evidenziare le differenze dei principali algoritmi utilizzati nell’elaborazione delle misure d’interferometria *radar*.

A valle dell’analisi dei dati interferometrici 2003 - 2017 si può, comunque, affermare che la qualità dei risultati ottenuti con il nuovo procedimento di elaborazione è del tutto comparabile con quella dei risultati riportati nella precedente relazione per il periodo 2003 – 2016.

Analisi dati *InSAR* 2003 – 2017

L’analisi dei dati SAR ha interessato complessivamente dieci data-set, relativi ad altrettante aree geografiche, elaborati in modo tale da garantire continuità spaziale dei dati.

L’analisi delle differenze tra le componenti verticali delle velocità medie annuali di deformazione del suolo misurate dai CGPS installati nell’area in esame, e quelle ottenute dalle immagini SAR retroriflesse dai bersagli PS (*Permanent Scatterers*) situati in una zona circolare (raggio ca. 300m) intorno alle corrispondenti stazioni CGPS (Tab.1A), ha consentito d’accoppiare le suddette aree geografiche solo in due macro-aree, in modo tale da calibrare i dati *InSAR* minimizzandone le differenze di valore con le misure CGPS.

A tale proposito si veda la Tab.1A in cui sono riportate:

- la componente verticale della velocità media annua misurata dal CGPS (simbolo: V_{vert_CGPS}), sia il relativo scarto quadratico medio (simbolo: sqm_CGPS);
- la media delle componenti verticali delle velocità medie annue registrate dai PS nell’intorno della corrispondente stazione CGPS (simbolo: $Media_V_SAR$), e il relativo scarto quadratico (simbolo: sqm_SAR);
- la differenza tra le velocità CGPS e SAR e i relativi scarti quadratici medi (colonne 7 e 8).

Si noti che tutte le misure sono espresse in mm/a.

Tab. 1A. Taratura dato *InSAR* con misure CGPS

	CGPS	V_vert_CGPS [mm/a]	sqm_CGPS [mm/a]	Media_V_SAR [mm/a]	sqm_SAR [mm/a]	Vel (CGPS-SAR) [mm/a]	sqm_diff [mm/a]
RAVENNA	MANARA	-2,52	0,02	0,03	0,83	-2,55	0,85
	SMARLACCA	-6,18	0,01	-2,67	2,12	-3,51	2,13
	SPINARONI	-7,29	0,01	-3,28	1,64	-4,01	1,65
	FIUMI UNITI	-13,99	0,02	-10,96	2,66	-3,03	2,68
FANO-ANCONA	RUBICONE	-2,12	0,04	-2,90	2,03	0,78	2,07
	FANO	0,60	0,03	0,17	0,84	0,43	0,87
	FALCONARA	0,21	0,03	-0,13	1,46	0,34	1,49
	ITALGAS	0,56	0,03	0,47	0,90	0,09	0,93

Come si può osservare in detta tabella le differenze di velocità media tra le misure CGPS e quelle SAR hanno valori che si attestano a circa 3 mm/a per le prime quattro aree, mentre per le seconde quattro tali differenze sono dell'ordine di circa mezzo millimetro.

Per tale motivo si è scelto di mosaicare i dieci diversi data-set in due sole macro-aree denominate (Figura 1A):

1. Area di Ravenna, che comprende le stazioni CGPS di Manara, Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti;
2. Area di Fano-Ancona, che comprende le stazioni CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas.

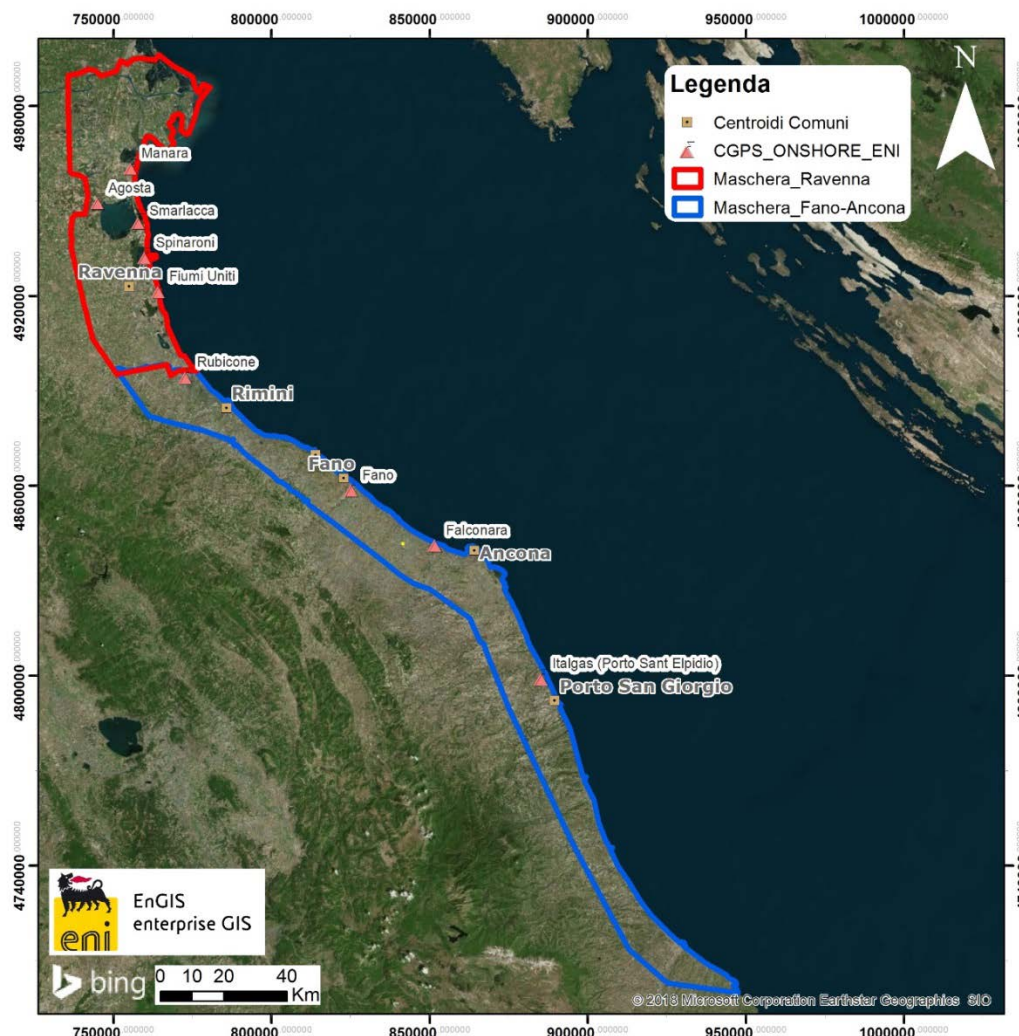


Fig.1A – Mappa mosaicatura dati *InSAR*

La calibrazione dei dati SAR è stata fatta con le misure CGPS acquisite nelle stazioni CGPS ubicate all'interno delle macro-aree analizzate, procedendo 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 sono utilizzate le misure della velocità verticale di deformazione del suolo dell'area SAR più a nord (area ravennate) e, in particolare, quelle della stazione di Smarlacca. I dati acquisiti nei siti di Fiumi Uniti, di Spinaroni e di Manara sono stati impiegati esclusivamente per la verifica dei risultati ottenuti dalla calibrazione.

Per la valutazione delle velocità verticali di deformazione del suolo fatta con le misure CGPS si è utilizzata tutta la serie storica disponibile di tali misure che, però, per le stazioni CGPS di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti è iniziata a una data leggermente anteriore ri-



petto a quella d'inizio misure SAR. Si è, comunque, accertato che i valori di velocità così ottenuti differiscono in modo del tutto trascurabile (< 1 mm/a) rispetto a quelli che si otterrebbero dagli stessi dati CGPS utilizzando, però, una serie storica di misure leggermente ridotta, avente cioè la stessa data d'inizio di quella dei dati SAR.

L'analisi dei dati SAR non calibrati e acquisiti in un'area circolare (raggio di circa 300 m) intorno alla stazione CGPS di Smarlacca, ha consentito di stimare una velocità media d'abbassamento del suolo di $-2,67 \pm 2,12$ mm/a. Dato che la corrispondente velocità media ottenuta dalle misure del CGPS di Smarlacca è di $-6,18 \pm 0,01$ mm/a, si ha uno scostamento fra le due misure di $-3,51 \pm 2,13$ mm/a. Ai valori di velocità media della componente verticale, determinata con il monitoraggio SAR, si è applicata, pertanto, una correzione pari a $-3,51 \pm 2,13$ mm/a. Si sono poi confrontati tali dati SAR con le misure dei CGPS di Manara, di Spinaroni e di Fiumi Uniti considerando i punti SAR disponibili in un'area circolare (raggio pari a 300 m) intorno a tali stazioni. Il confronto ha mostrato differenze mediamente inferiori a 1 mm/a tra le misure CGPS e i dati SAR calibrati, confermando la bontà del procedimento seguito. In Figura 2A sono rappresentati i dati *InSAR* ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porte Tolle a Cesenatico. Tali dati sono stati ricavati per interpolazione con un algoritmo di IDW (*Inverse Distance Weighted*) mediante *Tool ArcGis Spatial Analyst*[®].

Come già effettuato nel 2016, l'altro data set (Area di Fano-Ancona, vedi Fig.1A) è stato analizzato separatamente da quello dell'area Ravennate in quanto, come spiegato in precedenza, in ciascuna delle due macro-aree vi è una buona coerenza delle misure SAR con quelle delle stazioni CGPS ubicate al loro interno.

Con il consolidarsi della serie storica di dati SAR (14 anni circa) si è notato, inoltre, come la calibrazione in sequenza delle diverse aree – a partire da quella di Ravenna e impiegando un valore di calibrazione ottenuto come media di valori di velocità verticale nelle zone di frontiera tra le aree contigue - introduca un errore sistematico. Tale errore, che consiste in uno spostamento verticale fittizio probabilmente dovuto anche alla propagazione della varianza, non deve essere trascurato nelle calibrazioni “a catena”.

L'analisi dei dati SAR dell'area di Fano-Ancona mostra che le velocità verticali di deformazione del suolo registrate dalle stazioni CGPS di Rubicone, di Fano, di Falconara e di Italgas sono del tutto allineate con quelle misurate dal SAR: la differenza è inferiore al millimetro. Si noti che il confronto è stato fatto per una zona circolare (raggio di ca. 300 m) intorno a ogni stazione, e che le velocità verticali dei dati SAR sono una media delle misure relative ai *Permanent Scatterers* che ricadono all'interno di tale zona.

Si sono, pertanto, calibrati i dati InSAR dell'area Fano-Ancona con la misura della velocità media annua del CGPS di Fano, sommando ai primi il valore di $+0.43 \pm 0,87$ mm/a.

Si sono poi confrontate le misure calibrate dei punti SAR appartenenti a una zona circolare (raggio di ca.300 m) intorno alle stazioni CGPS di Rubicone, di Falconara e Italgas, con i corrispondenti dati CGPS acquisiti in tali stazioni. Il confronto mostra differenze che sono in media di circa mezzo millimetro a conferma della validità della calibrazione fatta.

In Figura 3A è riportata l'interpolazione dei dati mosaicati per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini a Ortona. Anche in questo caso si è impiegato l'algoritmo di IDW (*Inverse Distance Weighted*) mediante *Tool ArcGis Spatial Analyst*®.

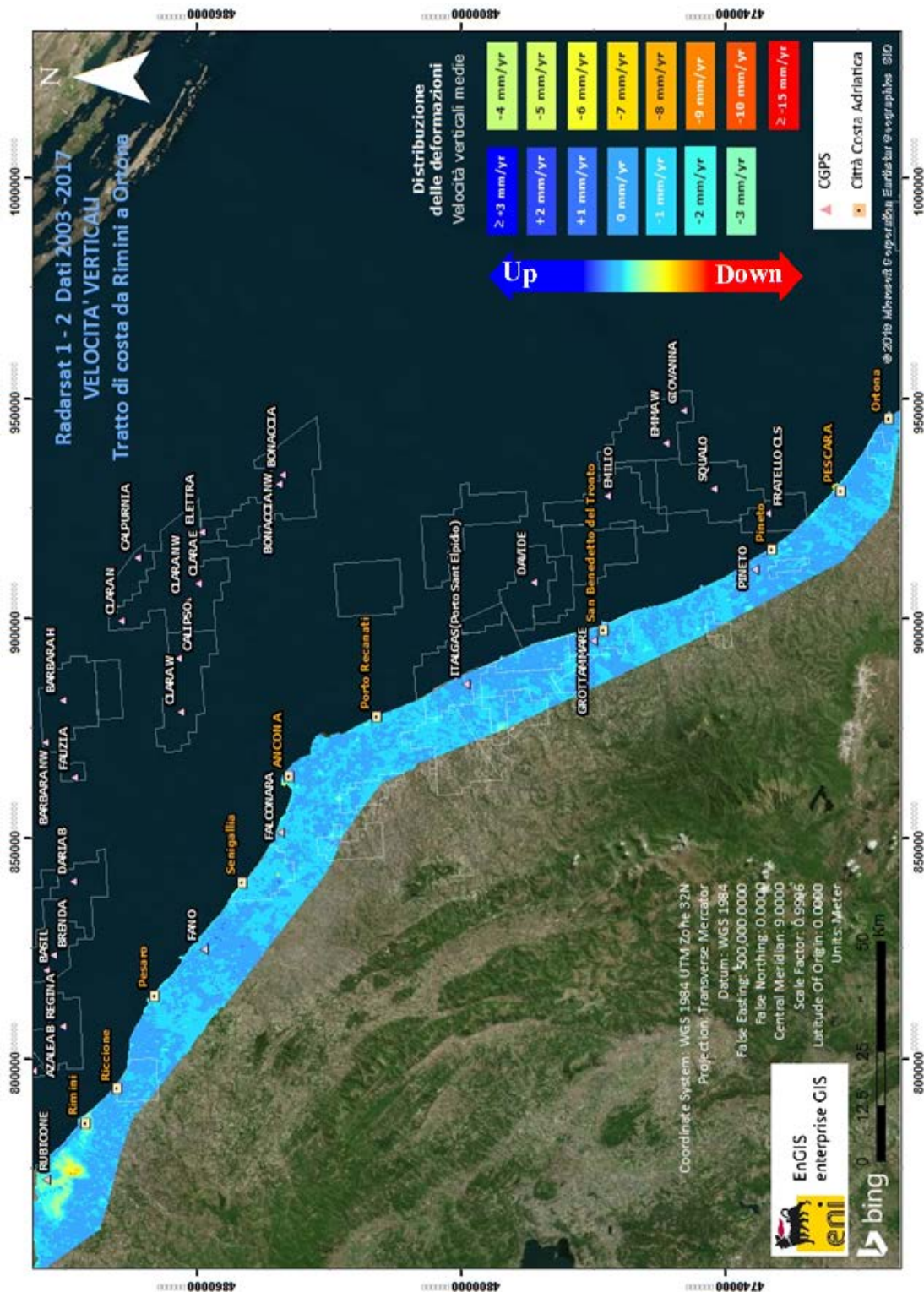


Fig.3A - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2017, con Tool ArcGIS Spatial Analyst®. Tratto di costa da Rimini a Ortona



Confronto dati SAR 2003 – 2016 vs 2003 – 2017

Un confronto diretto tra i dati SAR relativi ai periodi 2003 – 2016 e i dati 2003 – 2017 per l'intero tratto di costa da Porto Tolle a Ortona non è fattibile in quanto, come già detto, le analisi dei dati SAR 2017 sono state effettuate con un algoritmo e perimetrazioni differenti rispetto all'anno precedente. Il confronto quantitativo sarà, pertanto, possibile solo quando saranno disponibili i dati acquisiti nel 2018.

Confronto dati SAR vs. Livellazione

Si sono confrontate le velocità medie annue di subsidenza misurate con la livellazione geometrica con le corrispondenti velocità ottenute dai dati SAR calibrati e interpolati con algoritmo IDW (*Inverse Distance Weighted* con *Tool ArcGis Spatial Analyst*[®]).

Tale confronto, che è stato fatto con riferimento agli stessi capisaldi, non evidenzia differenze macroscopiche: entrambi i metodi di misura - tenuto conto della loro deviazione standard per effetto dell'errore strumentale - non presentano anomalie evidenti, come si può osservare nelle figure allegate.

In particolare, queste ultime sono così riferibili:

- alla tratta Codigoro-Cervia: Figure 4A e 5A,
- alla tratta Cervia-Pesaro: Figure 6A e 7A;
- alla tratta Pesaro-Porto San Giorgio: Figure 8A e 9A.

In quest'ultima tratta (Pesaro - Porto San Giorgio) si notano alcuni improvvisi picchi (“*spikes*”) nei valori di velocità di subsidenza delle livellazioni che non compaiono nei corrispondenti valori di velocità da misure SAR. Tali anomalie potrebbero essere state causate da instabilità dei relativi capisaldi, e saranno, quindi, oggetto di specifici controlli nelle prossime campagne di livellazione.

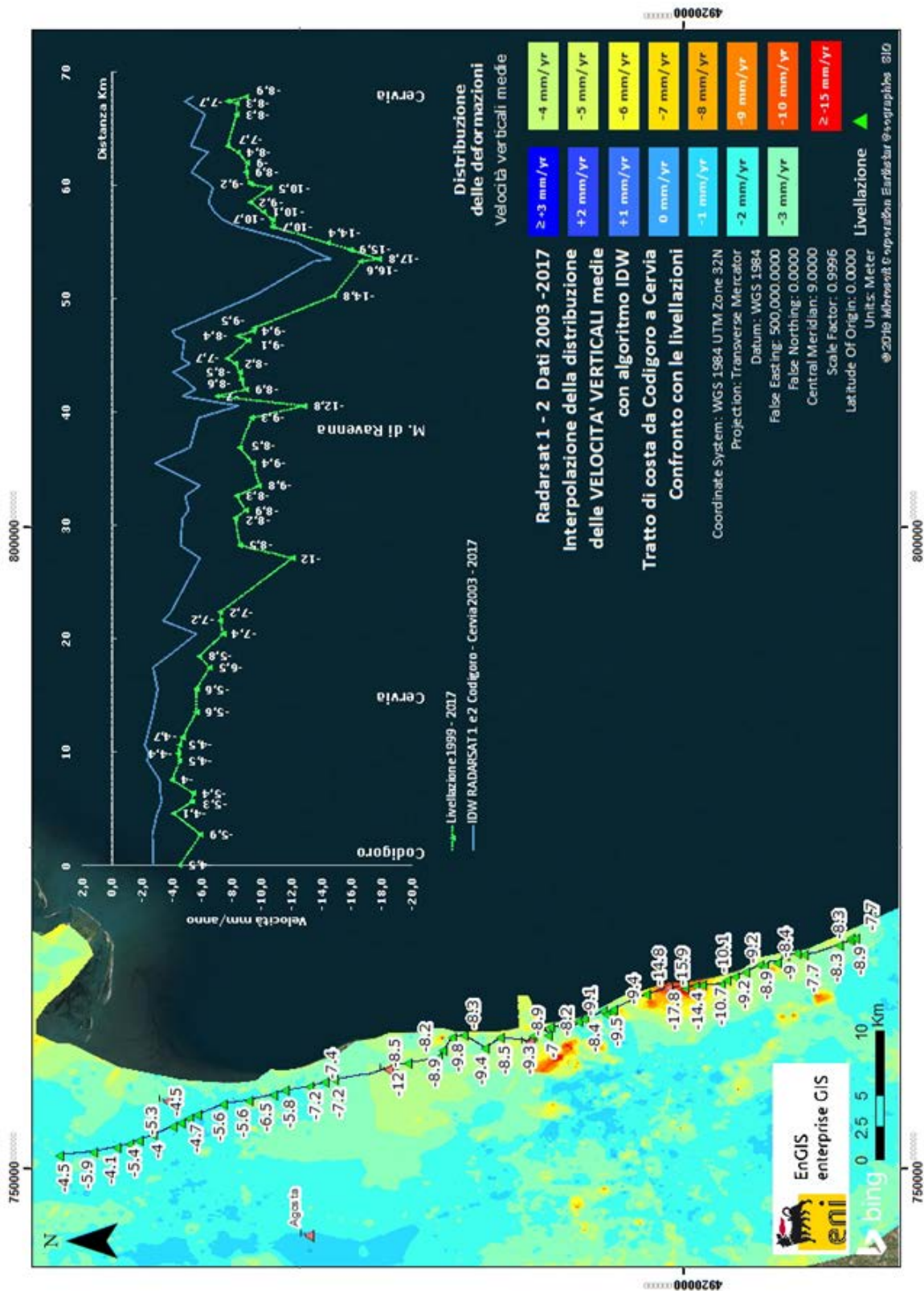
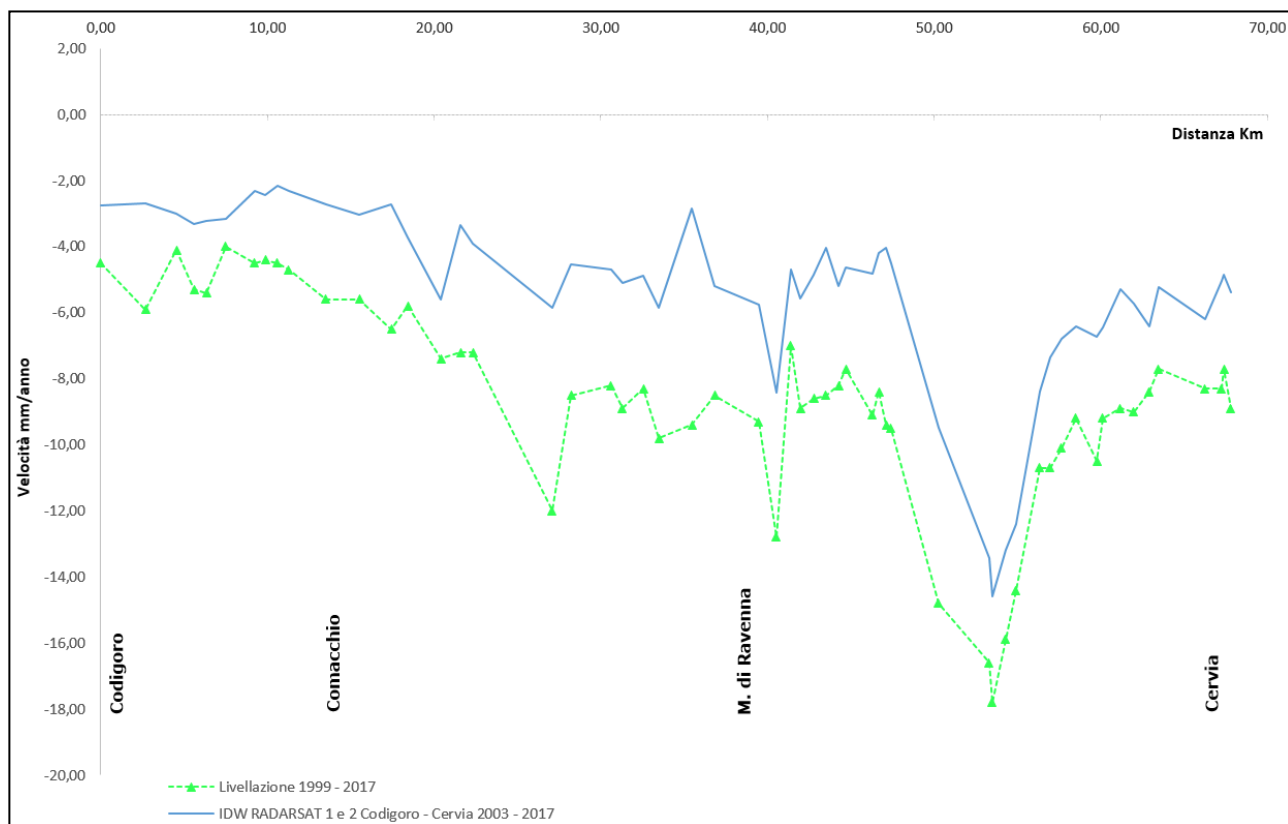


Fig. 4A – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Codigoro - Cervia



**Fig. 5A - Dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Codigoro – Cervia.
Non si notano delle anomalie, i due metodi descrivono lo stesso andamento**

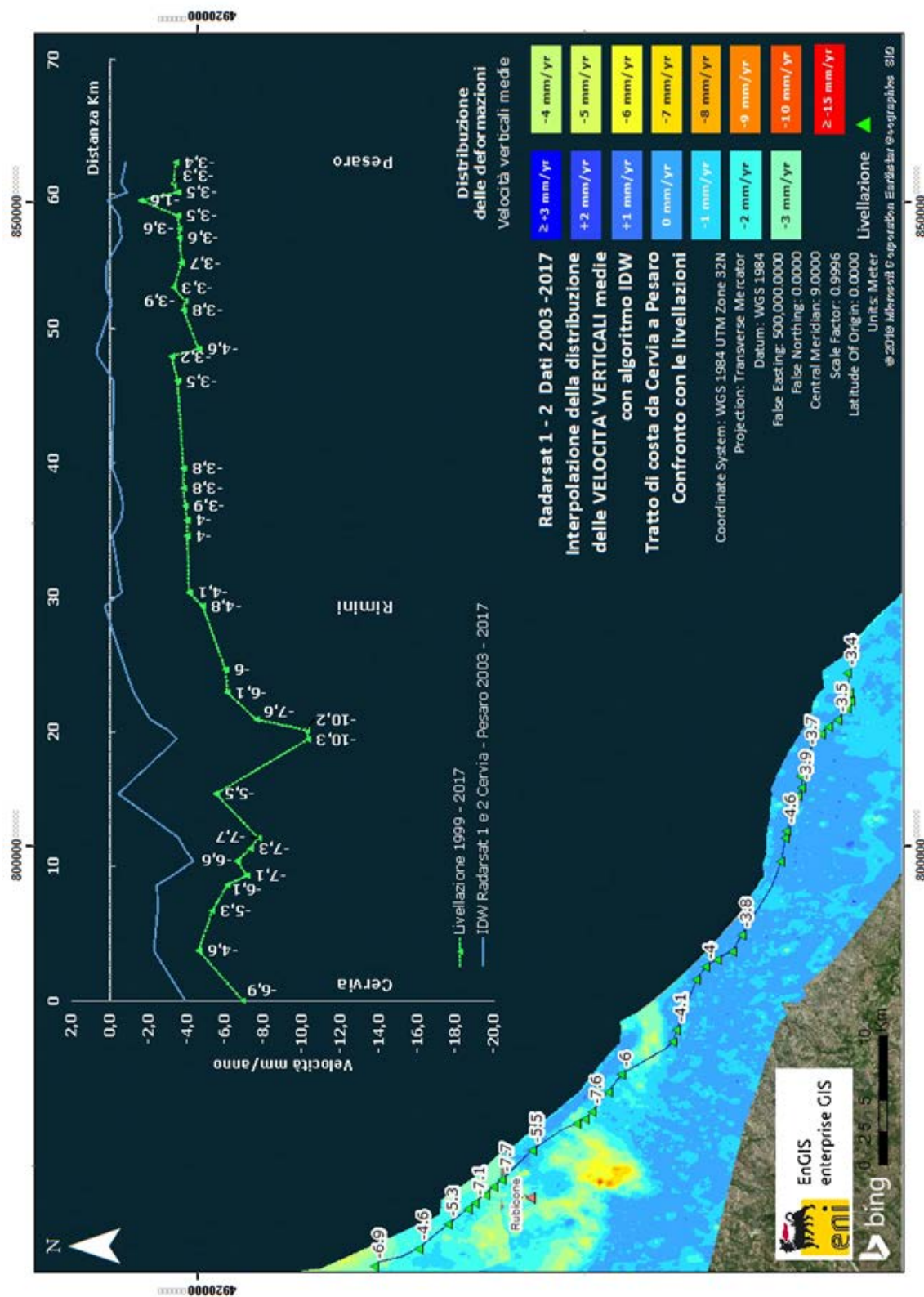


Fig. 6A Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Cervia – Pesaro

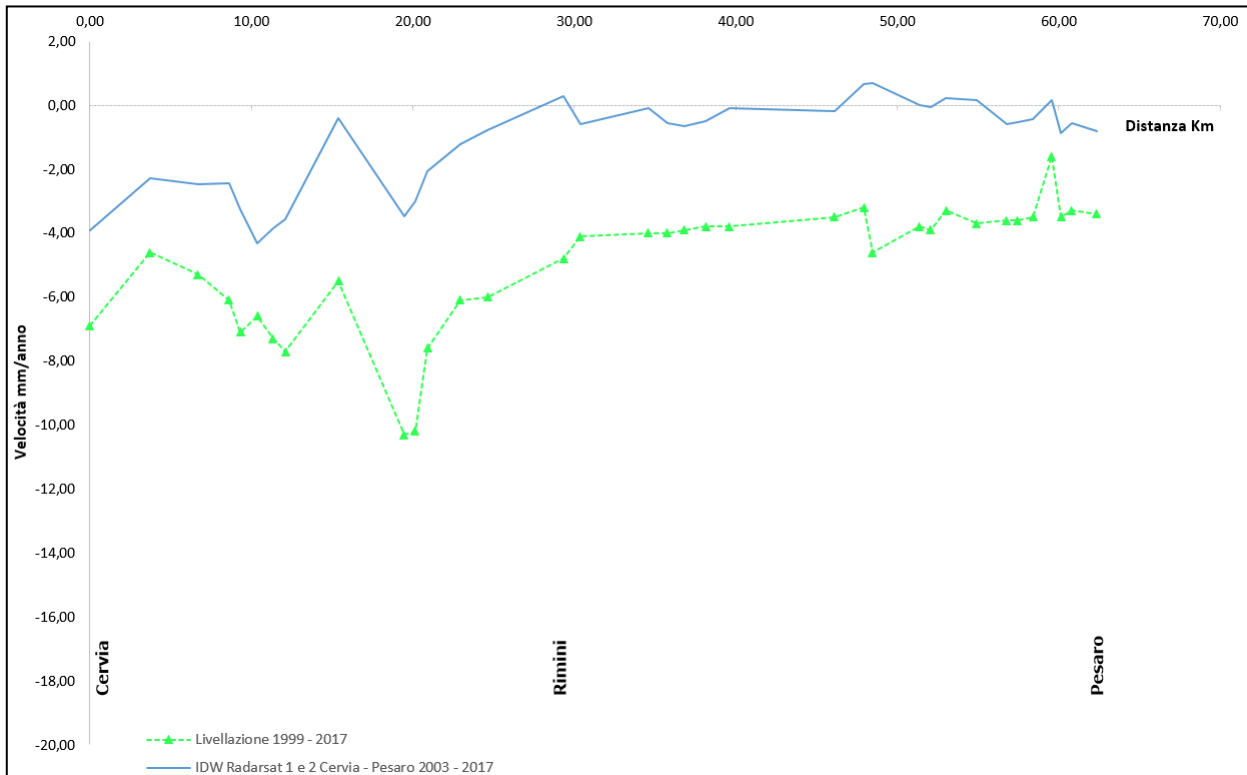


Fig. 7A – Dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Cervia – Pesaro. Non si notano delle anomalie, i due metodi descrivono lo stesso andamento

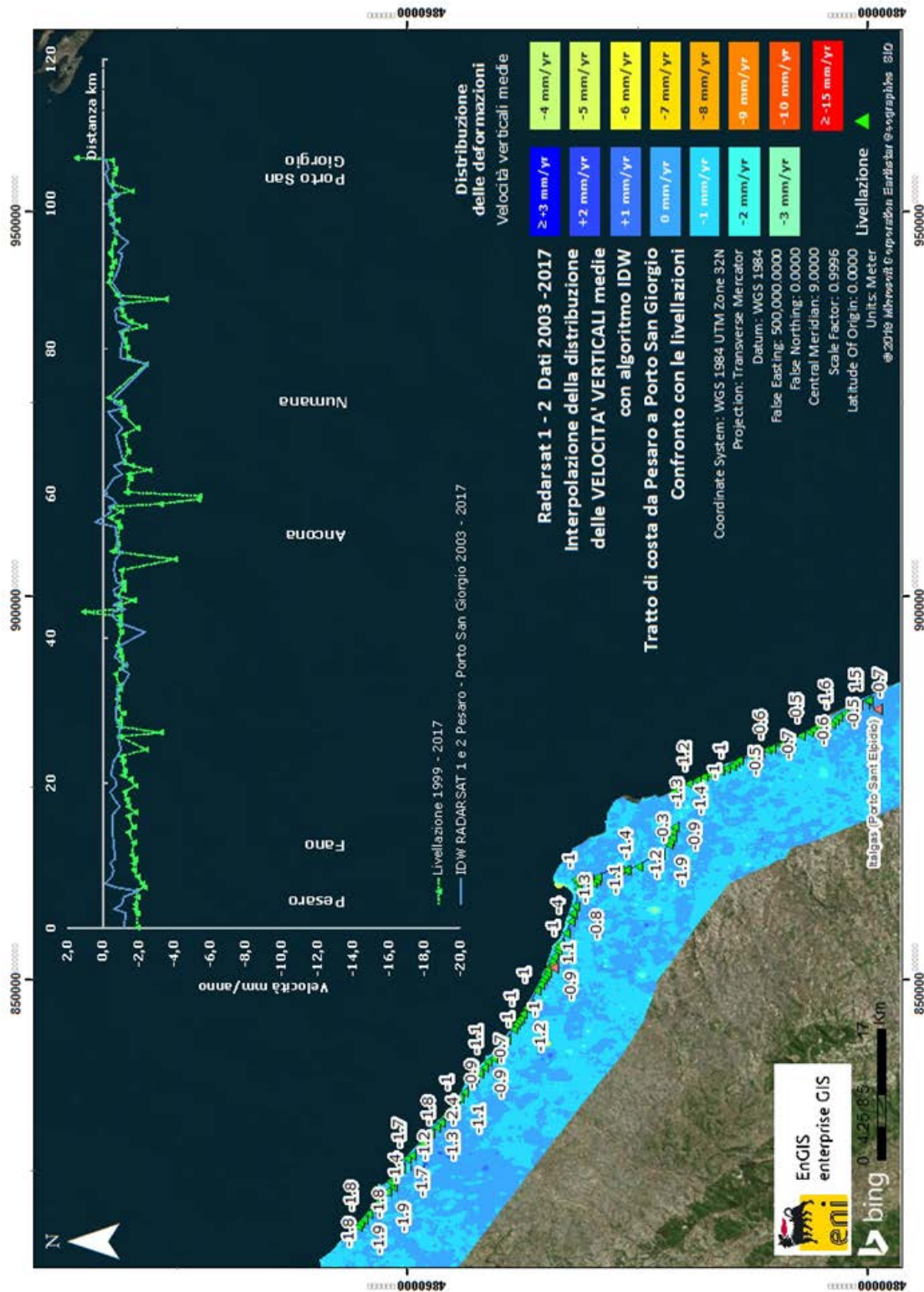


Fig. 8A - - Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Pesaro – Porto San Giorgio

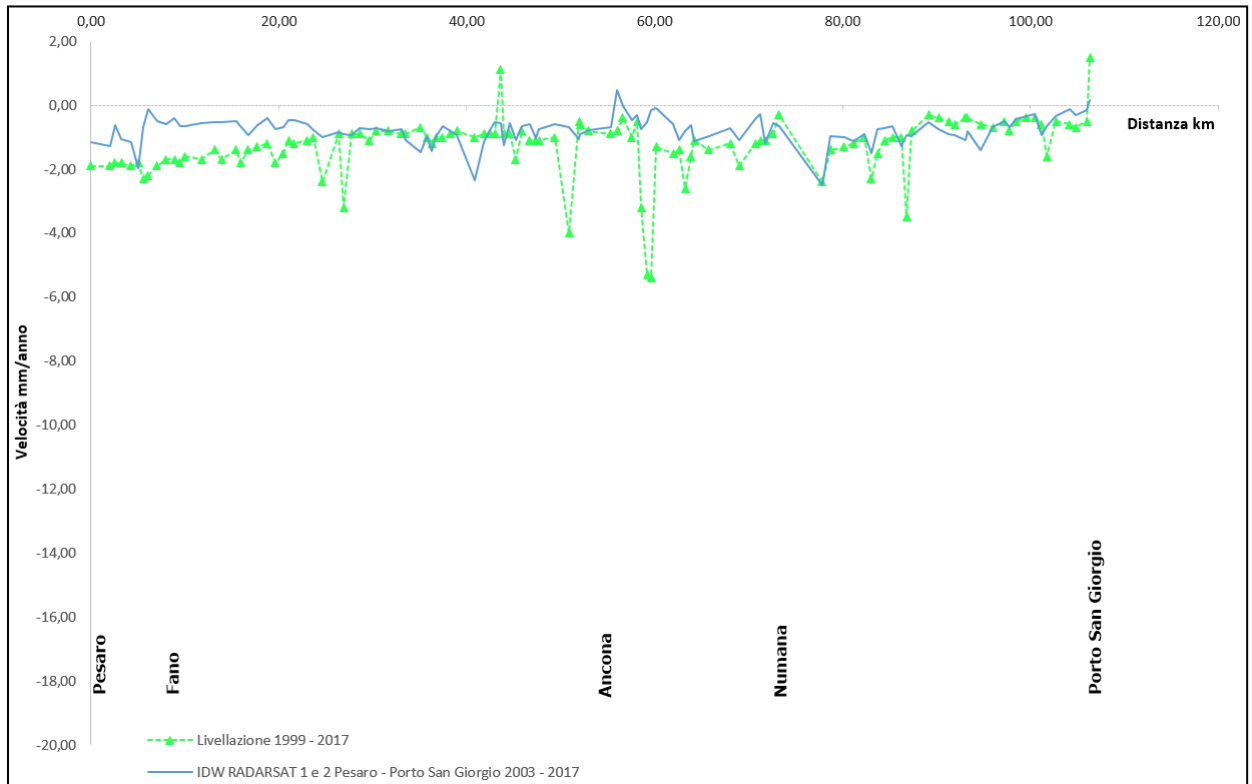


Fig. 9A - Dettaglio del grafico di confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2017 e le livellazioni del periodo 1999-2017, lungo il tratto Pesaro – Porto San Giorgio. Non si notano delle anomalie, i due metodi descrivono lo stesso andamento

Tecnica PSP-DIFSAR (Estratto dalle Linee guida MATTM 2009)³

La tecnologia PSP-DIFSAR sviluppata da Telespazio/e-GEOS (<http://www.telespazio.it> - <http://www.e-geos.it>) è una tecnica d'interferometria differenziale SAR di tipo “*Persistent Scatterer Interferometry*” (PSI) che utilizza una procedura algoritmica proprietaria per l'individuazione e l'analisi dei *Persistent Scatterers* (PS) su lunghe serie di immagini SAR (radar ad apertura sintetica), allo scopo di misurare lenti movimenti del terreno causati da frane, da subsidenza o sollevamento del suolo per estrazione o iniezione di fluidi, da fenomeni vulcanici e sismici, da scavi in sotterraneo, ecc.

I PS sono bersagli riflettenti le onde radar e costituiti in genere da “oggetti” presenti sul terreno, quali manufatti (ad es., parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici ecc.) ovvero corpi naturali (ad es., rocce esposte), che si distinguono rispetto ad altre strutture dell'area esaminata per il fatto di possedere un'elevata stabilità nel tempo della cosiddetta “firma radar”. Questi “oggetti” hanno caratteristiche riflettometriche tali da consentire misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio e, quindi, tali da poter rilevare spostamenti anche millimetrici dei PS nel tempo.

L'interferometria differenziale impiega un sensore SAR installato a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e ne riceve di ritorno il segnale retrodiffuso. Misurando il ritardo di fase tra il segnale inviato e quello retrodiffuso si può determinare con estrema precisione la distanza tra il sensore ed il bersaglio.

Se l'oggetto si trova in una zona interessata da fenomeni di deformazione superficiale, il sensore, investigando con regolarità in tempi successivi la stessa area, ne registra gli eventuali spostamenti. I dati acquisiti, dopo una complessa elaborazione per l'identificazione dei punti di misura e la rimozione dei contributi spuri (ritardi atmosferici, imprecisione nella conoscenza delle orbite, ecc.), rendono possibili valutazioni accurate anche di movimenti superficiali lenti dell'area investigata. Una delle caratteristiche particolari del metodo PSP è quella di sfruttare solo le proprietà del segnale relative a coppie di punti vicini sia per identificare, sia per analizzare i *Persistent Scatterers*. Infatti, due punti vicini sono affetti allo stesso modo da artefatti atmosferici e orbitali e, in generale, da tutti i contributi correlati spazialmente (anche i movimenti non lineari nel tempo).

³ Le informazioni riportate in questa sezione sono tratte dalla versione 1.0 del rapporto: “Linee Guida per l'Analisi di Dati Interferometrici Satellitari in Aree Soggette a Dissesti Idrogeologici”, emesso da **MATTM-Direzione Generale di Difesa del Suolo** nel Dic. 2009 (www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/).



Il metodo PSP presenta le seguenti differenze rispetto alle tecniche PSI standard:

- non richiede calibrazione dei dati o interpolazioni basate su modelli (in particolare per la rimozione degli artefatti atmosferici ed orbitali);
- è meno sensibile alla densità dei PS;
- permette una migliore identificazione di PS in terreni naturali e di PS caratterizzati da movimenti non lineari nel tempo;
- in aggiunta consente procedure di calcolo molto efficienti ed altamente parallelizzabili.

La densità dei PS individuati è solitamente molto elevata in corrispondenza dei centri urbani e di aree rocciose mentre è praticamente nulla nelle zone con molta vegetazione o perennemente innevate. L'insieme dei PS sul territorio costituisce una rete naturale di "capisaldi radar", concettualmente analoga ad una rete di stazioni CGPS (*Continuous Global Positioning System*) permanente. La loro densità su scala regionale è però ordini di grandezza superiore a quanto ottenibile con reti geodetiche convenzionali, fornendo un quadro d'insieme a costi decisamente più bassi rispetto a queste, dato che il sensore rileva punti di misura che non richiedono alcun intervento di installazione e manutenzione trovandosi già sul terreno.

Appendice B: Stazioni EPSU lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento a dicembre 2017

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 1A.

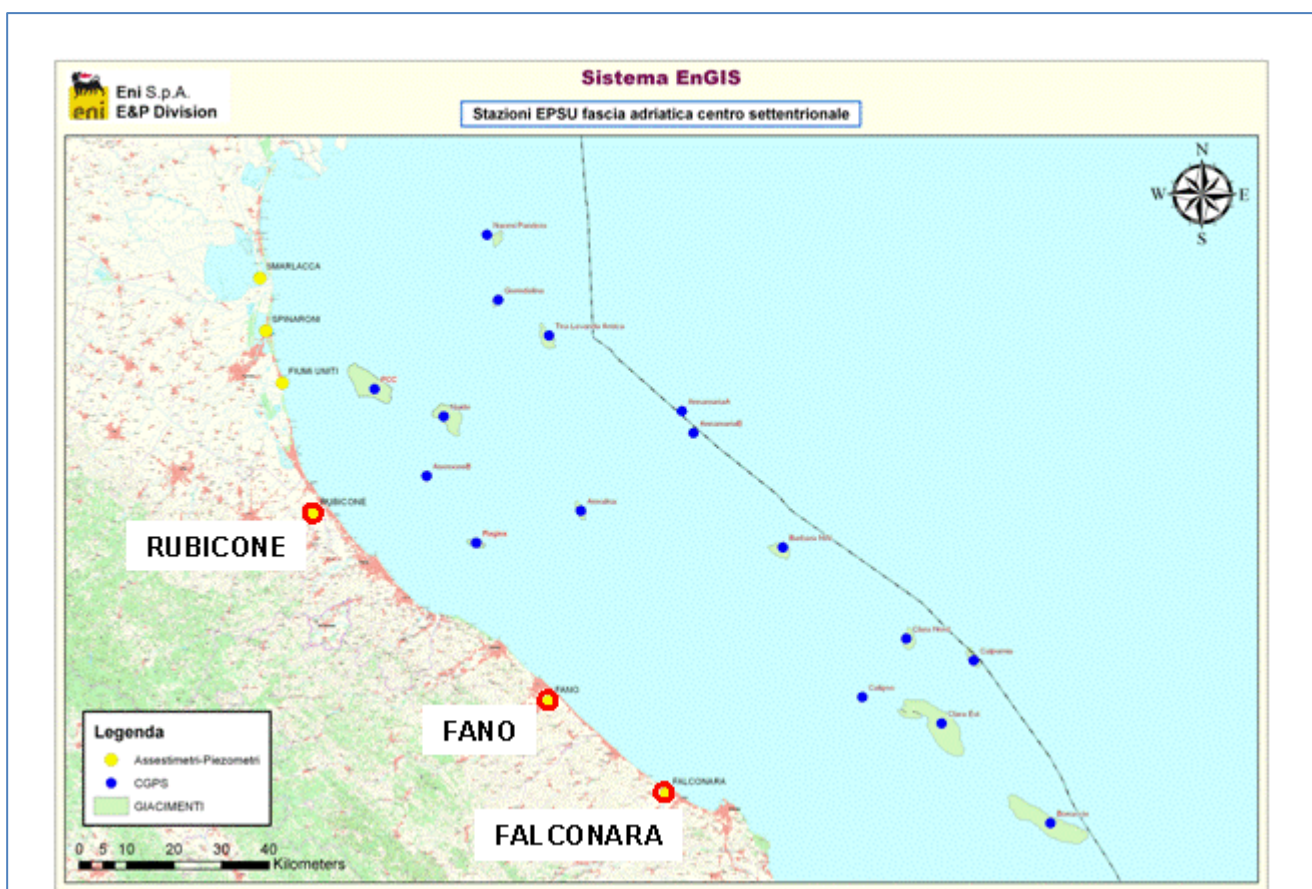


Figura 1A - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

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

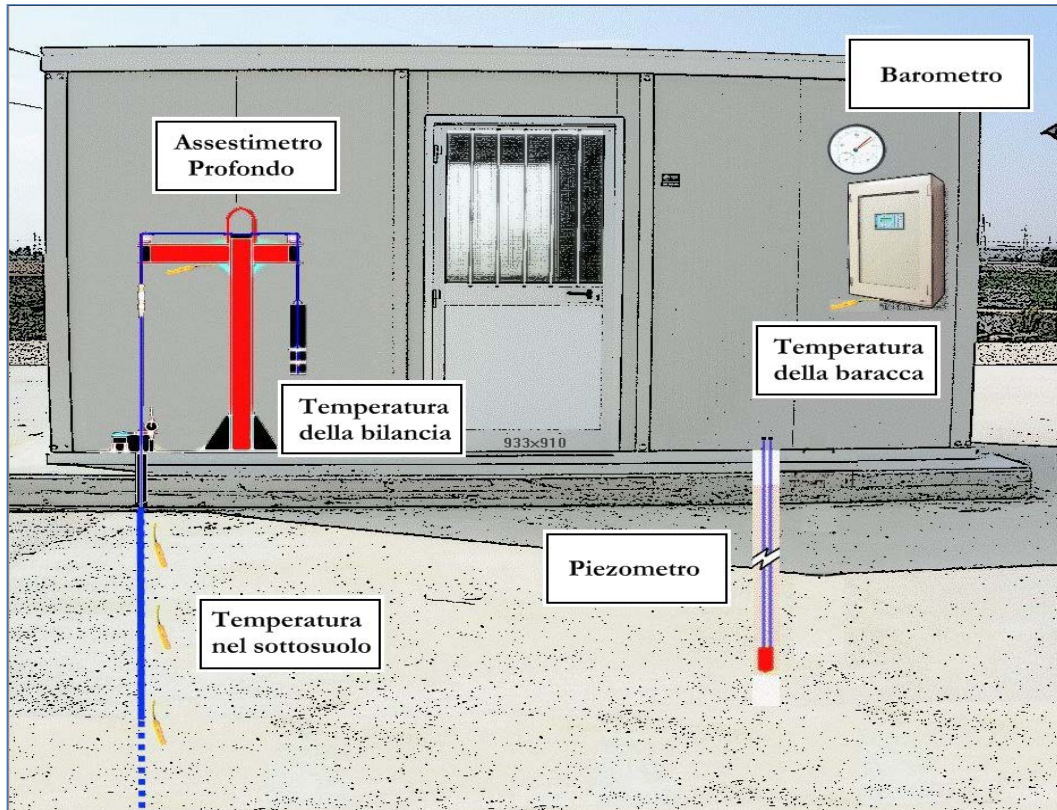


Figura 2A - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

Più in dettaglio, in ciascuna delle 3 stazioni EPSU sono stati 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 di seguito presentati:

1. le principali caratteristiche;
2. grafici con tutti i dati registrati.

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:

- assestometro - quota bottom: 320 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 strumentazione messa in opera nella stazione è illustrata schematicamente dalle Figure 3B e 4B, mentre la Figura 5B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°09' 6.76"N e 12° 24' 36.37"E.

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:

- 08 aprile 2009 - 22 maggio 2009: una misura ogni ora;
- 22 maggio 2009 - 2 novembre 2009: una misura ogni 2 ore;
- dal 02 novembre 2009: una misura ogni 6 ore.

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione. Nel 2011 c'è da segnalare un *blackout* 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 2017. Sempre a dicembre è stata effettuata una attività di manutenzione straordinaria di spurgo e lavaggio dei tre piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) – il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi sia comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi, di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri; le letture manuali effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili, presentando, per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1 cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dei dati.

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 (320 m da p.c.).

Nei grafici allegati (Figura 6B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella dell'8 aprile 2009, data di collaudo del sistema. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione, quelli negativi, viceversa, un incremento dello spessore (cioè espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestimetro si correla molto bene con le variazioni di livello dell'acqua nelle tre falde monitorate dai piezometri rispettivamente a 70 m, 146 m e 178 m di profondità. Per tutto il periodo osservato si nota, infatti, un ritardo medio di circa 1,5÷2 mesi nella espansione/compattazione 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 (Figura 7B). Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012.

La velocità media calcolata con una regressione lineare sulla serie storica di misure CGPS è di -2,1mm/a prossima a quella ottenuta in modo analogo dalle misure assestimetriche che è pari a -2,7mm/a. Ciò potrebbe indicare che la causa principale d'abbassamento del suolo dipenda principalmente dalla compattazione dei primi 320 m di terreno e sia indotta dalle oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere e/o dal loro emungimento.

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

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



Analisi dei dati piezometrici

Nei grafici dei piezometri (Figura 6B) l'ordinata è la quota piezometrica (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 e si può osservare nei grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua.

A dicembre 2017, come già detto, è stata fatta una manutenzione straordinaria con spurgo e lavaggio dei tre piezometri. Sono stati controllati anche tutti i trasduttori di pressione. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata accertata facendo diverse 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. Nella stessa occasione sono state fatte misure di fondo foro.

Tutti i piezometri e relativi trasduttori sono, quindi, risultati integri e in grado di fornire dati attendibili.

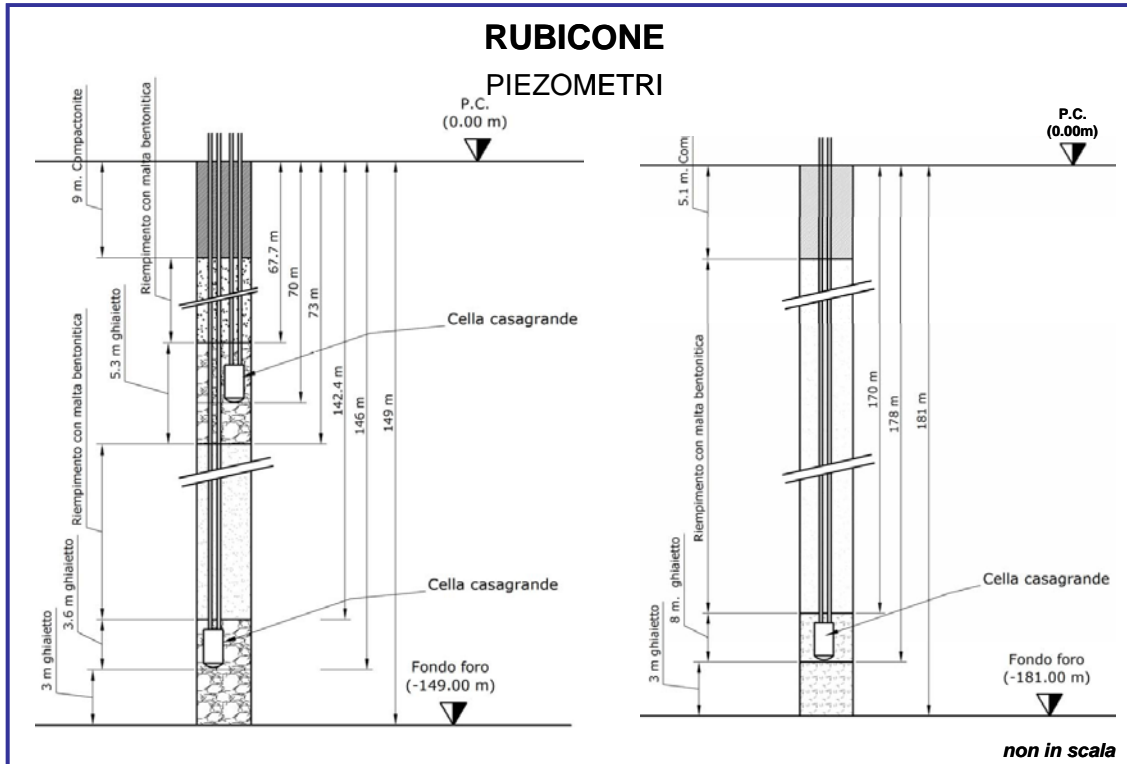


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

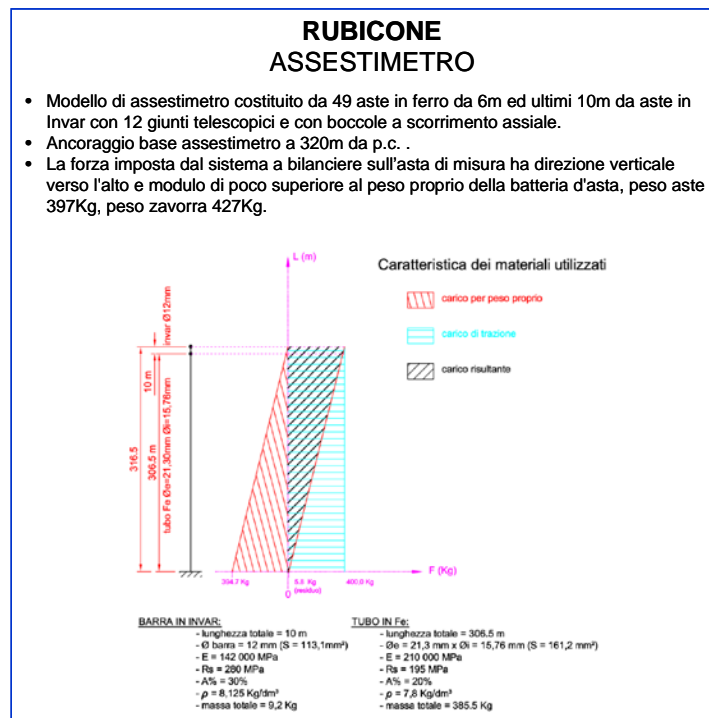


Figura 4B - Particolare di un assestimetro

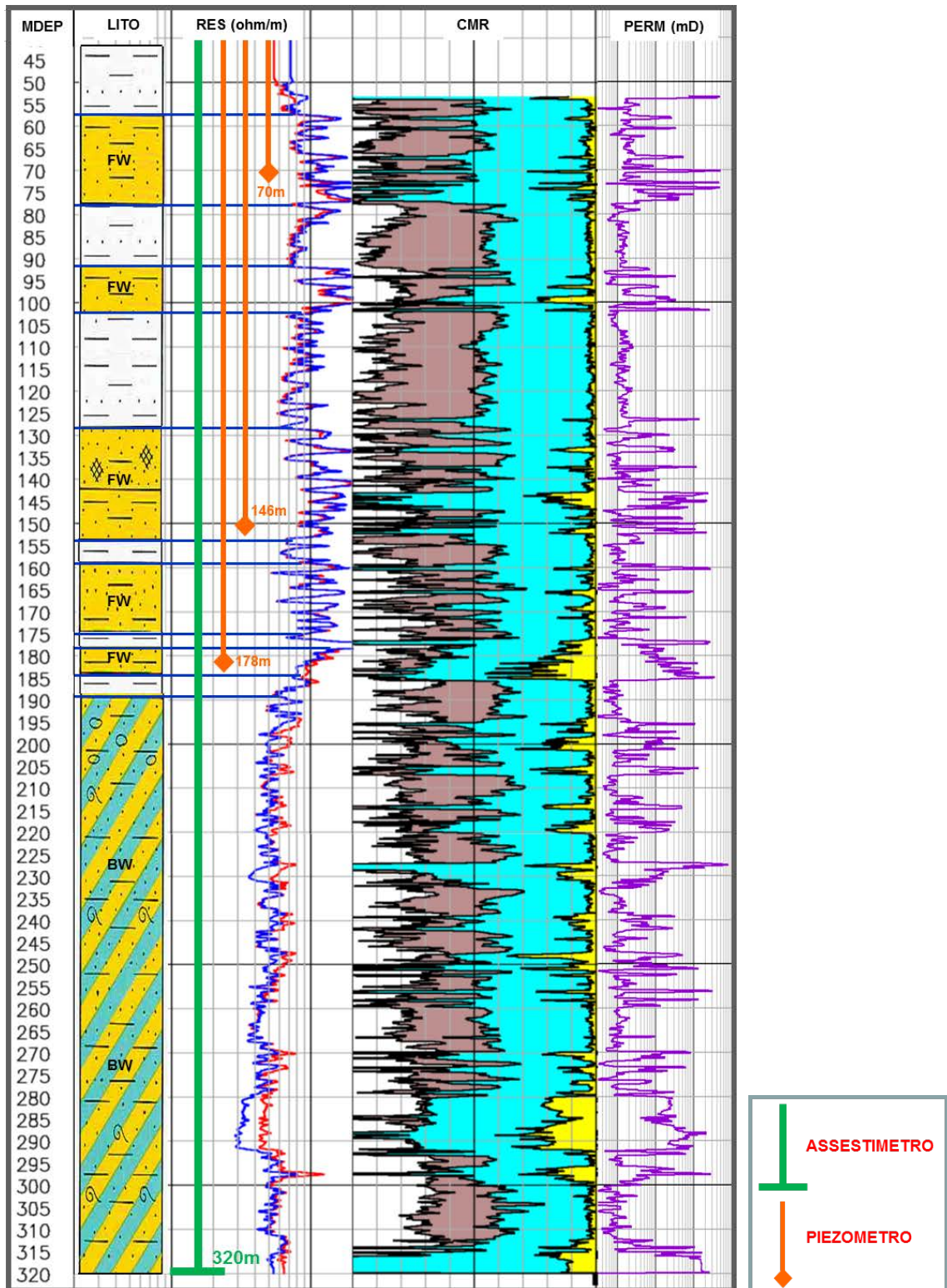


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone

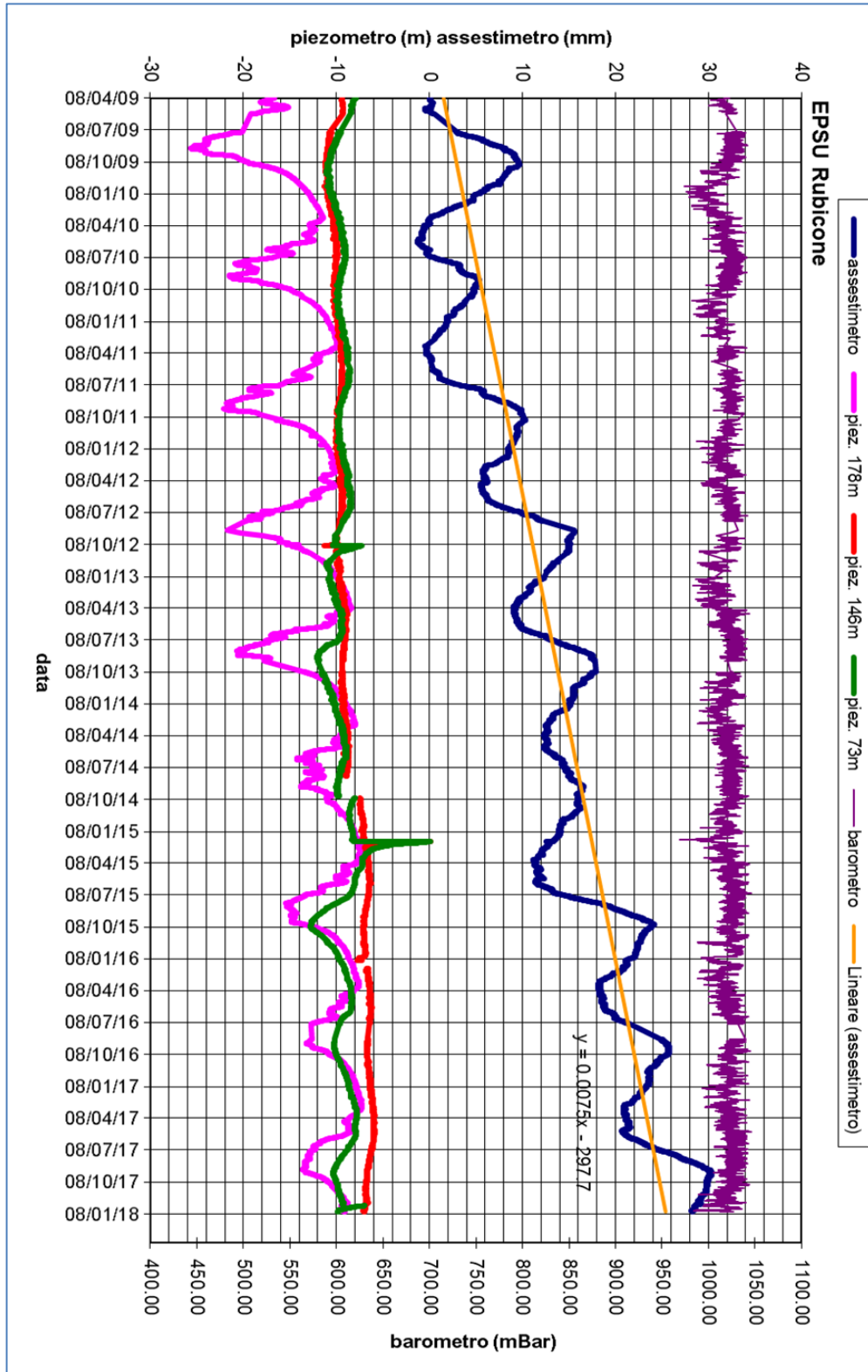


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche dal 2008 al 2018 inclusi i dati barometrici

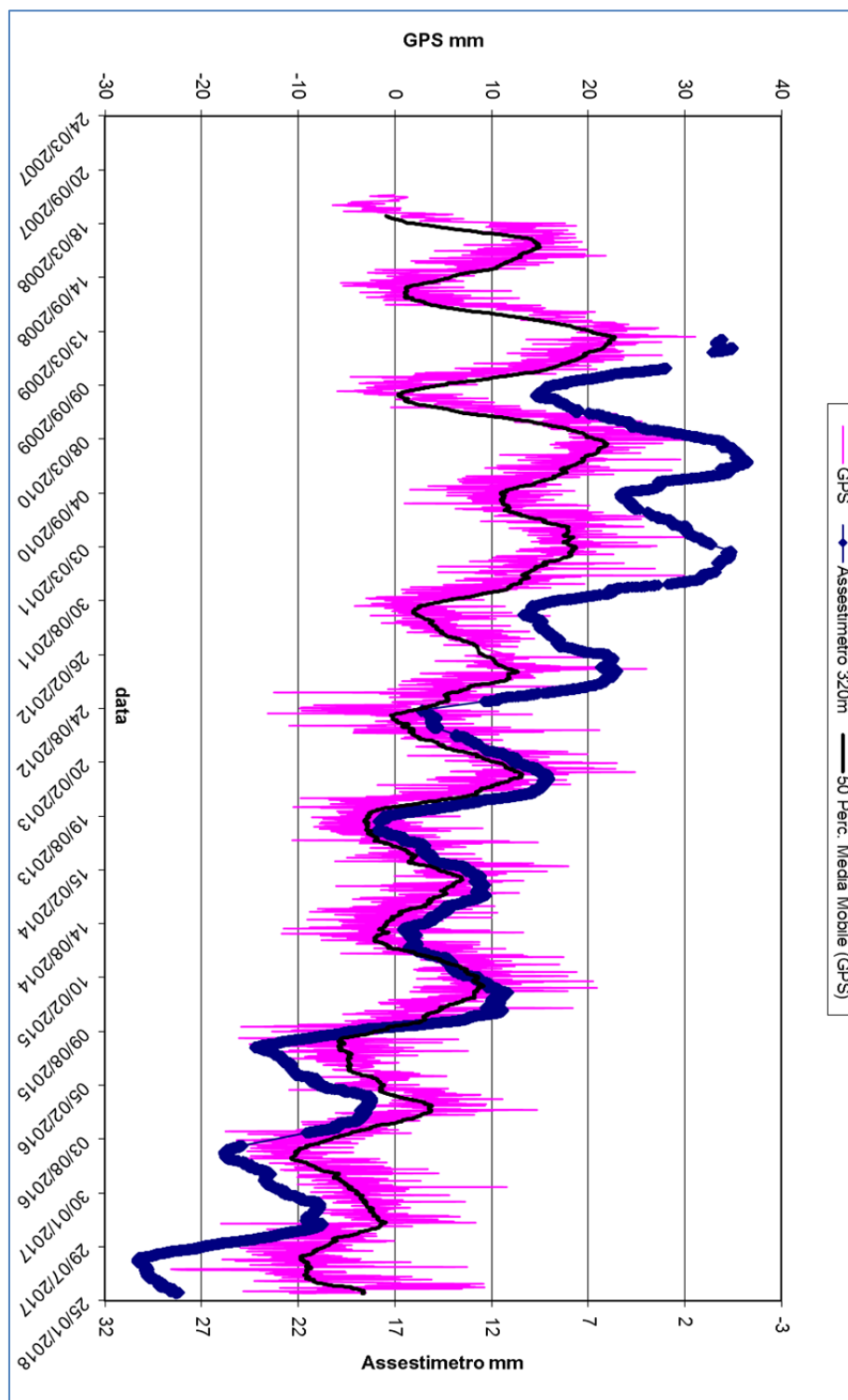


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: confronto misure CGPS vs. misure assestimentriche

N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS 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 CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

Stazione EPSU di FANO (installata ottobre 2008)

Strumentazione:

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

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 8B, mentre la Figura 9B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 43° 48' 28.37"N e 13° 02' 25.78"E.

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

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

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

Nel periodo monitorato (10/2008 – 12/2017) 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 2017.

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati (Figura 10B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici. 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. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, quelli 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.

Le escursioni cicliche stagionali, infatti, sono dell'ordine di ± 1 mm, con una punta massima di compattazione di circa 1,5mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimetrica, inoltre, si correla bene con l'andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro posto a circa 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo dell'assestimetro rispetto ai minimi piezometrici) di qualche mese. Si osservano, infatti, quasi regolarmente i massimi di compattazione all'incirca a metà gennaio di ogni anno, mentre invece i minimi livelli della falda acquifera si verificano, quasi sempre, circa quattro mesi prima, ovvero intorno a metà settembre.

Nel corso del 2017 si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm a inizio anno (metà gennaio) è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva (metà luglio), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (compattazione) nel periodo autunno-invernale.

Per tutto il 2017 l'assestimetro registra, quindi, una compattazione complessiva di ca. 1 mm. Se si prendono in esame tutti le misure assestimetriche registrate nei nove anni di osservazioni in questa stazione, queste ultime mostrano, analogamente a quelle di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva pressoché nulla, a parte le variazioni cicliche stagionali.

Un comportamento del terreno pressoché identico è mostrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione *EPSU*. Le misure CGPS danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento con velocità media di ca. 0,6 mm/a. Calcolando la velocità media di compattazione sulla serie assestimetrica con una regressione lineare si ottiene un valore nullo (0,003 mm/a). L'esame comparato delle due serie di misure (assestimetriche e geodetiche CGPS - Figura 11B) 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 CGPS - mostrano una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta, però, sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa tre/quattro 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 assestometrico. La curva dei dati CGPS sembra invece più in fase con le variazioni del livello d'acqua nella falda.

La curva dei dati CGPS 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 (Figura 11B):

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

Analisi dei dati piezometrici

Nello stesso grafico (Figura 10A) 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.

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

L'ultimo controllo generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato fatto nel dicembre 2017.

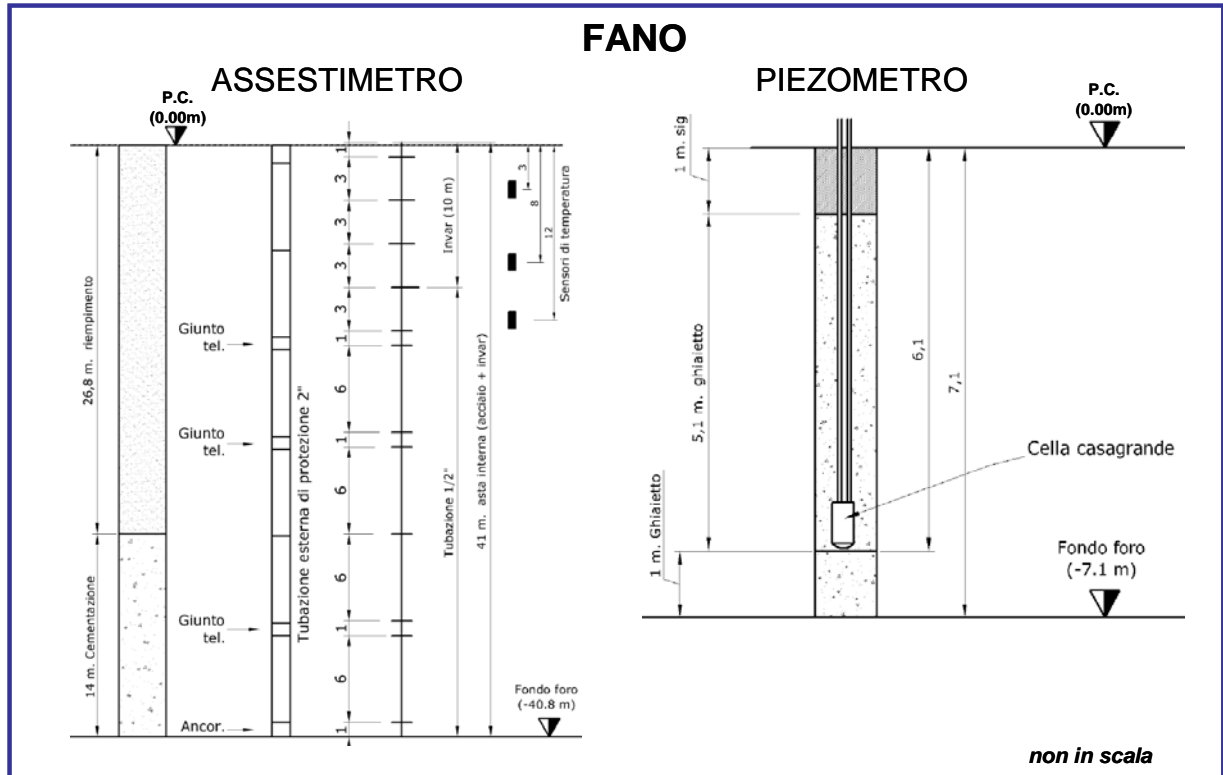


Figura 8B - Schema della stazione EPSU di Fano

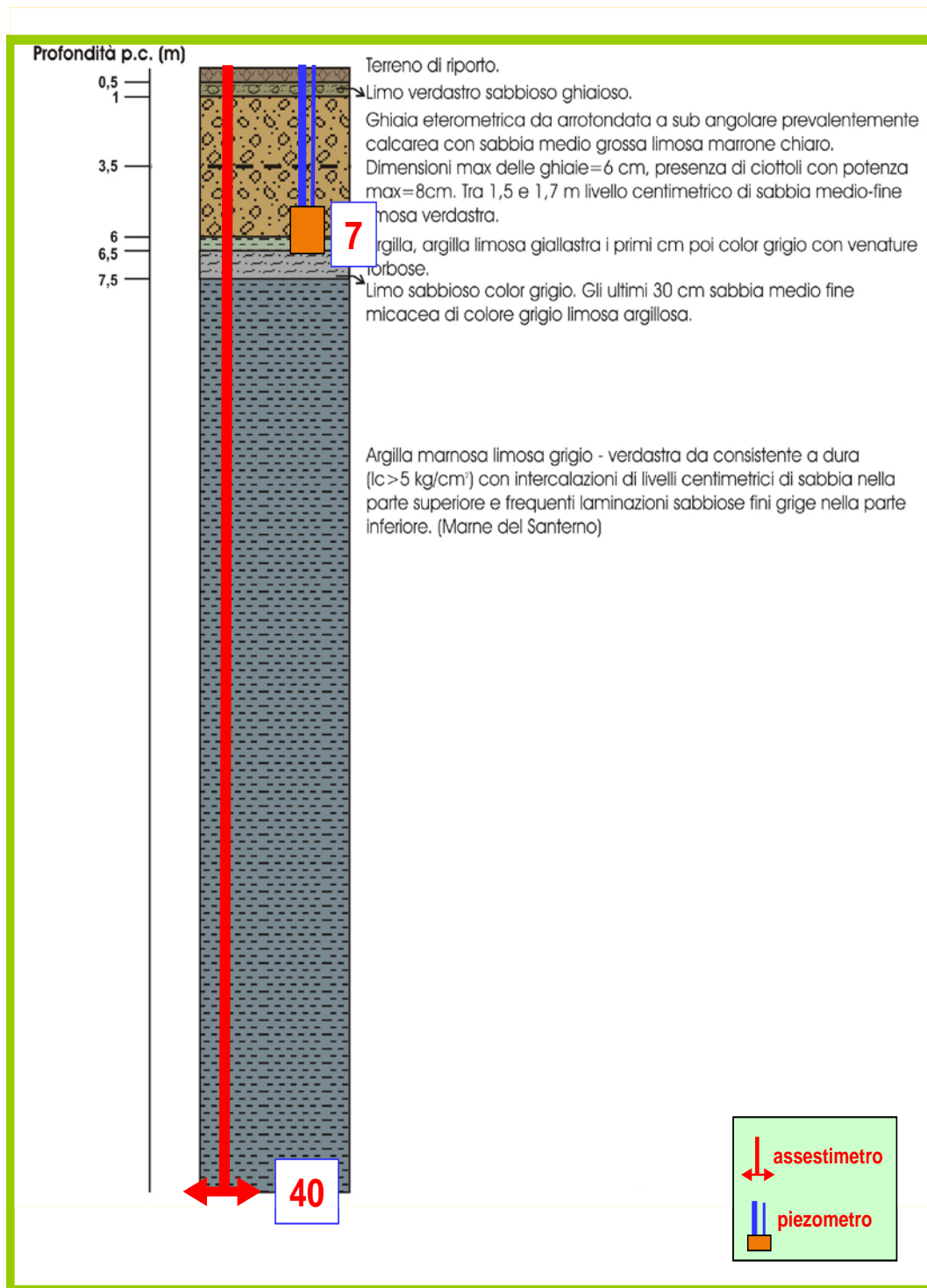


Figura 9B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione *EPSU* di Fano

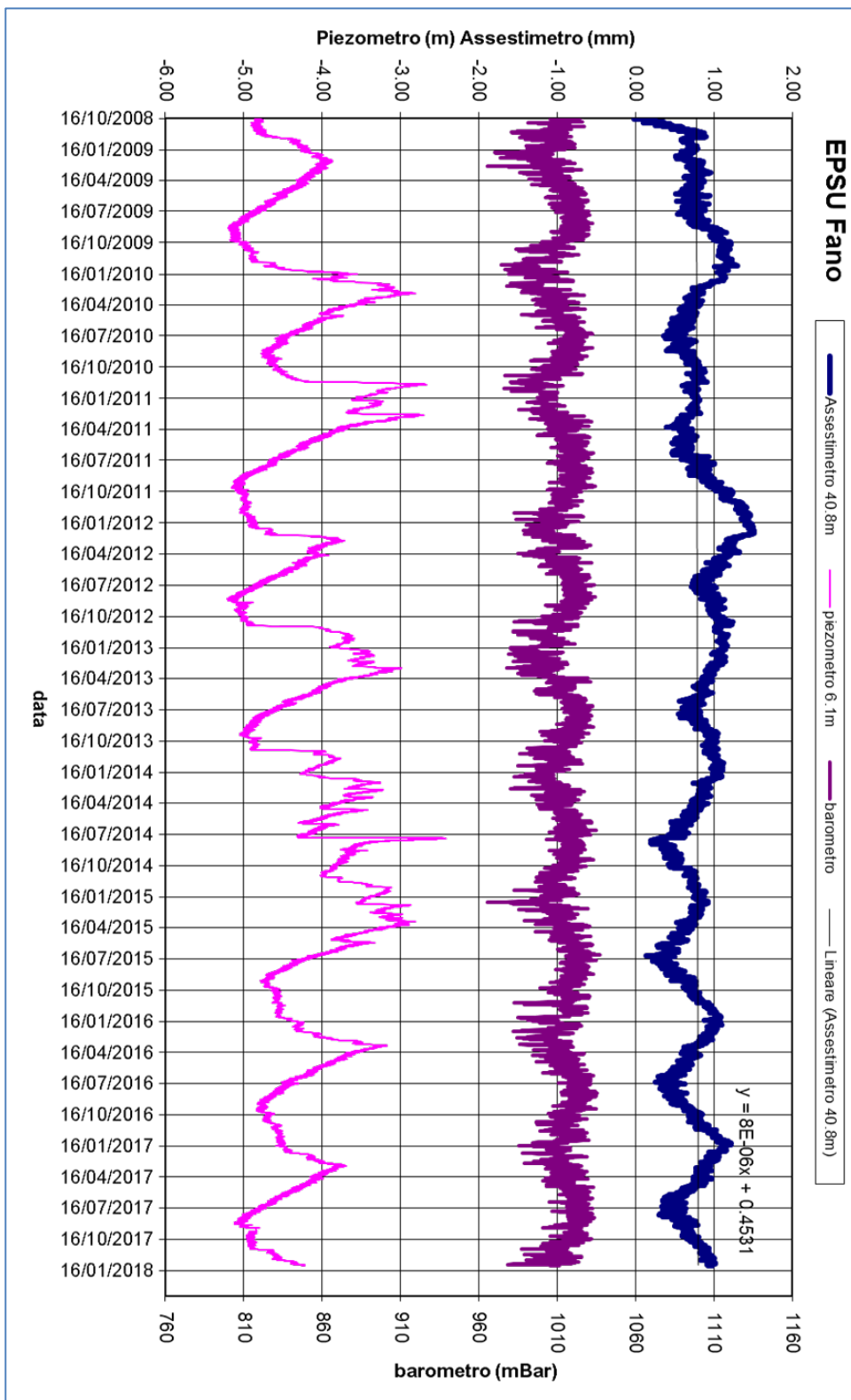


Figura 10B - Stazione *EPSU* di Fano: misure piezometrico-assestimetriche e dati barometrici dal 2008 al 2018

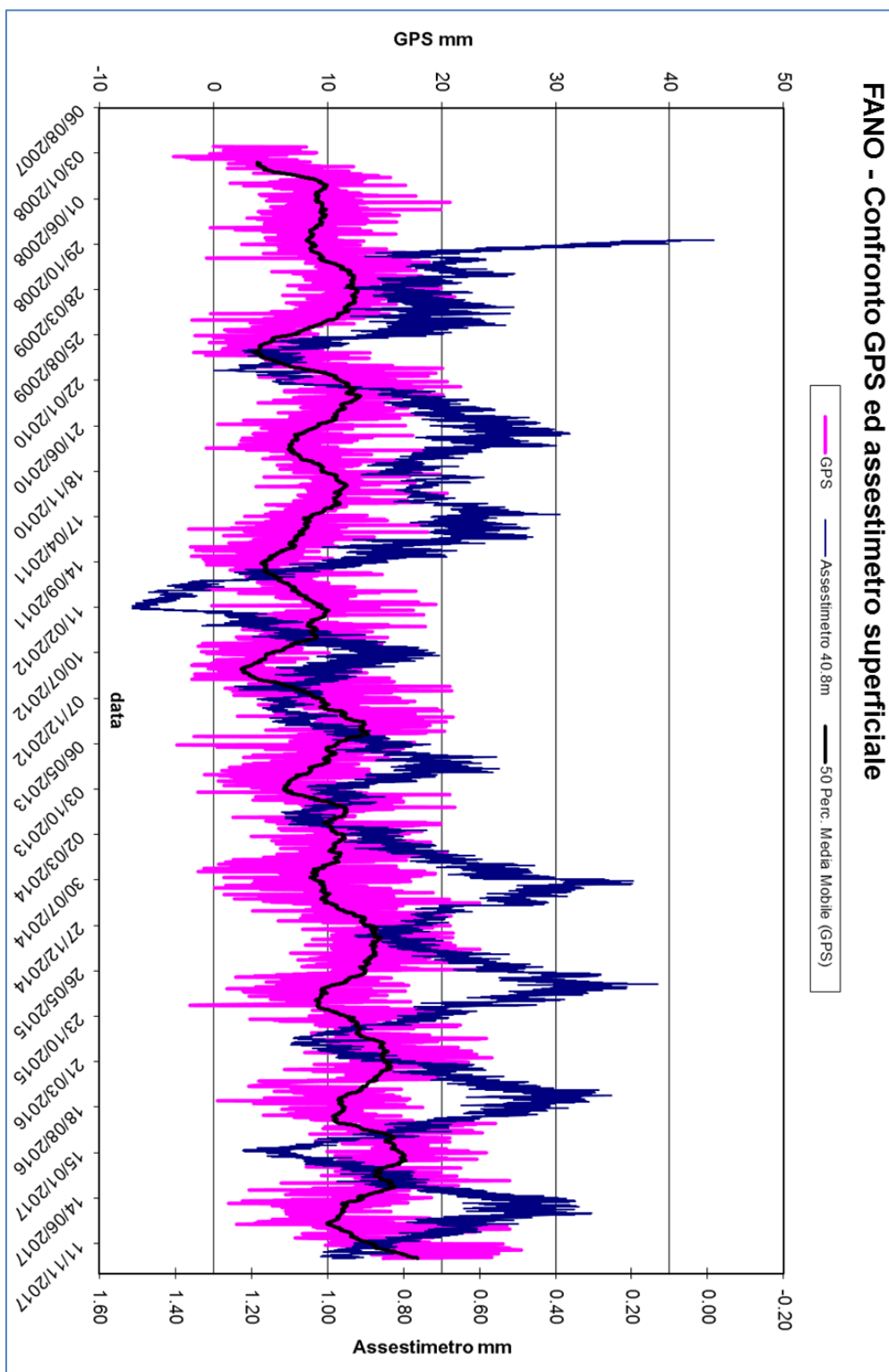


Figura 11B - Stazione EPSU di Fano: confronto fra misure CGPS vs. misure assestimetriche

N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS 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 CGPS (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: 21 m da p.c.

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 12B, mentre la Figura 13B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 43° 38' 28.86"N e 13° 21' 23.69"E.

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;
- 08 maggio 2009 - 31 dicembre 2014: una misura ogni 6 ore.

Nei periodi 07 ottobre 2011- 02 novembre 2011 e 03 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 2017.

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici (Figura 14B). 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, quelli 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 assestometriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua monitorate a 22 metri di profondità, dal piezometro.

L'assestometro, che reagisce quasi immediatamente, senza ritardi, all'escursione massima e minima annuale di tale falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno assolutamente stabile nel tempo, cioè senza apprezzabile compattazione.. La velocità media annua calcolata con regressione lineare delle misure assestometriche risulta, infatti, pari a circa -0,1 mm/a (ovvero minima espansione dello spessore di terreno monitorato).

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. La correlazione tra le due curve, assestometrica e geodetica (Figura 15A), è estremamente elevata, il loro sfasamento temporale è pressoché nullo e le "pulsazioni" (espansioni e compattazioni) del terreno (tutte di piccolissima entità) sono correlate alle variazioni di livello della falda acquifera. La velocità media annua calcolata con regressione lineare dei dati CGPS risulta pari a +0,2 mm/a (ovvero leggerissimo sollevamento della superficie del suolo).

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico (Figura 15B):

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

Analisi dei dati piezometrici

Il grafico di Figura 14B oltre ai dati assestometrici riporta in ordinate sia la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, sia il valore della pressione barometrica.

Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1,3m 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 2017 è stata fatta l'ultima manutenzione ordinaria della stazione e sono stati controllati anche i piezometri. In tale occasione si è misurato manualmente con un frea-

timetro 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.

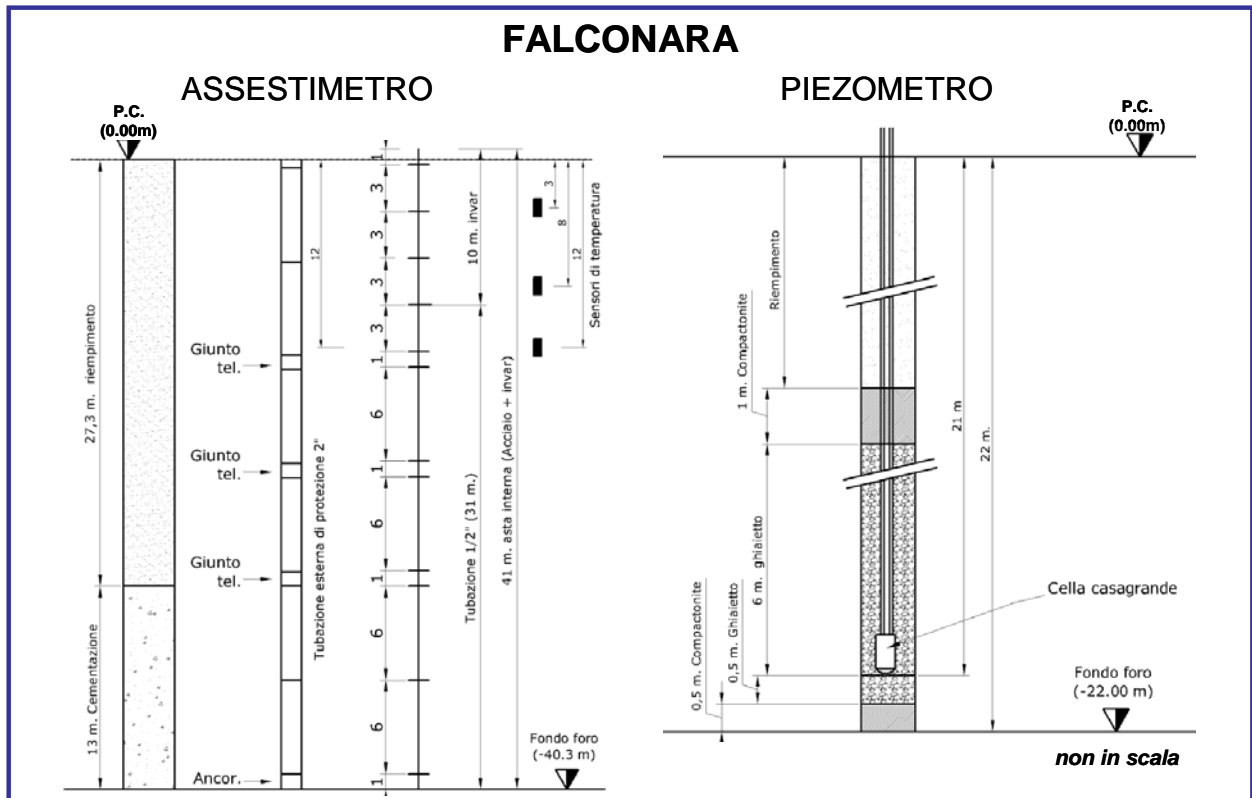


Figura 12B - Schema della stazione EPSU di Falconara

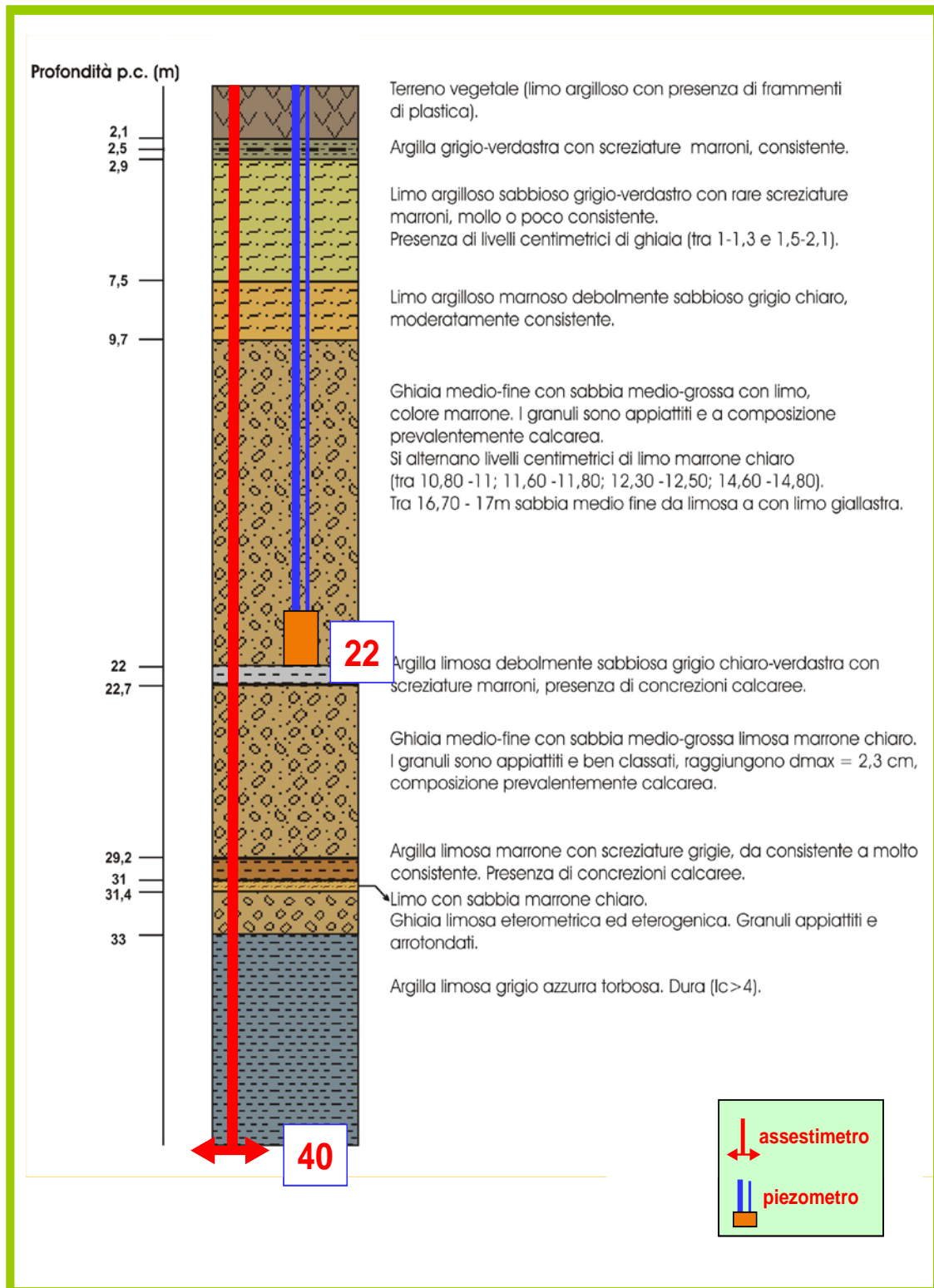


Figura 13B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

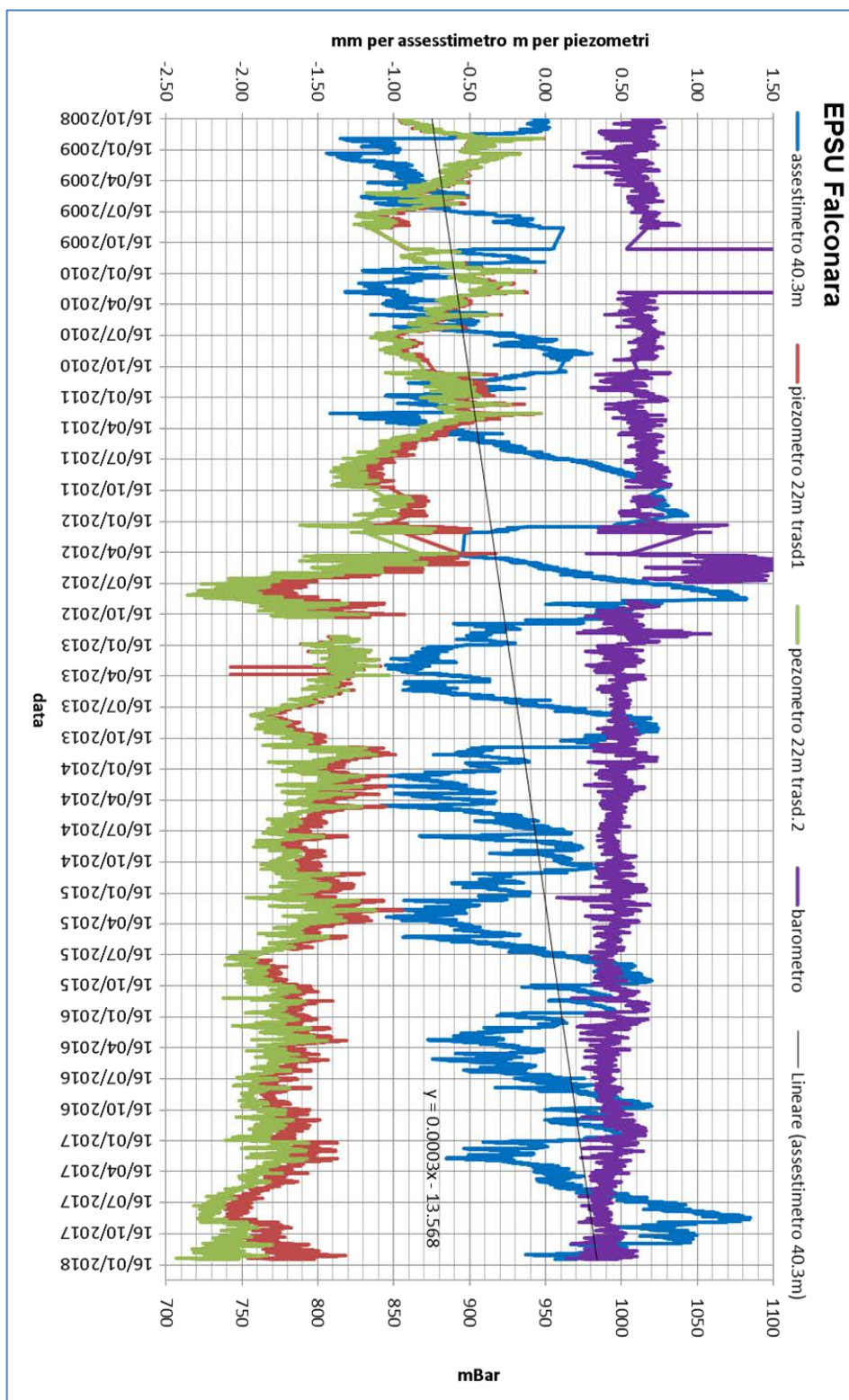


Figura 14B - Stazione *EPSU* di Falconara: misure piezometrico-assestimetrie e dati barometrici dal 2008 al 2018

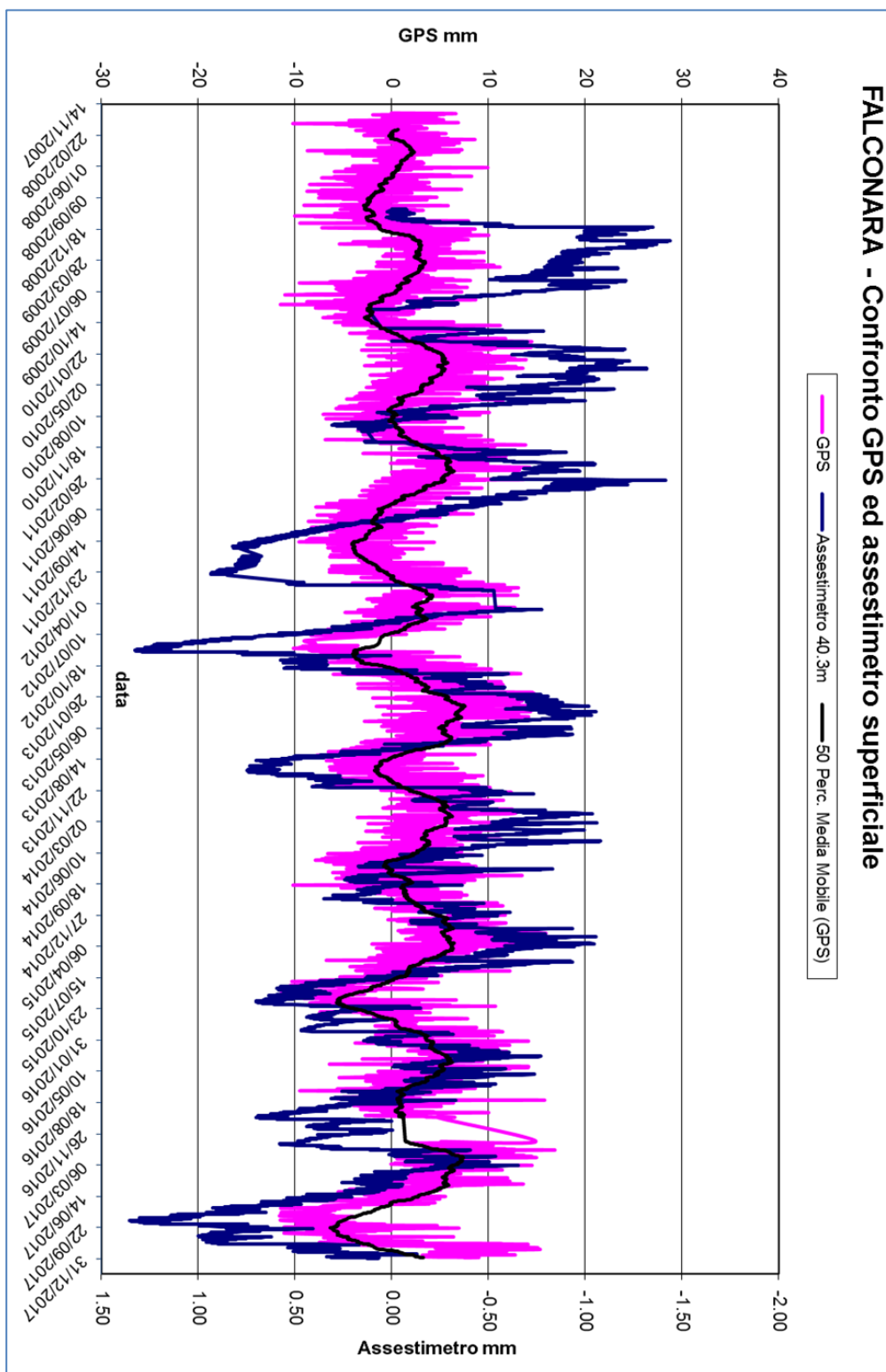


Figura 15B Stazione EPSU di Falconara: confronto misure CGPS vs. misure assestimetriche

N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS 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 CGPS (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 ed i cicli di compattazione ed espansione del terreno misurati 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.

Anche nel caso di Rubicone c'è un'ottima correlazione tra i cicli stagionali di compattazione/espansione del terreno monitorati dall'assestimetro e le corrispondenti variazioni di livello delle tre falde registrate dai piezometri. Le compattazioni massime, infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno quando i livelli piezometrici delle falde sono minimi; le espansioni massime si verificano, invece, mediamente verso aprile/maggio di ogni anno e a loro volta sono in buona correlazione con i livelli piezometrici massimi delle stesse falde.

L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo di quelli installati nelle 3 *EPSU*, è anche quello che registra nel tempo un aumento progressivo della compattazione del terreno monitorato (spessore 320 m). Lo strumento a dicembre 2017, dopo circa 8,73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 28,2 mm, che con un semplice calcolo equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 3,2 mm/a. Tale valore si riduce leggermente a circa 2,7 mm/a se si elaborano i dati delle misure assestimetriche in modo un po' più sofisticato, ad es. con metodi di regressione lineare.

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 9 e più anni di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla.

La tabella che segue riporta per ciascuna stazione la compattazione complessiva del terreno al 31/12/2017 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2017 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica assestimetrica. Questo procedimento potrebbe, pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici.

Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di compattazione del terreno. In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)
Rubicone	8,73	28,22	3,2	n.i.	n.i.
Fano	9,21	n.i.	n.i.	0,9	n.v.
Falconara	9,21	n.i.	n.i.	0,1	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile