

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 1 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|

Campo di FAUZIA

Aggiornamento al 31/12/2019

Il campo di Fauzia è situato nella concessione A.C36.AG (Eni 60%-Edison 40%) nella zona “B” dell’off-shore Adriatico a circa 40 Km a Est di Pesaro (Figura 1). In quest’area la profondità media del fondale è di circa 70 m.

| CONCESSIONE | SCADENZA | OPERATORE | TITOLARI | QUOTA | REGIONE |
|-------------|------------|-----------|---------------|------------|---------|
| A.C36.AG | 21/02/2026 | Eni | Eni Edison | 60% 40% | Marche |

Il campo è stato scoperto nel 2001 con la perforazione del pozzo esplorativo Fauzia 1 che ha raggiunto la profondità di 2325 m nella formazione “Argille del Santerno” (Pliocene -Figura 2). La struttura di Fauzia è costituita da un’anticlinale molto blanda con asse NNW-SSE, posta sopra un preesistente alto pre-pliocenico; tale struttura non presenta compartimentazioni e la sua chiusura è per pendenza su quattro vie. L’interpretazione sismica dell’area è stata fatta sulla base dei dati del rilievo sismico 3D Adria, acquisito nel periodo 1991-1992. In base al responso log (CPI+MRIL) e alle prove di produzione, nella serie attraversata sono stati individuati 35 livelli mineralizzati a gas delle formazioni plio-pleistoceniche Carola e Porto Garibaldi: dal livello PLQ-I al PL3-B8 (da 1870 a 2190 m di profondità). La roccia serbatoio è costituita da banchi di sabbia grigio-biancastra, a grana fine, raramente media, con intercalazioni di argilla grigia che si sono depositi durante Pleistocene inferiore - Pliocene medio-superiore. Il giacimento è stato sviluppato nel periodo aprile 2014 - agosto 2014, perforando dalla piattaforma Fauzia due pozzi (Fauzia 2 e Fauzia 3 dir) completati in doppio, per un totale di 4 string, con tecnologia “*sand control*” del tipo (ICGP GIF e HRWP). La produzione del campo è stata avviata nell’ottobre 2014 ed è spedita per il trattamento alla centrale di Falconara utilizzando il sealine Bar B - Bar A - Falconara. Gli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse* 3D dell’agosto 2010) hanno rivalutato le riserve di gas rispetto a quanto inizialmente stimato e riportato nella relazione tecnica allegata all’istanza di concessione del Gennaio 2006. Si è passati, infatti, da un volume di 644 MSm³ di gas (producibili in 15 anni) a 975 MSm³ di gas (producibili in 14

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 2 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|

anni). L'incremento è stato dovuto soprattutto alle performance produttive dei pozzi, risultate inizialmente migliori delle attese, e all'ottimizzazione della loro ubicazione.

Nel corso del 2015, del 2017 e successivamente del 2019 si è aggiornato il modello dinamico di giacimento (*Campo di Fauzia - Studio di giacimento, Rel. GIAC/CS-48/19 - novembre 2019*). Quest'ultimo prevede la riapertura di due completamenti nel corso del 2020 con un aggiornamento delle riserve a vita intera del campo pari a 258 MSm³ producibili entro il 2023.

In Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6 sono riportati gli andamenti storici delle portate di gas, d'acqua e la produzione cumulativa gas pari a 213 MSm³ al 31/12/2019.

In Figura 7 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati da modello *Eclipse* 2019 e le misure di pressione (RFT e profili statici) registrate nei livelli PLQ-I1, PLQ-J7+J8+J9 e PL3-B1-B5. I confronti mostrano un sostanziale accordo delle previsioni modellistiche con i dati misurati.

Nel corso del 2010, nell'ambito della documentazione tecnica (S.I.A.) redatta per l'istanza relativa al progetto di sviluppo di Fauzia, si è fatta una previsione di subsidenza con un modello geomeccanico considerando congiuntamente i campi di Fauzia e di Barbara NW per valutare l'effetto d'eventuali d'interazioni di tipo idraulico e/o meccanico tra gli stessi (rel. *Eni-Tera: Campi Barbara NW e Fauzia - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - luglio 2010*).

Nel caso di Fauzia i risultati dello studio hanno previsto per lo scenario di riferimento (compressibilità uniassiale C_mMed) una subsidenza massima di 10 cm al 2050 (fine simulazione) e una distanza dalla costa del cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) di circa 42 km. Per lo scenario più conservativo (compressibilità uniassiale C_mUpper), lo studio ha stimato, invece, una subsidenza massima di 20 cm al 2050 con una distanza dalla costa del cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) risultata ancora di circa 42 km.

Un aggiornamento/taratura del modello geomeccanico del complesso dei due campi (Fauzia e Barbara NW) è stato successivamente fatto nel 2013, (rel. *Eni-Tera: Campi Barbara NW e Fauzia - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - aprile 2013*) a seguito della revisione del modello fluido-dinamico *Eclipse* del giacimento di Barbara NW (*Campo di Barbara NW – Studio di giacimento – Relazione GISE 33/12. Dicembre 2012*).

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 3 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|

In tale aggiornamento si è tenuto soltanto conto dell'incremento di produzione per effetto dei work-over del 2010 su Barbara NW, non essendo variato il profilo di produzione di Fauzia (*Campo di Fauzia - Studio di giacimento – Relazione Eni/GISE 27/2010. Agosto 2010*).

È da sottolineare che tra i due giacimenti non c'è interferenza idraulica, in quanto i livelli mineralizzati a gas e posti in produzione nel campo di Fauzia sono diversi da quelli mineralizzati e attualmente prodotti nel campo di Barbara NW.

Nel corso delle simulazioni con modello geomeccanico si sono considerati 2 possibili scenari per il coefficiente di compressibilità (C_m) che a loro volta hanno generato altrettanti scenari previsionali di subsidenza (scenario di riferimento e scenario *Upper*).

Lo studio geomeccanico del 2013 ha sostanzialmente confermato per Fauzia le previsioni di quello del 2010, ovvero:

- per lo scenario di riferimento una subsidenza massima di 9 cm al 2027 (fine produzione) e di 11 cm al 2060 (fine simulazione);
- per lo scenario *Upper* una subsidenza massima di 14 cm al 2027 (fine produzione) e di 20 cm al 2060 (fine simulazione).

Per entrambi gli scenari considerati nello studio, inoltre, il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) si mantiene sempre a una distanza dalla costa superiore ai 42 km

Sulla base dell'aggiornamento dello studio di giacimento del 2017 (*rel. GISE 08/2017 – Campo di Fauzia - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico - Scheda Riassuntiva - agosto 2017*) che ha rivisto le riserve a vita intera del campo a 211 MSm³ producibili entro il 2020 e dello studio del campo di Barbara NW, anch'esso del 2017 (*Campo di Barbara NW - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico, Scheda riassuntiva. Relazione Eni/GISE 09/2017. Settembre 2017*) sono state nuovamente aggiornate le previsioni di subsidenza, sempre tenendo conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica tra i due campi (*Campi di Barbara NW e Fauzia – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza–Management Summary. Relazione Eni-REIT 04/2017 del 12/2017*).

In questo aggiornamento si sono considerati due possibili scenari produttivi:

- caso DN: Barbara NW caso “Do Nothing” e Fauzia caso “Do Nothing”;
- caso SVIL: Barbara NW caso “DN e 2 *side-track* (BNW9dirA e BNW5dirB)” e Fauzia caso “DN con stimolazione acida del pozzo Fauzia 3 dir e apertura completamenti esclusi string lunga di Fauzia 2”.

Si è, inoltre, tenuto conto delle incertezze nella stima delle proprietà geomeccaniche della roccia serbatoio, assumendo per queste ultime due diverse leggi di variazione della comprimibilità uniassiale in funzione dello sforzo efficace (scenari “MNO2” e “M2”).

In totale, quindi, si sono esaminati con il modello geomeccanico quattro possibili scenari:

- DN_MNO2: scenario di produzione DN e scenario di comprimibilità MNO2;
- SVIL_MNO2: scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità MNO2;
- DN_M2: scenario di produzione DN e scenario di comprimibilità M2;
- SVIL_M2: scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità M2.

Tutte le previsioni sono state protrate fino al 2068 onde considerare l’effetto dell’evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero anche dopo la fine della produzione.

L’analisi dei risultati consente di osservare che:

- nel **caso DN**: la subsidenza massima prevista in corrispondenza del campo di Fauzia è di 4 cm e si verifica a fine simulazione;
- nel **caso SVIL**: la subsidenza massima prevista in corrispondenza del campo di Fauzia è di 5 cm e si verifica a fine a simulazione.

In Tabella 1 sono riassunti con maggior dettaglio i principali risultati ottenuti per:

- **SVIL_MNO2** (scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità MNO2);
- **SVIL_M2** (scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità M2).

Tabella 1: Fauzia - massima subsidenza per i due scenari “SVIL”

| Scenari | 1 gen 2017 | 1 gen 2029 | 1 gen 2038 | 1 gen 2068 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| SVIL_MNO2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| SVIL_M2 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Per maggiori informazioni si rimanda alla relazione “Eni-EORG n° 04/2017 del dicembre 2017 – Campi di Barbara NW e Fauzia - Modello ElastoPlastico di Subsidenza - Management Summary”.

In tutti i casi simulati il cono di subsidenza si esaurisce, comunque, a una distanza di circa 42 km dalla linea di costa (Figura 8, Figura 9).

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 5 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|

Nel 2020 sarà avviato un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico sulla base dei risultati del modello fluido-dinamico del 2019.

Tra novembre 2012 e giugno 2013 è stato eseguito un rilievo batimetrico multi-beam di un'area molto ampia (superficie 10422 km²), comprendente i campi di Fauzia, Barbara NW, Barbara e Clara W. Tale rilievo, che nel caso di Fauzia ha registrato l'assetto batimetrico del fondo mare prima dell'inizio della produzione del campo, mostra in generale per l'intera area rilevata un andamento molto articolato del fondale che, procedendo perpendicolarmente alla costa, passa da una profondità minima di circa 58 m a poco meno di 76 m nella parte Sud-orientale dell'area stessa. Tale approfondimento del fondale è graduale da NW verso SE e si sviluppa con pendenze molto blande, generalmente inferiori di 1° (Figura 10).

Con questo primo rilievo non si è ovviamente riscontrata alcuna anomalia batimetrica significativa nell'area di Fauzia; esso rappresenta, comunque, la "base di confronto" per una futura batimetria, che potrà essere acquisita quando CGPS installato in piattaforma misurerà un'eventuale subsidenza d'entità tale da essere superiore alla precisione della misura batimetrica.

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

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

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

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

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 6 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|

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 di campagna 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 Pineto e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara. Nel tratto di costa da Pesaro a P.to San Giorgio, antistante alla piattaforma di Clara Nord, con l'acquisizione della campagna 2017 sono in totale disponibili 7 campagne di livellazione fatte negli anni 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2014 e 2017.

In Figura A viene rappresentato l'andamento altimetrico lungo la tratta Pesaro – P.to Sant'Elpidio durante il periodo 2006-2017.

Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura (il prossimo rilievo è previsto nel 2020), con il consolidamento dei dati CGPS e dei rilievi SAR sarà possibile fare interpretazioni più puntuali dei dati di livellazione anche per il tratto a sud di Pesaro.

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 di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi,

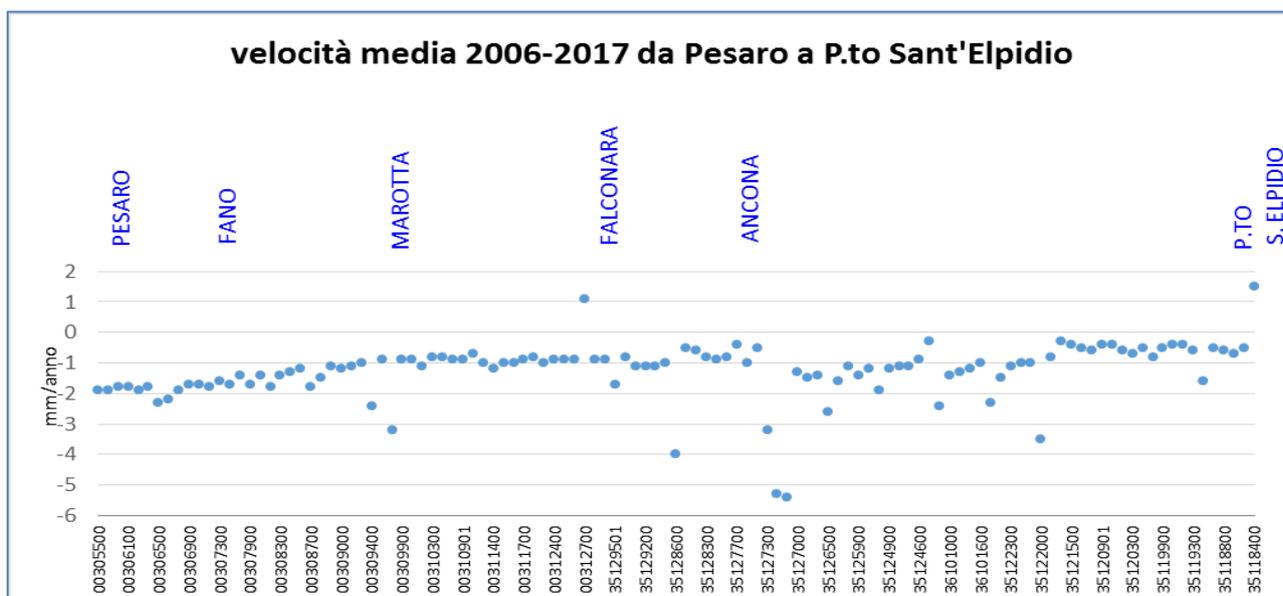


per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori, come di seguito specificato.

A questo proposito si sono stimate con regressione lineare le velocità medie annue d'abbassamento del suolo V_a^1 dei singoli capisaldi della tratta Pesaro - P.to Sant'Elpidio, raggruppandole poi nelle seguenti 5 classi:

- classe 4: include i capisaldi con $V_a \geq 10$ 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).

Figura A – Tratta Pesaro - Sant'Elpidio: velocità medie di subsidenza (2006-2017)



L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 2006-2017 mostra per l'area in esame, pur nell'ambito di un quadro di generale ma leggero abbassamento (Figura A), una marcata stabilità altimetrica a partire da Fano fino a P.to S. Giorgio: si consideri che il 93% dei punti analizzati ricade nella classe 1 con una media pari a 1.6 mm/a.

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

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 8 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|------------------|

I capisaldi per i quali si osservano alte velocità d'abbassamento (es. 5.4 mm/a nella zona di Ancona), oppure fenomeni d'innalzamento del suolo (es. nella zona di P.to Sant'Elpidio) sono scarsi di numero e isolati: sono, quindi, poco significativi dal punto di vista areale.

Non si possono escludere fenomeni localizzati dovuti a instabilità dei capisaldi stessi, che saranno comunque oggetto di verifica nelle prossime campagne di misura.

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

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2019) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 11).

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). 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). Nel corso del 2018, sono state installate due nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. sulle postazioni di Pomposa (ACPO – installata a settembre 2018) e di Po di Tolle (POTO – installata nel mese di luglio 2018). Una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, tutte le nuove stazioni entreranno 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 Fauzia, certificati fino al 2017 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 31/12/2019 (Figura 12), si sono utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati come mostrato in Tabella 2.

Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2017

| 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 |
| Fauzia | 19.73 | 20.45 | -4.9 | 19.42 | 19.78 | -5.45 | 0.31 | 0.67 | 0.55 |

A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche, 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

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 10 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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 di sufficientemente elevati. In questi casi sarà possibile monitorare solo eventuali anomalie di trend ma non procedere a un confronto diretto dei valori attesi da modello vs. i valori misurati.

In generale:

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

Le elaborazioni vengono 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). Come anticipato nella precedente relazione, le elaborazioni dei dati CGPS, sono state effettuate utilizzando il sistema di riferimento ITRF2014 con il software BERNESE 5.2. 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. Le elaborazioni delle nuove serie storiche sono state influenzate sia dal cambio del sistema di riferimento (da ITRF2008Igb08 a ITRF2014) sia dall'utilizzo della nuova release del software scientifico Bernese (da 5.0 a 5.2). Entrambe le condizioni hanno introdotto modeste variazioni nelle velocità medie pregresse, dovute anche al ricalcolo delle serie storiche delle stazioni di riferimento. In particolare, le verifiche effettuate hanno mostrato che tali condizioni possono determinare un aumento della velocità di subsidenza dell'ordine di 0.5 mm/anno, anche sulle serie storiche delle stazioni di

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 11 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

riferimento. Come già detto in precedenza, essendo stato avviato il monitoraggio CGPS sulla piattaforma Fauzia solo a settembre 2014, la serie storica di misure CGPS al 31 dicembre 2018 non è ancora certificata.

Per il campo di Fauzia la serie di misure disponibili supera, tuttavia, i 36 mesi e consente di stimare la velocità di subsidenza totale² in -4.1 mm/a (Figura 12, Figura 13), in diminuzione rispetto a quanto riportato nella relazione 2019 dove si era registrata al 31 dicembre 2018 una velocità di subsidenza totale di -4.95 mm/anno. Si sono, poi, confrontate le previsioni di subsidenza del modello geomeccanico del 2017 con le misure di subsidenza totale rilevate dal CGPS (Figura 14), senza che queste ultime siano state depurate dalla componente di subsidenza naturale: si può notare il buon accordo fra le due serie di dati.

In conclusione, il campo di Fauzia è stato inserito nella rete Eni di monitoraggio altimetrico della costa, così come richiesto dalle prescrizioni ministeriali. Pur tenendo conto del limitato periodo produttivo del campo, i monitoraggi fatti da Eni, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e la notevole distanza del campo dalla costa (40 km) e consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dal campo di Fauzia possa avere alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala infine che:

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

² La "subsidenza totale CGPS" rappresenta in questo caso l'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma su cui è installato il CGPS. A determinare tale "subsidenza totale" concorrono vari fenomeni: la compattazione di strati profondi per estrazione di gas (subsidenza antropica), movimenti tettonici e costipazione naturale dei sedimenti (subsidenza naturale), compattazione dei sedimenti più superficiali a fondo mare per effetto del peso della piattaforma. Quest'ultimo fenomeno è evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa.

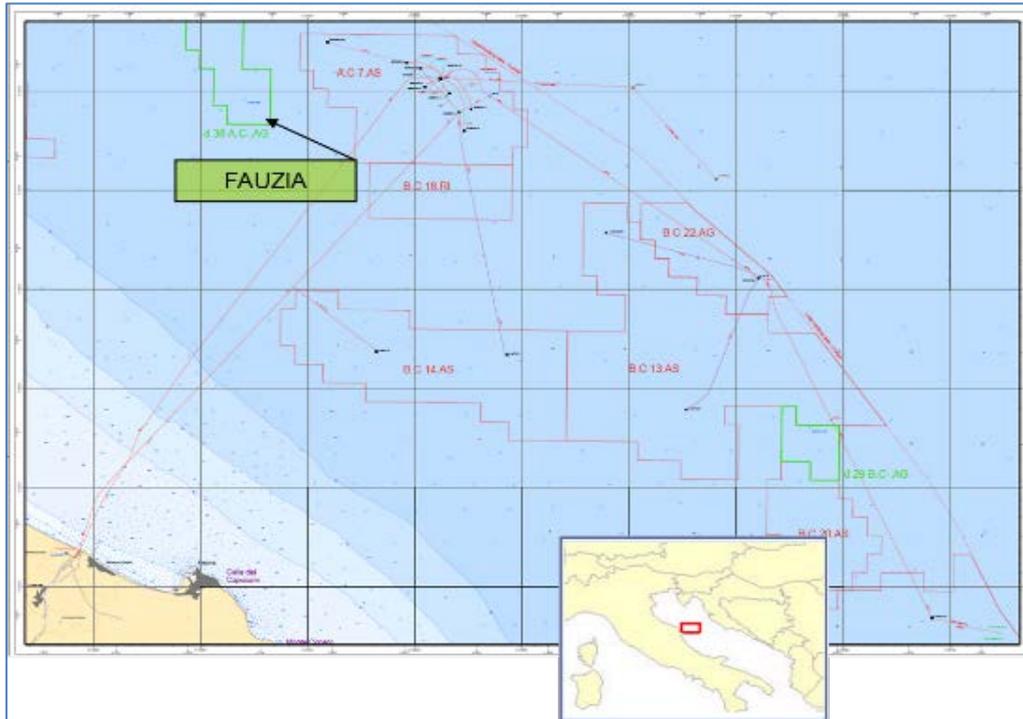


Figura 1 - Ubicazione del campo di Fauzia

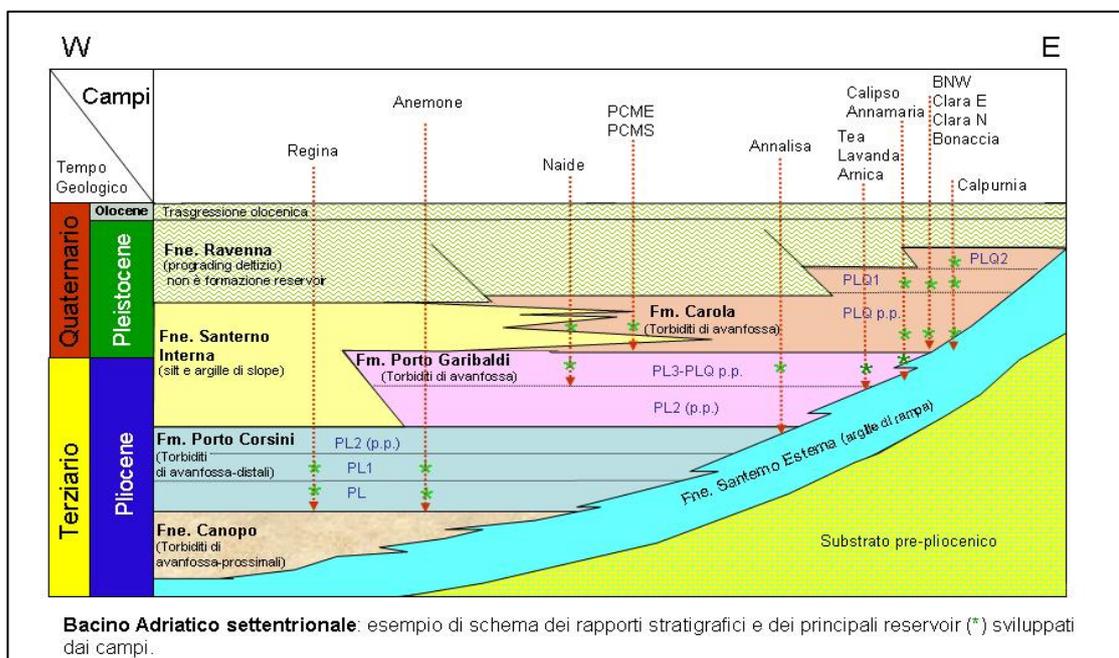


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

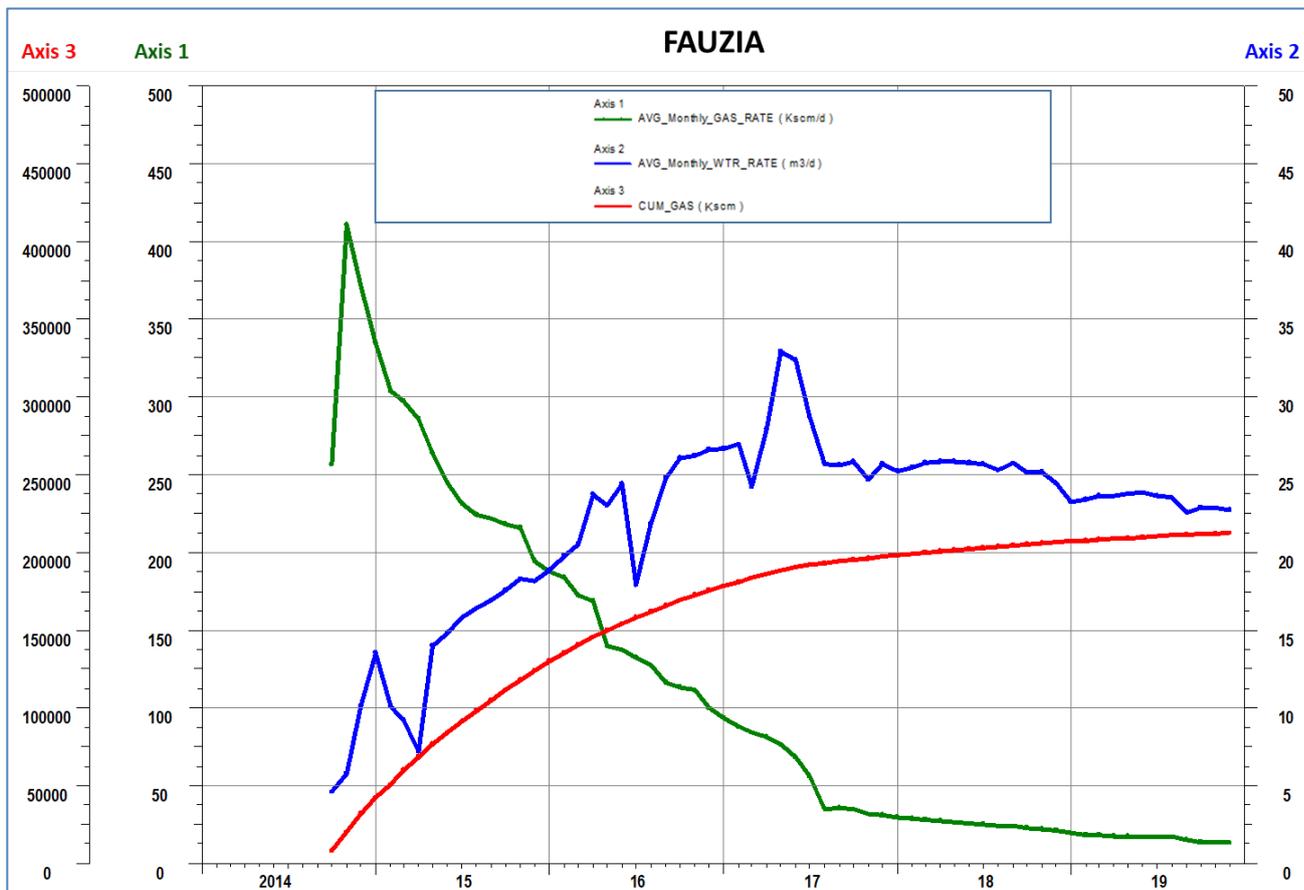


Figura 3 - Campo di Fauzia: grafico di produzione storica

| CAMPO DI FAUZIA | | | | | |
|-----------------|--|--------------------|---|--------------------|--|
| 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 | |
| 2014 | 32 | 32 | 32 | 32 | 12% |
| 2015 | 92 | 92 | 124 | 124 | 48% |
| 2016 | 52 | 52 | 176 | 176 | 68% |
| 2017 | 22 | 22 | 197 | 197 | 77% |
| 2018 | 9 | 9 | 207 | 207 | 80% |
| 2019 | 6 | 6 | 213 | 213 | 82% |
| 2020 | | 16 | | 228 | |
| 2021 | | 15 | | 243 | |
| 2022 | | 10 | | 253 | |
| 2023 | | 5 | | 258 | |

Figura 4 - Campo di Fauzia: produzione reale e da modello Eclipse 2019

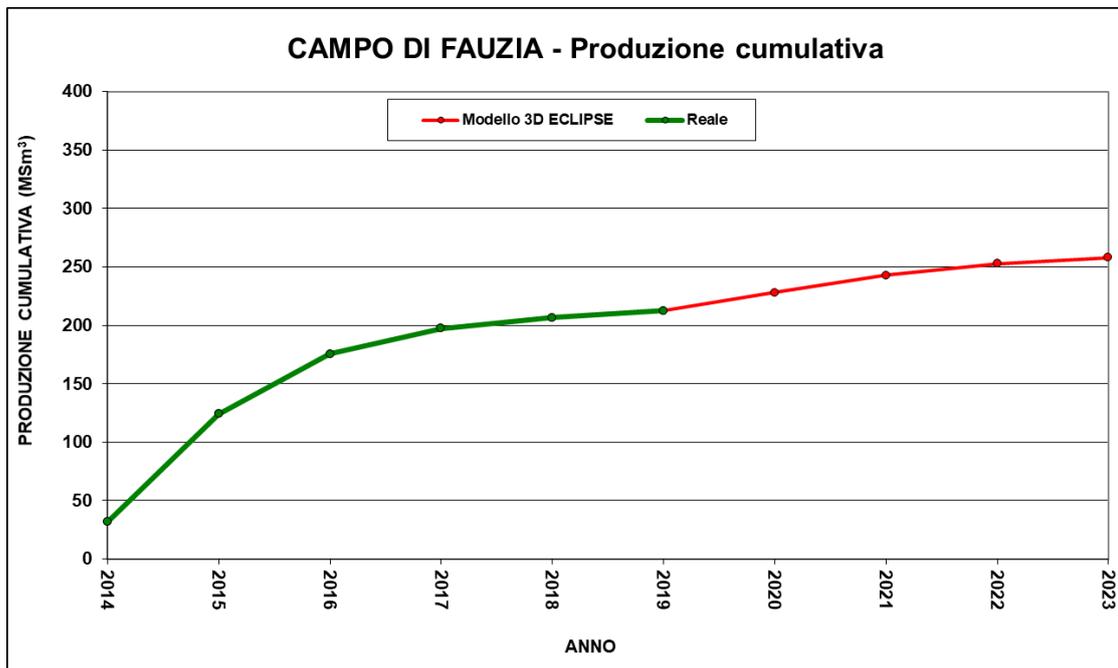


Figura 5 - Campo di Fauzia: grafico di produzione reale e da modello Eclipse 2019

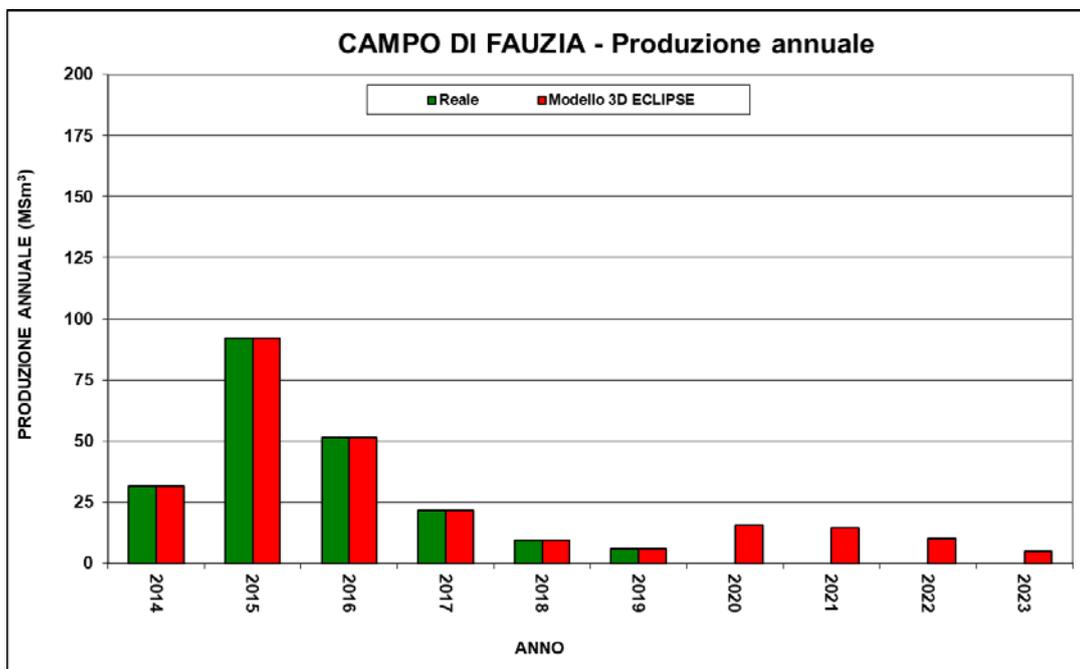


Figura 6 - Campo di Fauzia: produzione (annuale) reale e da modello Eclipse 2019



| CAMPO DI FAUZIA | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------|--------------|-------------------|----------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| Data | Livello PLQ-I1 | | | Livelli PLQ-J7+J8+J9 | | | Livelli PL3-B1÷B5 | | |
| | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string |
| 18/10/2001 | | | | 246 | 1 | | 255 | 1 | |
| 04/06/2014 | 237 | 2 | | | | | | | |
| 03/10/2015 | 230* | | 2 C | | | | | | |
| 19/05/2016 | | | | 220 | | 3 C | 194 | | 3 L |
| 04/08/2017 | | | | 230 | | 3 C | 219 | | 3 L |
| 19/07/2018 | | | | 221 | | 3 C | 227 | | 3 L |
| 27/10/2019 | | | | 237 | | 3 C | 229 | | 3 L |

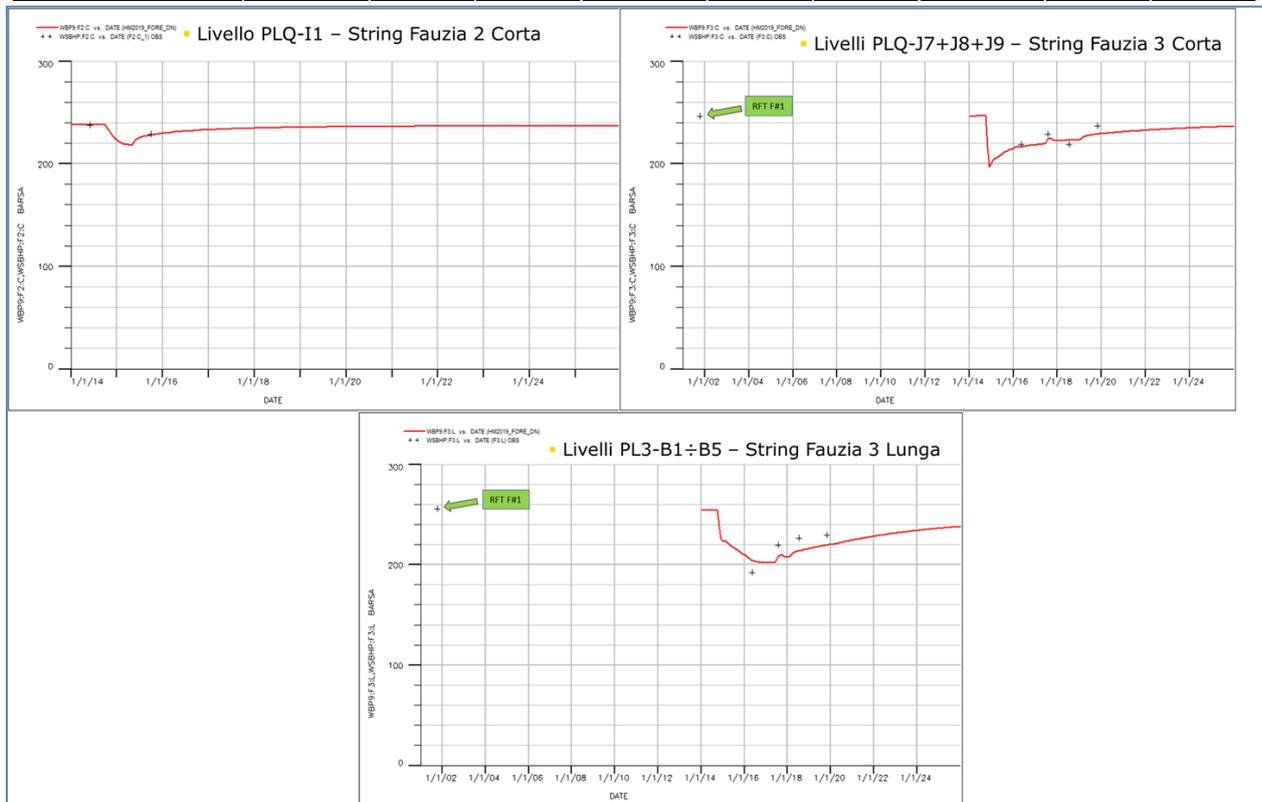


Figura 7 - Campo di Fauzia: dati di pressione (da RFT) vs. modello Eclipse 2019

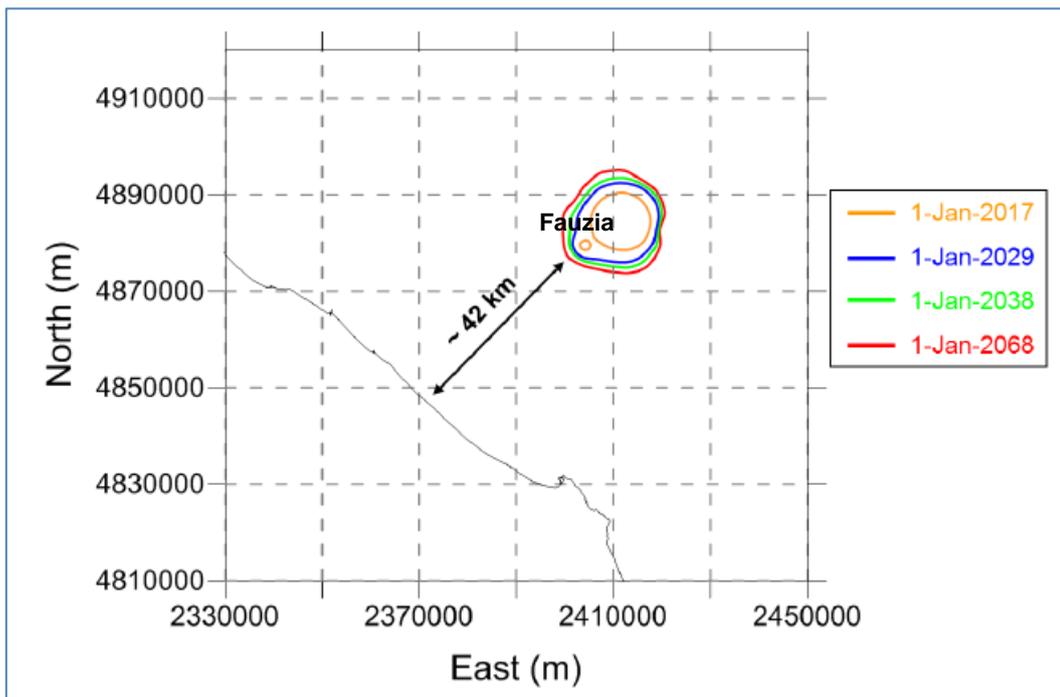


Figura 8 - Campi di Fauzia e Barbara NW: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario SVIL_MNO2

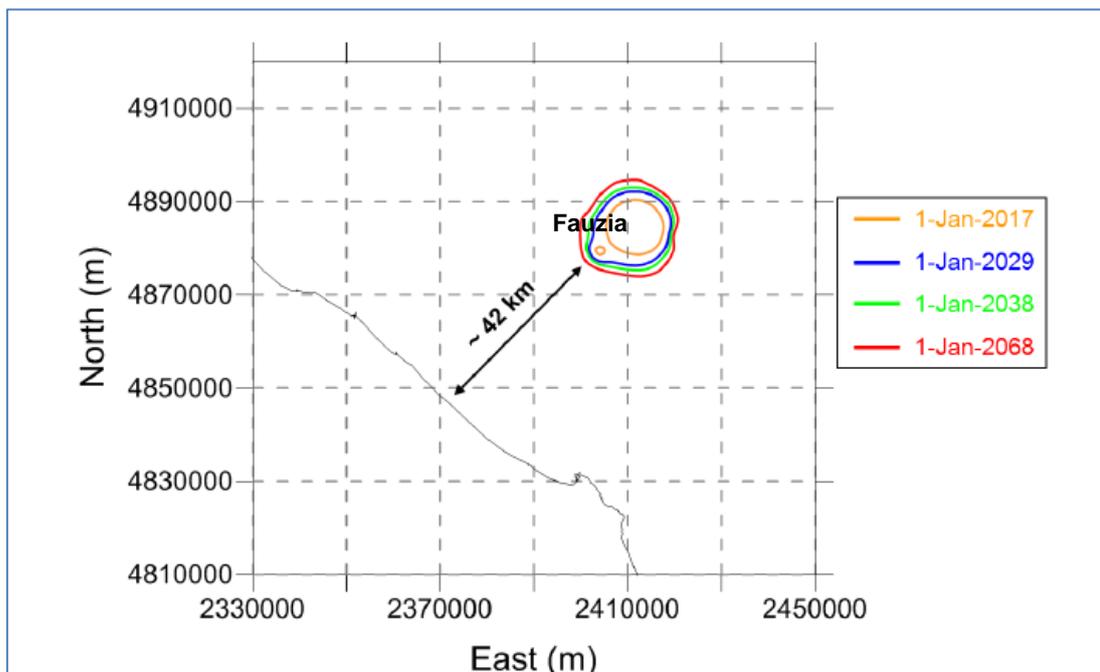


Figura 9 - Campo di Fauzia e Barbara NW: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario SVIL_M2

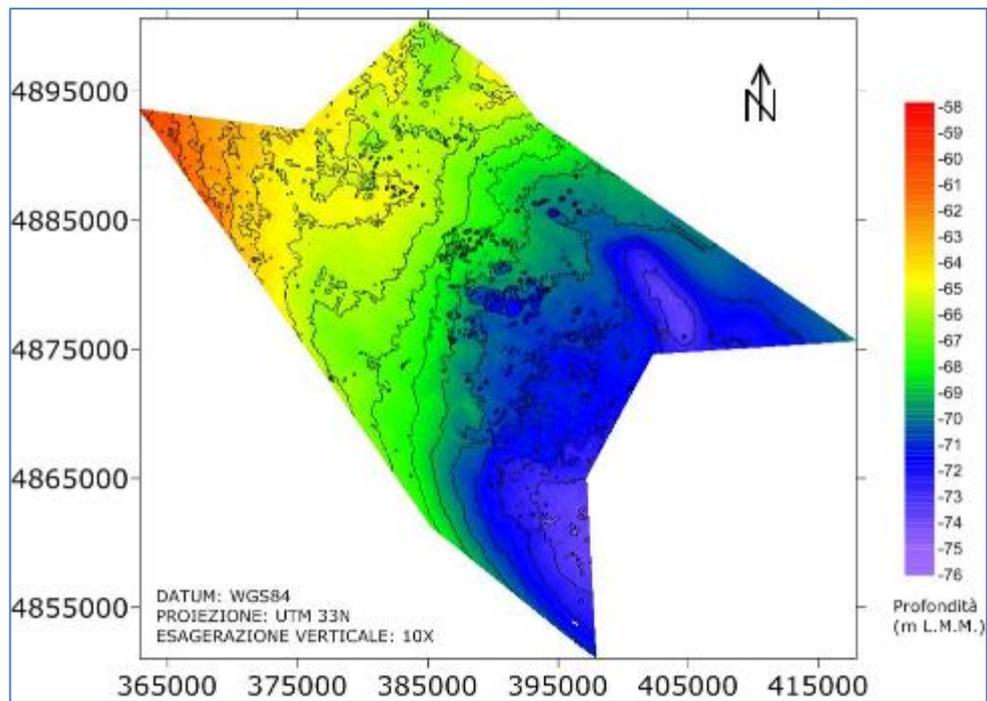
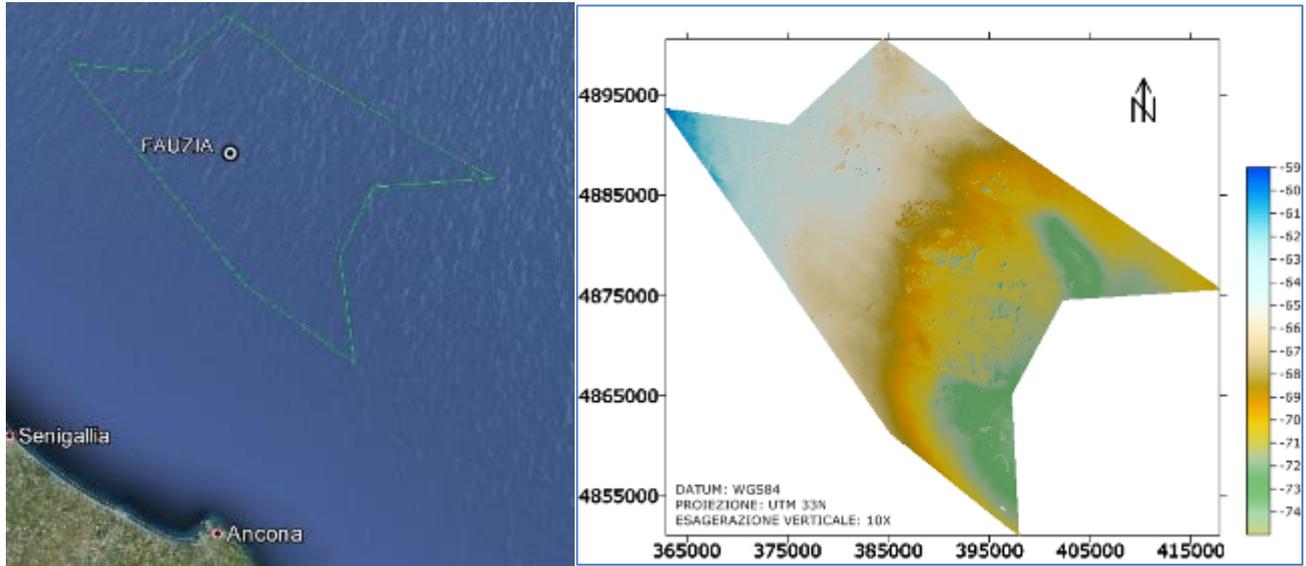


Figura 10 - Campo di Fauzia rilievo batimetrico. In alto e a lato: ubicazione-estensione dell'area rilevata e superficie 3D dell'area indagata; in basso: la mappa delle isobate.

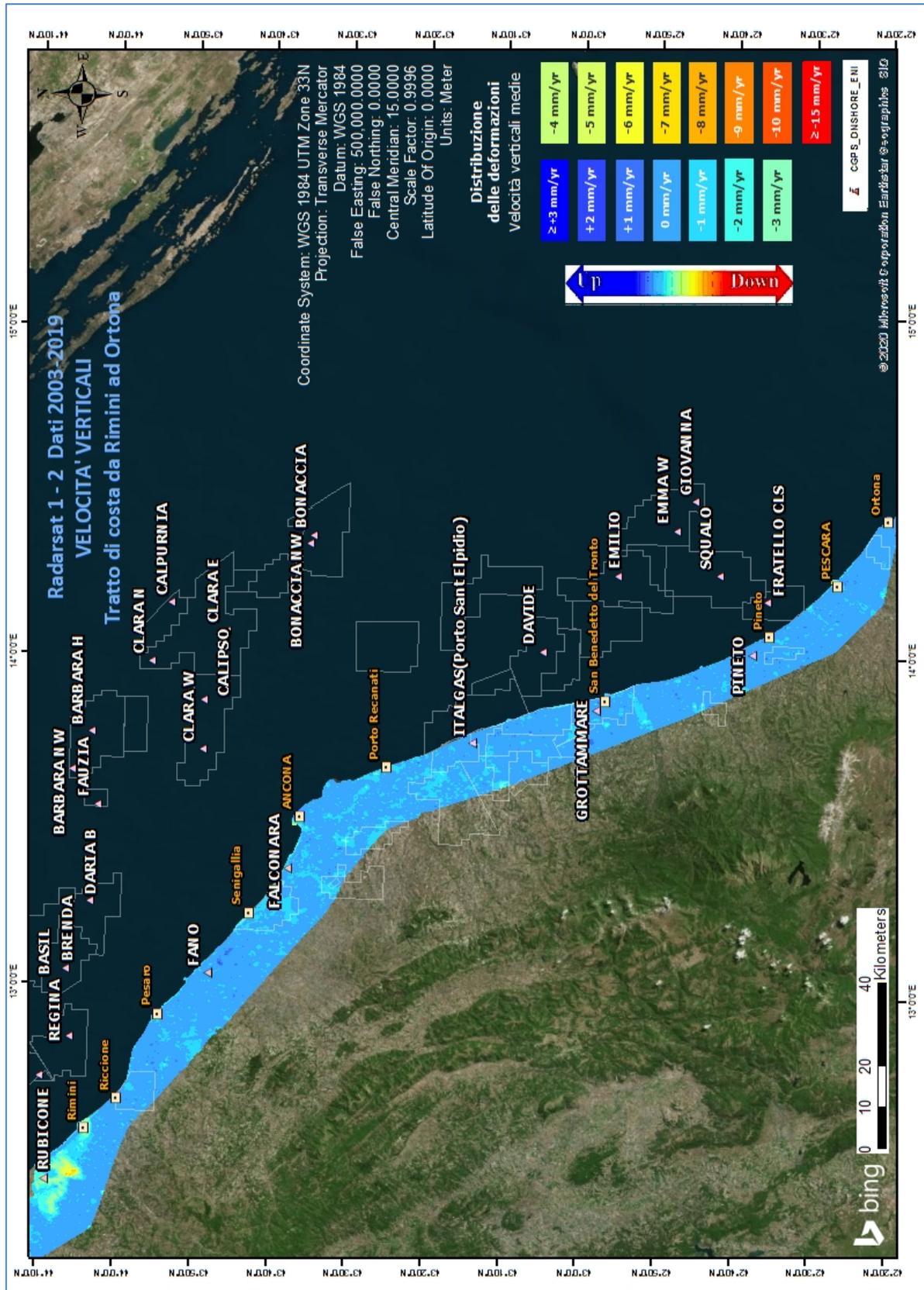


Figura 11 - Campo di Fauzia: analisi dati SAR dal 2003 al 2019

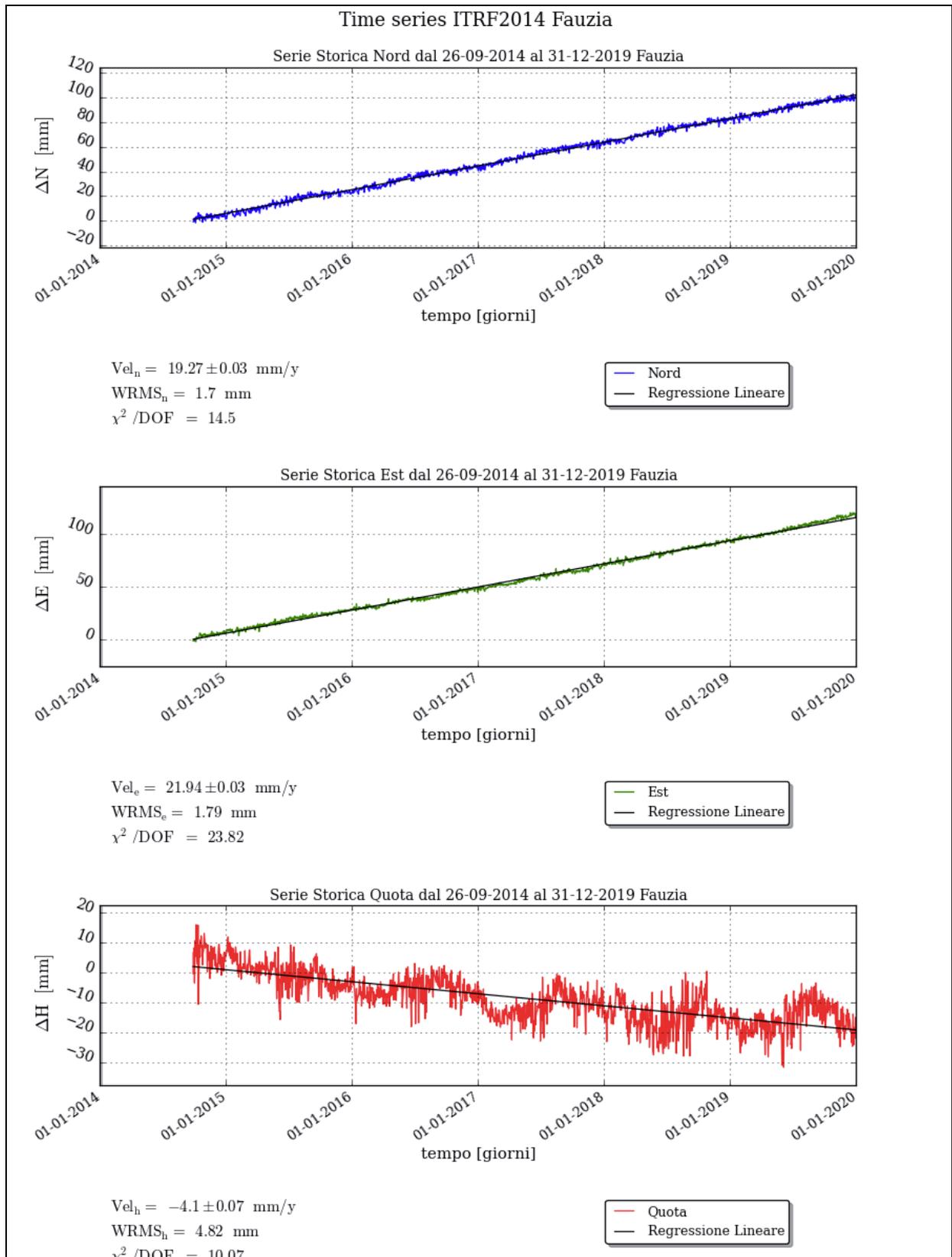


Figura 12 - Campo di Fauzia: serie storiche di misure CGPS

| CAMPO | Inizio produzione | Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse) | Riserve prodotte @ dic.2019 | Max subsidenza prevista (scenario di riferimento) | Ultimo aggiornamento studio | CGPS | | |
|------------------------|-------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | | | | | inizio registrazione | vel.media (mm/a) @ dic.2019 | anni di registrazione |
| ANEMONE | 1978 | 2018 | 100% | -49cm al 2049 | 2019 | 2007 | -4,6 | 12 |
| ANNALISA | 2000 | 2021 | 99% | -9cm al 2027 | 2018 | 2007 | -3,5 | 12 |
| ANNAMARIA | 2009 | 2030 | 79% | -163cm al 2051 | 2017 | 2005 | -100,9 | 14 |
| BARBARA NW | 1999 | 2035 | 79% | -44cm al 2029 | 2017 | 2008 | -26,9 | 11 |
| BONACCIA | 1999 | 2026 | 95% | -233cm al 2073 | 2018 | 2008 | -68,1 | 11 |
| BONACCIA NW | 2015 | | | | | 2015 | -43,5 | 4 |
| CALIPSO | 2002 | 2025 | 92% | -84cm al 2026 | 2017 | 2007 | -13,7 | 12 |
| CALPURNIA | 2000 | 2022 | 99% | -14cm al 2015 | 2017 | 2008 | -0,4 | 11 |
| CLARA EST | 2000 | 2038 | 74% | -81cm al 2038 | 2017 | 2007 | -14,4 | 12 |
| CLARA NW | 2016 | | | | | 2016 | -24,8 | 3 |
| CLARA NORD | 2000 | 2021 | 99% | -34cm al 2016 | 2017 | 2007 | -17,8 | 12 |
| ELETTRA | 2014 | 2029 | 69% | -11cm al 2061 | 2017 | 2014 | -17,8 | 5 |
| FAUZIA | 2014 | 2023 | 82% | -5cm al 2068 | 2017 | 2014 | -4,1 | 5 |
| GUENDALINA | 2011 | 2022 | 89% | -8,5cm al 2055 | 2018 | 2011 | -6,3 | 8 |
| NAIDE | 2005 | 2020 | 100% | -8cm al 2020 | 2017 | 2005 | -3,6 | 14 |
| NAOMI - PANDORA | 2001 | 2037 | 55% | -2,6cm al 2049 | 2017 | 2002 | -2,1 | 17 |
| PCME (PCMS) | 2001 | 2014 | 100% | -5,4cm al 2020 | 2016 | 2005 | -3,9 | 14 |
| REGINA | 1997 | 2030 | 99% | -130cm al 2061 | 2017 | 2007 | -23 | 12 |
| TEA - LAVANDA - ARNICA | 2007 | 2023 | 97% | -5cm al 2023 | 2019 | 2007 | -4,1 | 12 |

Figura 13 - Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate per tutta la serie storica di misure CGPS vs. modelli

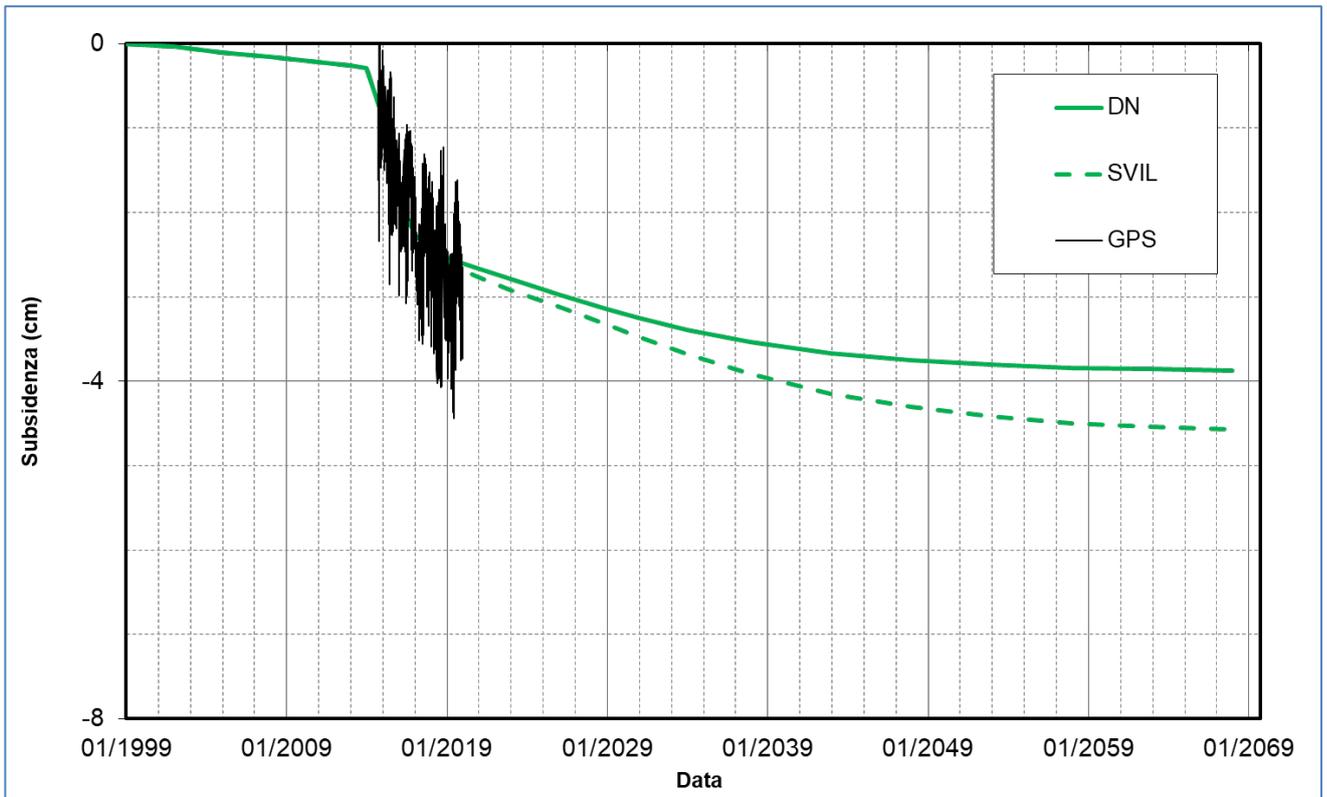


Figura 14 - Confronto fra subsidenza misurata (CGPS) e valore calcolato (modello geomeccanico dic.2017, scenario di compressibilità MNO2) in corrispondenza della stazione CGPS di Fauzia



| campo FAUZIA (J.V. Eni 60% - Edison 40%) | | | |
|--|--|---|---|
| DATI DI CAMPO | | DEC. VIA n. 2013-0000103 del 15 aprile 2013 | |
| UBICAZIONE | offshore -45 km a nord della costa marchigiana | AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (FAUZIA) | |
| PROFONDITA' FONDALE | 70 m | | |
| LITOLOGIA | terreni pleistocenici sabbioso/argillosi | SIA | |
| FORMAZIONE RESERVOIR | Carola e Porto Garibaldi | MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "agosto '10" | ULTIMO AGGIORNAMENTO |
| ZONA MINERARIA | PLQ-1 al PL3 | RISERVE (MSm ³) | Studio di giacimento, Rel. GIAC/CS-48/19 (novembre 2019) |
| PROFONDITA' RESERVOIR | 1870-2190 (TVDSS) | MOD. GEOMECCANICO | 258 |
| TPO DI PIATTAFORMA | fissa a 3 gambe | ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ luglio 2010 | ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dic. 2017 |
| CARATTERISTICHE GEOLOGICHE | torbiditi sottili | MAX SUBS AL CENTRO (cm) | 5 cm nel 2068 a fine simulazione -scenario di riferimento |
| | | MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km) | Il fenomeno si esaurisce a 42 km dalla costa |
| | | | Il fenomeno si esaurisce a 42 km dalla costa |
| | | STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI | |
| CONCESSIONE | A.C36.AG | LIVELLAZIONI | |
| DATA SCADENZA CONCESSIONE | 21/06/2026 | ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014 e 2017. | |
| N. POZZI | 2 | I DATI FINO AL 2017 SONO STATI CERTIFICATI DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM | |
| RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm ³) | 975 | 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 IL GIACIMENTO | |
| START UP PRODUZIONE | ott-14 | MARKERS | |
| FINE PRODUZIONE PREVISTA | 2027 | NON PRESCRITTI | |
| GAS PRODOTTO (MSm ³) | 2023 | CGPS | |
| % RISERVE PRODOTTE | 82% | OPERATIVO DA SETTEMBRE | |
| | | SAR | |
| | | ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC. 2019 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DEI CAMPI DI TLA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MULTIGIACIMENTI DELL'ADRIATICO | |

Figura 15 - Campo di Fauzia: scheda di sintesi dati campo

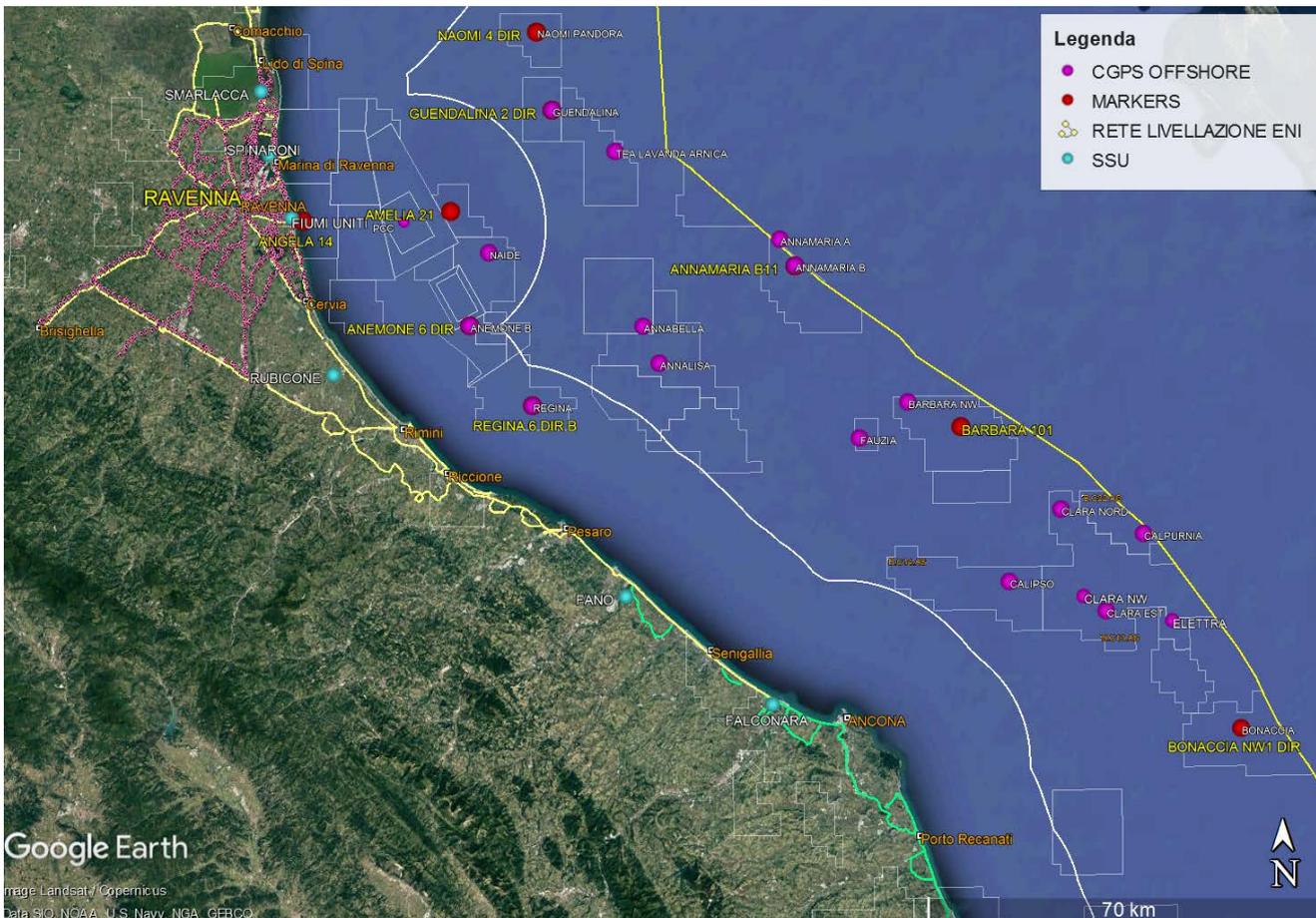


Figura 16 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2019

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2003 – 2019 sono state effettuate con lo stesso algoritmo utilizzato per le analisi dei dati dell'anno precedente.

In seguito verrà descritto con maggior dettaglio l'algoritmo utilizzato (vedi nota a fondo paragrafo "Tecnica PSP-DIFSAR"), cercando di mettere in luce le differenze dei principali algoritmi utilizzati in interferometria radar.

Analisi dati InSAR 2003 – 2019

L'analisi dei dati SAR ha interessato una serie di data-set, elaborati in fase di processamento in modo tale da garantire continuità spaziale dei dati.

Da un'analisi delle differenze tra le velocità medie annuali misurate dai CGPS presenti nell'area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer) presenti in un intorno di circa 300 m centrato nel corrispondente CGPS (Tab. 1), si è scelto di accorpare i data-set in due macro-aree, in modo tale che la taratura del dato InSAR minimizzi le differenze tra quest'ultimo e le misure CGPS.

In Tab. 1 vengono presentate: le velocità verticali dei CGPS (V_{vert_CGPS}) e il corrispondente scarto quadratico medio (sqm_CGPS); la media delle velocità verticali dei *permanent scatterers* nell'intorno avente come centro il CGPS corrispondente ($Media_V_SAR$) e il corrispondente scarto quadratico medio (sqm_SAR); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio. Tutte le misure sono in millimetri/anno.

| | CGPS | V_{vert_CGPS} [mm/yr] | sqm_CGPS [mm/yr] | $Media_V_SAR$ [mm/yr] | sqm_SAR [mm/yr] | $Diff_VEL$ $CGPS-SAR$ [mm/yr] | sqm_diff [mm/yr] |
|--------------|-------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------|
| RAVENNA | SMARLACCA | -6,16 | 0,01 | -3,39 | 1,21 | -2,77 | 1,22 |
| | SPINARONI | -7,80 | 0,01 | -3,97 | 0,91 | -3,83 | 0,92 |
| | FIUMI UNITI | -13,73 | 0,02 | -11,19 | 3,35 | -2,54 | 3,37 |
| FANO-AN-CONA | RUBICONE | -2,64 | 0,03 | -2,93 | 1,81 | 0,29 | 1,84 |
| | FANO | 0,1 | 0,02 | 0,13 | 0,82 | -0,03 | 0,84 |
| | FALCONARA | -0,31 | 0,02 | -0,22 | 1,50 | -0,09 | 1,52 |
| | ITALGAS | -0,06 | 0,02 | 0,46 | 0,72 | -0,52 | 0,74 |

Tab. 1. Taratura dato InSAR con misure CGPS

La stazione CGPS di Manara è stata dismessa, pertanto non rientra nei calcoli per la taratura del dato InSAR 2019.

Come si può vedere in Tab. 1, le differenze di velocità tra dati CGPS e le velocità medie dei dati InSAR rappresentati nella penultima colonna hanno andamenti diversi nell'intera area, con differenze che si aggirano intorno 3 mm/anno di media per i primi 3 CGPS, mentre per gli ultimi 4 CGPS si notano differenze massime intorno a 0,5 mm/anno.

Di conseguenza si è scelto di mosaicare i diversi data-set in due macro-aree (Fig. 1):

1. Area di Ravenna
2. Area di Fano-Ancona

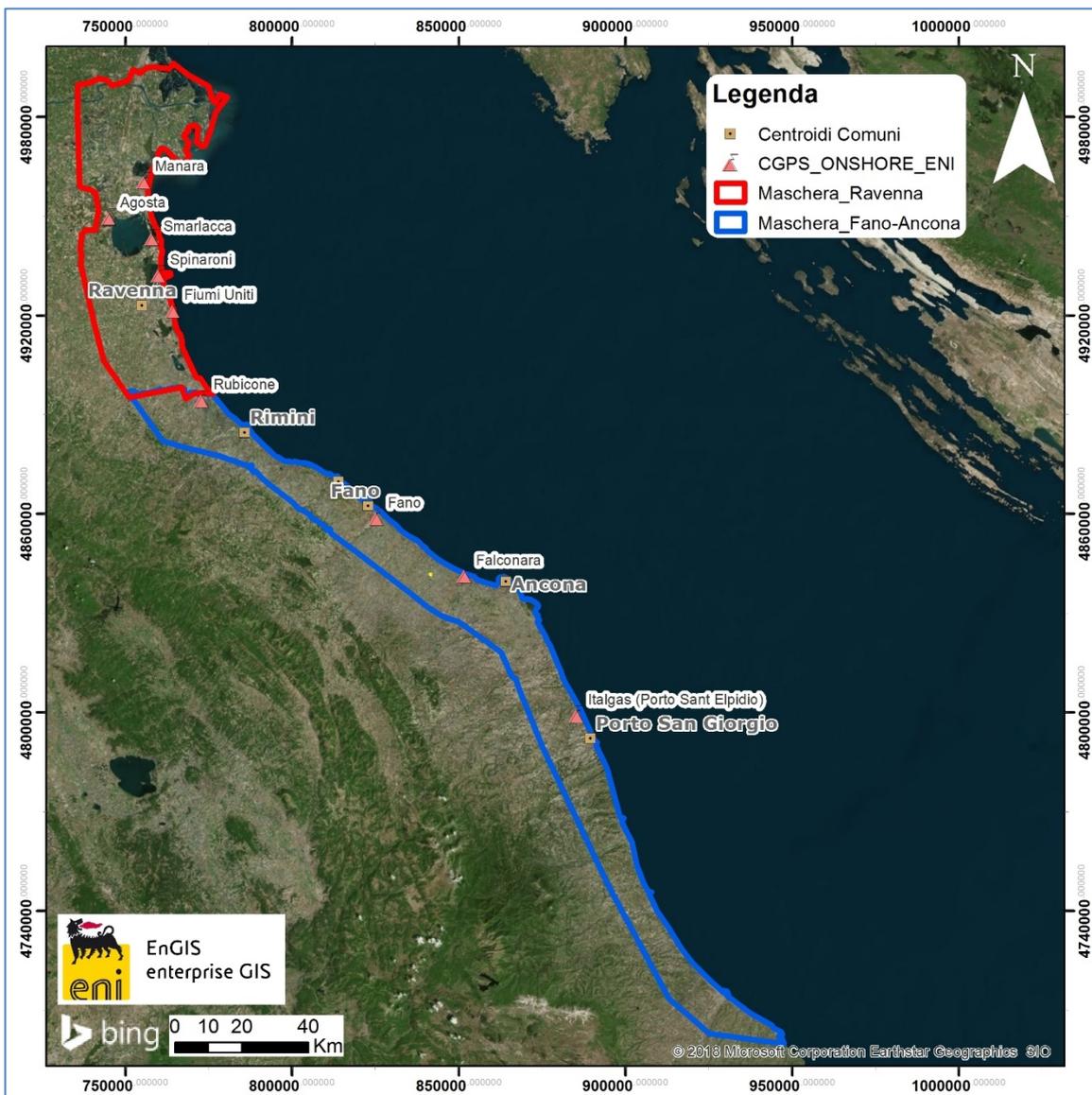


Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 24 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

Complessivamente risultano presenti le seguenti stazioni CGPS afferenti alla rete Eni:

1. **Area Ravenna:** *Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti*
2. **Area Fano-Ancona:** *Rubicone, Fano, Falconara, Italgas*

Il processo di calibrazione è stato realizzato utilizzando le informazioni derivanti dalle stazioni di monitoraggio CGPS esistenti all'interno delle aree analizzate, partendo dalle stazioni che presentano una serie storica più consistente (Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti).

Si è realizzata, quindi, la calibrazione dei dati SAR partendo dall'area più a nord (area Ravennate), utilizzando i dati di velocità della stazione di Smarlacca; i dati delle stazioni di Fiumi Uniti e di Spinaroni sono stati utilizzati esclusivamente come valore di verifica dei risultati ottenuti con la calibrazione.

La determinazione delle velocità verticali con dati CGPS è stata calcolata sulla serie storica totale del dato, che per quanto riguarda le postazioni di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti ha un inizio di acquisizione leggermente anteriore rispetto a quello dei dati SAR. Queste velocità così calcolate hanno una differenza sotto il decimo di millimetro/anno, rispetto a quelle calcolate sullo stesso periodo di acquisizione, da considerarsi pertanto trascurabile ai fini di questo studio.

L'analisi dei dati SAR non calibrati, relativi all'area Ravennate nell'intorno della stazione CGPS di Smarlacca per un raggio di 300 metri, ha evidenziato una velocità media pari a $-3,39 \pm 1,21$ mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di $-6,16 \pm 0,01$ mm/anno, si rileva una differenza di $-2,77 \pm 1,22$ mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di $-2,77 \pm 1,22$ mm/anno. Successivamente sono stati confrontati i punti SAR, che ricadevano in un intorno di raggio pari a 300 m, rispetto ai CGPS di Fiumi Uniti e Spinaroni. Il confronto mostra delle differenze, tra i singoli CGPS e i dati SAR calibrati, sotto il millimetro: ciò conferma la validità della calibrazione effettuata.

In Fig. 2 è visualizzata l'interpolazione dei dati mosaicati, per l'area Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico. L'interpolatore utilizzato è l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

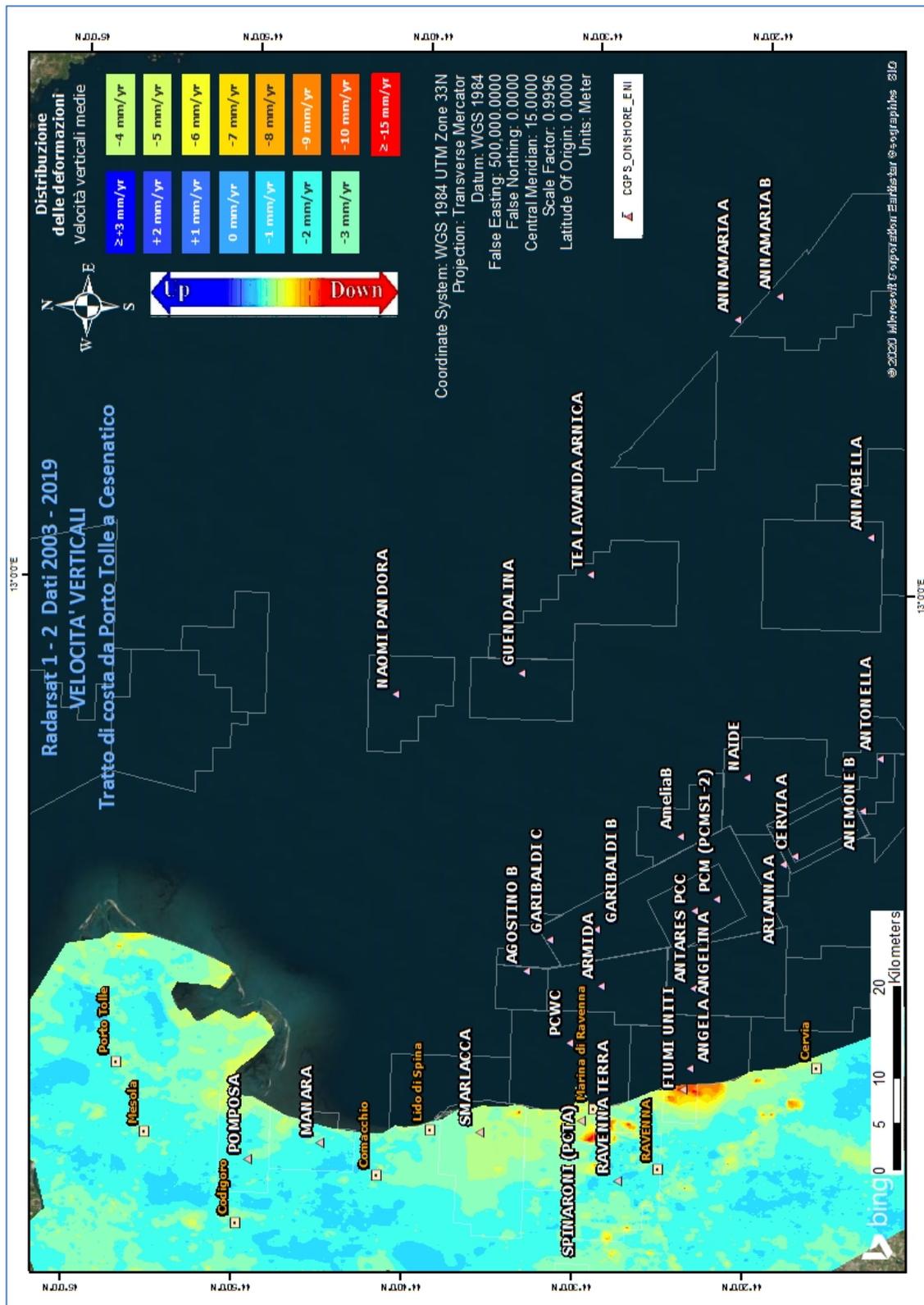


Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 26 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

Come già effettuato nel 2018, l'altro data set (Area di Fano-Ancona, vedi Fig. 1) verrà analizzato separatamente dall'area Ravennate in quanto è stata rilevata una coerenza delle misure SAR con le misure delle stazioni CGPS interne a ciascun area.

Analizzando l'area SAR di Fano-Ancona, si evidenzia come le velocità dei CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas siano allineate con le velocità misurate dal SAR, con uno scarto inferiore al mezzo millimetro (Tab. 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono all'interno di questo intorno. Considerata l'esiguità della differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR ($-0,03 \pm 0,84$ mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tab.1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,5 mm/anno in media.

In Fig. 3 è visualizzata l'interpolazione dei dati mosaicati, per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona. L'interpolatore utilizzato è l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

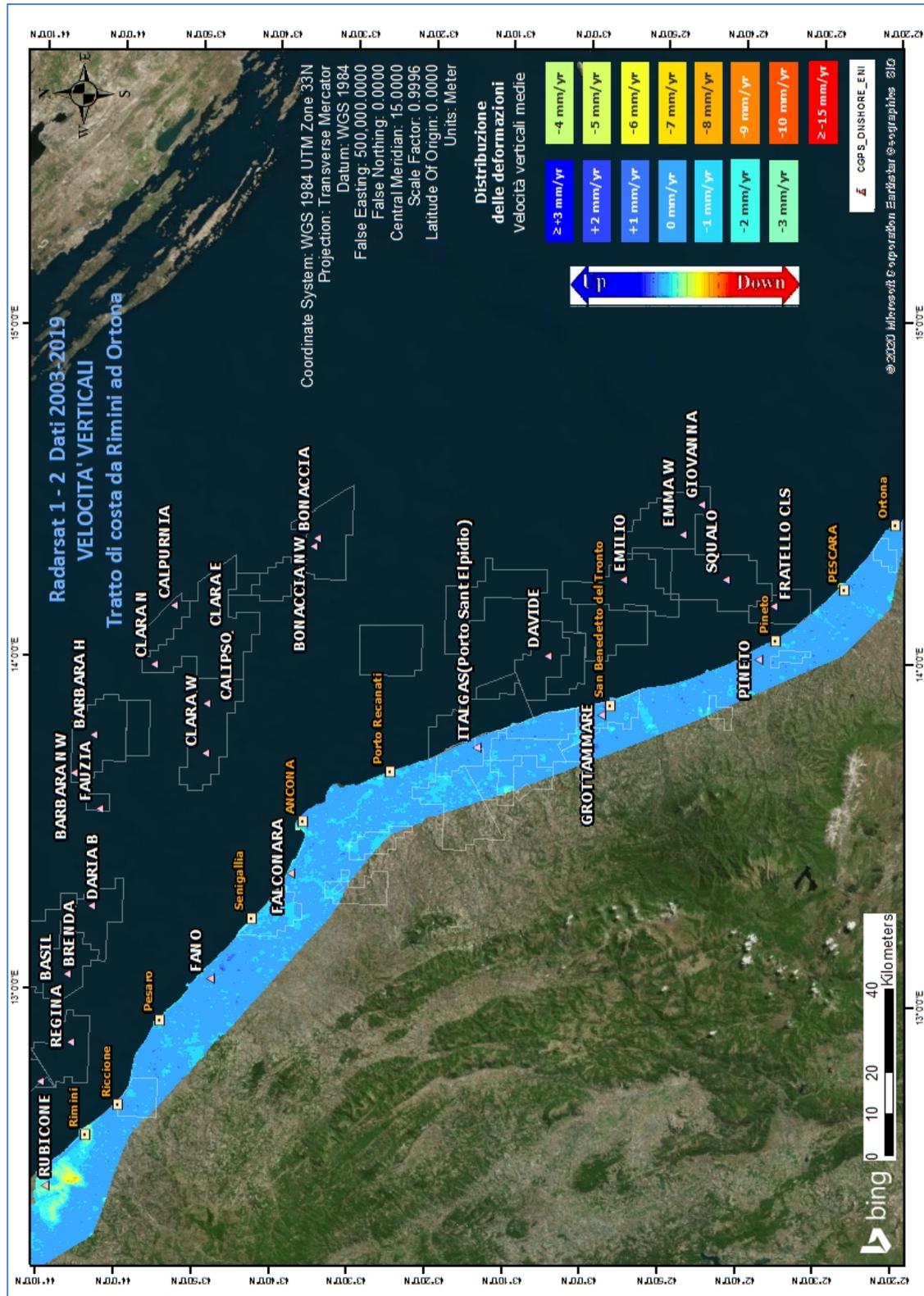


Fig. 3 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

Confronto dati SAR 2003 – 2018 vs 2003 – 2019

Il processo di sottrazione tra IDW 2019 e IDW 2018 permette di evidenziare graficamente eventuali differenze nell'andamento medio delle velocità verticali.

Come mostrato in Fig. 4 e Fig. 5 la sottrazione tra i due IDW non mostra differenze importanti, ed in ogni caso rientranti all'interno della deviazione standard dichiarata. Per quanto riguarda punti spot che mostrano differenze più marcate, da un'attenta analisi del dato si è riscontrato come si tratti di aree prevalentemente industriali o di recente edificazione o zone in cui i dati SAR sono assenti o molto esigui, per cui l'interpolazione IDW ha generato un dato non attendibile per un anno o il successivo, da cui derivano differenze non realistiche. Si sta studiando la possibilità di intervenire sul tool di interpolazione per evitare le zone di ambiguità in caso di aree con mancanza o esiguità di dati.

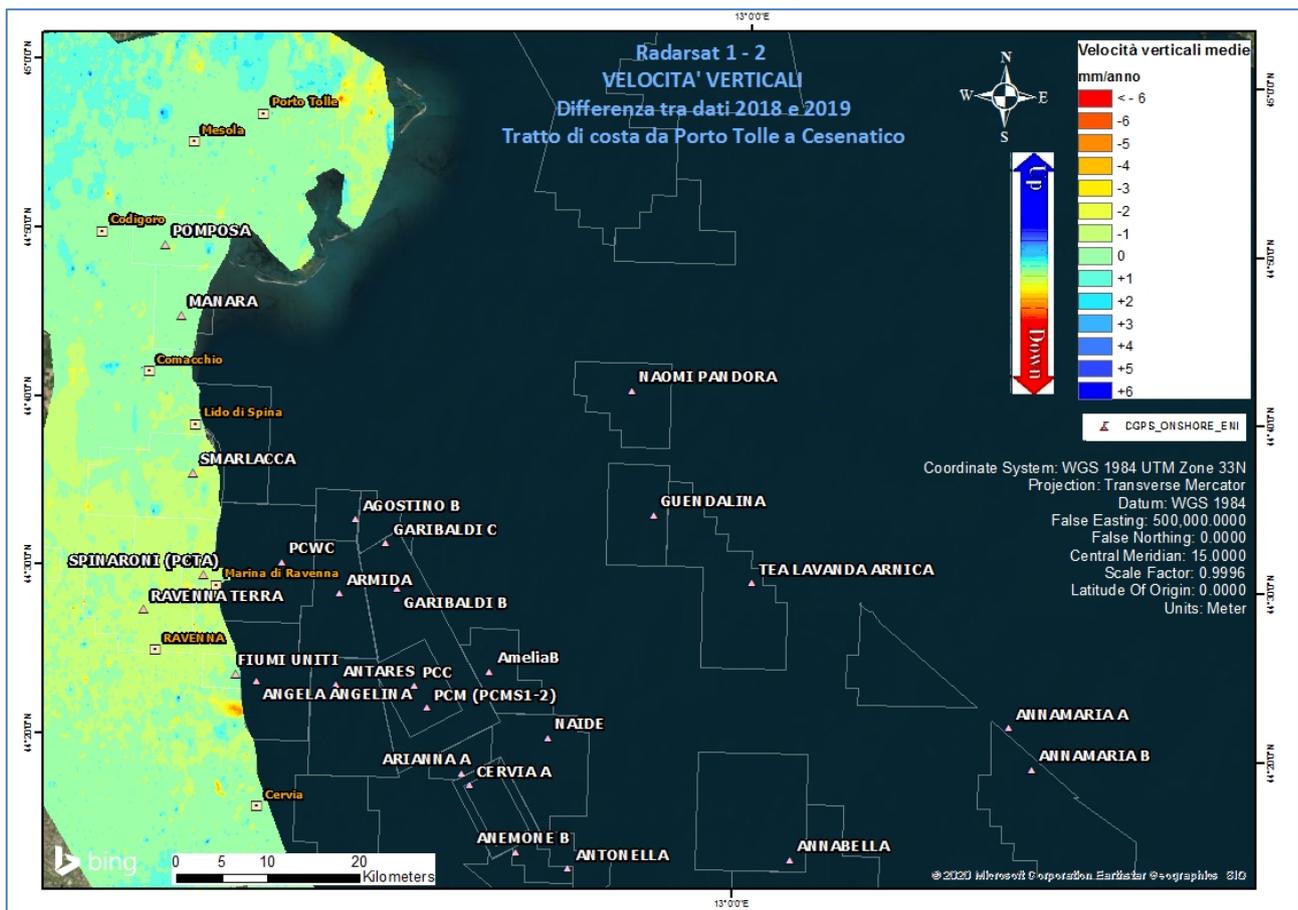


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

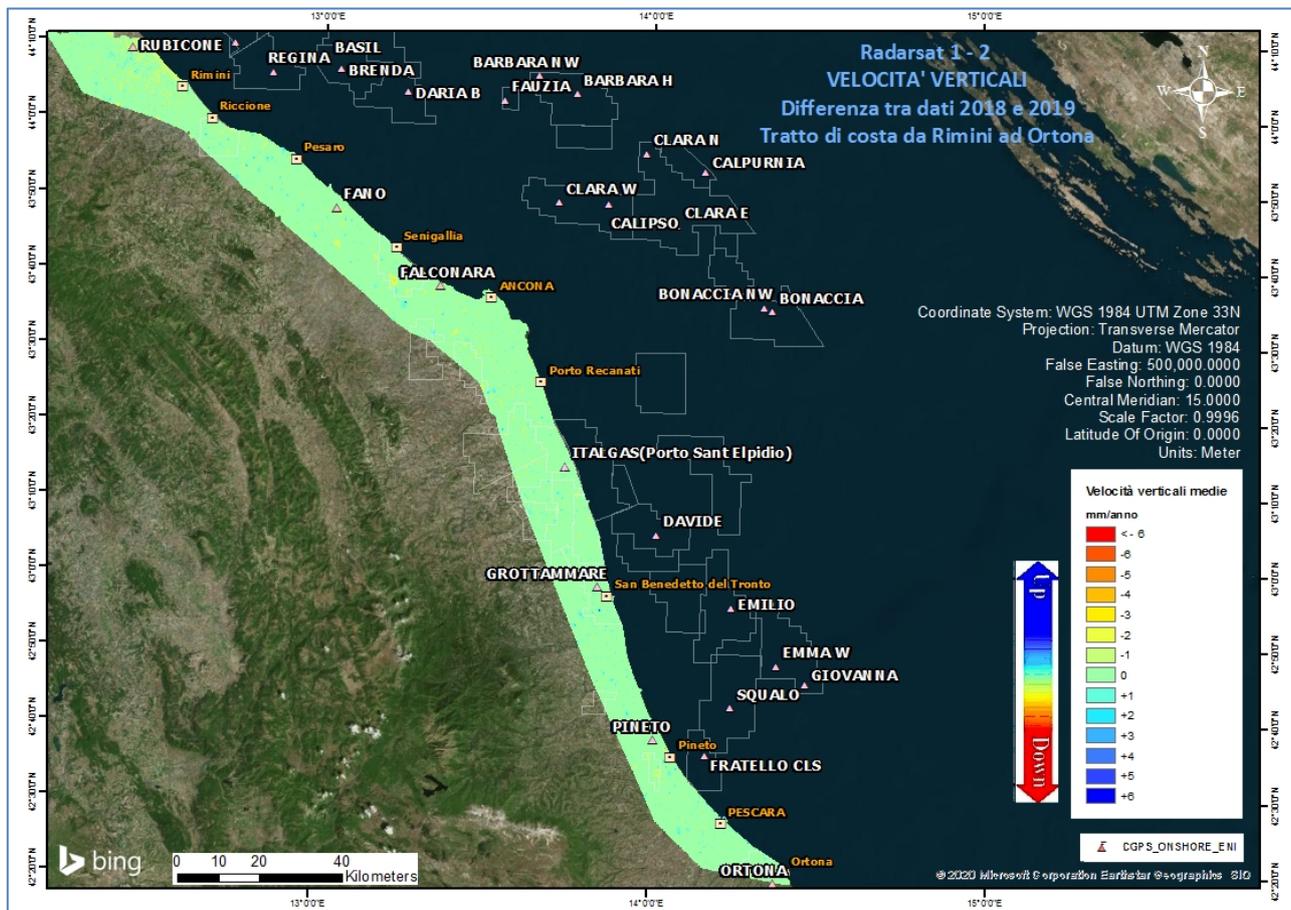


Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

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

La tecnologia interferometrica 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 movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni vulcanici e sismici (Costantini et al., 2005). I PS corrispondono generalmente ad elementi al suolo, come manufatti (ad esempio, parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici in genere) oppure corpi naturali (ad esempio, rocce esposte) che si distinguono dagli altri, presenti nell'area esaminata, per il fatto di possedere un'elevata stabilità nel tempo della cosiddetta "firma radar". Questi punti presentano caratteristiche tali da permettere misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio così da

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 30 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

poter evidenziare spostamenti relativi dei PS nel tempo anche solo di pochi millimetri. L'interferometria differenziale si basa su un sensore SAR a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e riceve 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 un'area soggetta a fenomeni di deformazione superficiale, il sensore, passando in istanti successivi sulla stessa area di interesse, rileva tra un'acquisizione e l'altra una variazione di distanza. Questo dato, 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.), rende possibili misure estremamente accurate di eventuali spostamenti superficiali lenti dell'area di interesse. Una delle peculiarità 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 ed orbitali, ed in generale da tutti i contributi correlati spazialmente (anche i movimenti non lineari nel tempo). 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 è computazionalmente efficiente ed altamente parallelizzabile.

La densità dei PS individuati è solitamente molto elevata in corrispondenza dei centri urbani e di aree rocciose mentre è praticamente nulla nelle zone vegetate o perennemente innevate. L'insieme dei PS sul territorio costituisce una rete naturale di "capisaldi radar", concettualmente analoga ad una rete di stazioni GPS (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 2019

Il monitoraggio della compattazione superficiale lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Cervia e Ancona, è effettuato tramite 3 stazioni *EPSU* (Extensometric Piezometric Survey Unit) denominate: Rubicone, Fano e Falconara. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 2008 e il 2009, è riportata in Figura 1B.

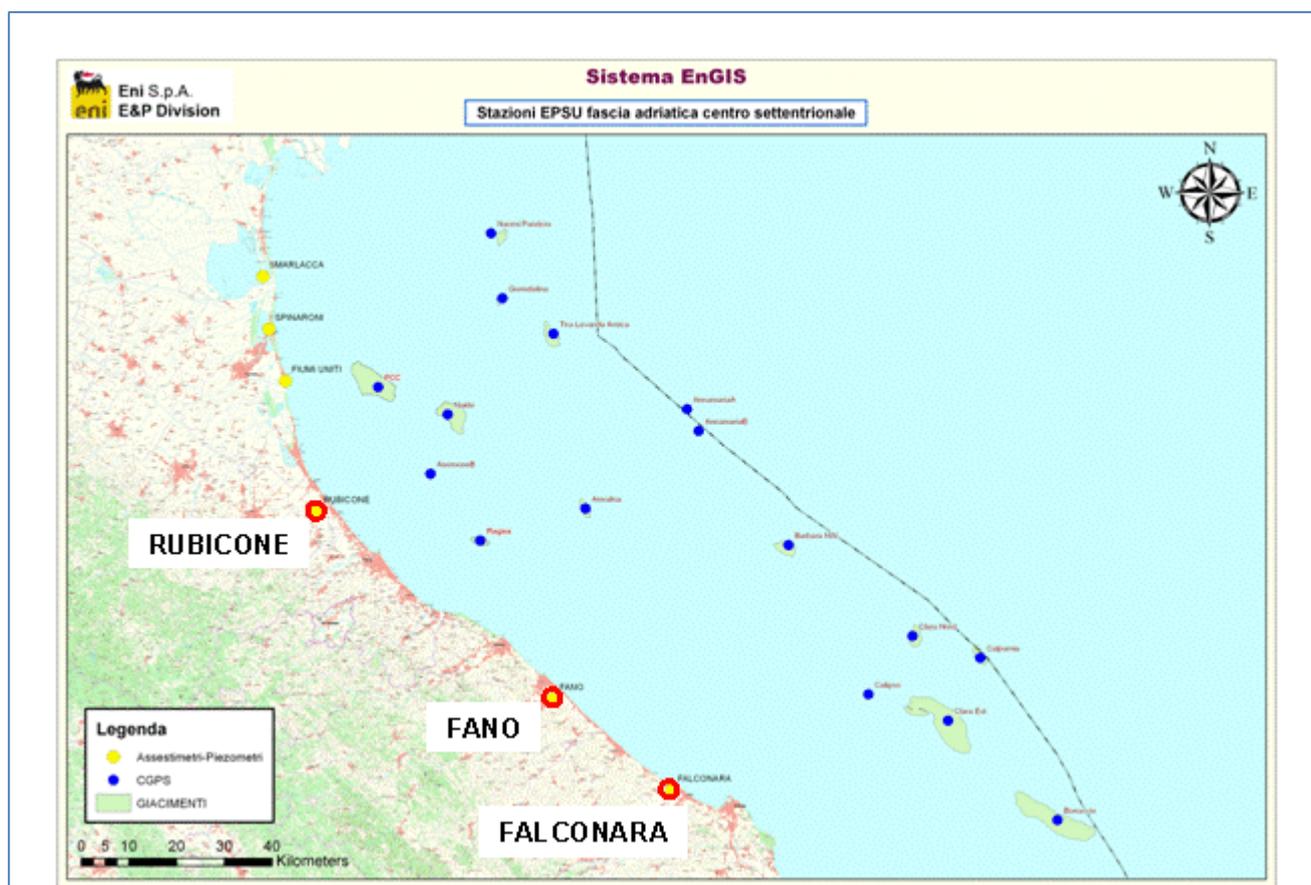


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

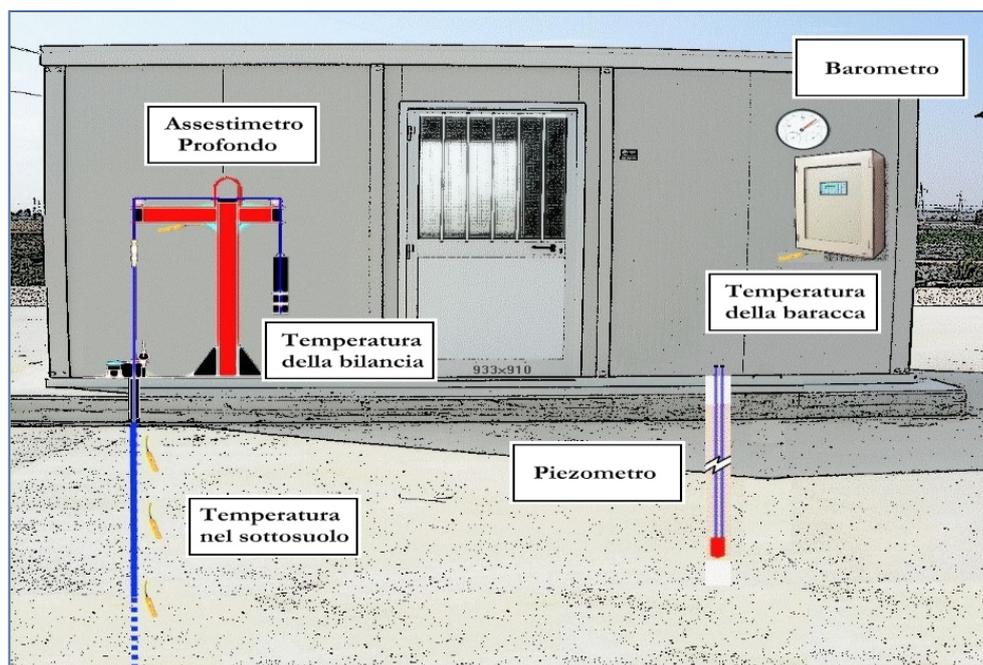


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

Più in dettaglio, nelle 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).

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 33 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata dicembre 2009)

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

La stazione è ubicata, ad una altitudine di 6m s.l.m., a circa 3.5Km a sud-ovest dell'abitato di Gatteo a Mare (FC), lungo il corso della sponda nord del fiume Rubicone ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Rubicone".

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 nella Figura 3B e Figura 4B, mentre la Figura 5B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzo assestimetrico e dalle 2 verticali piezometriche. La raccolta dati 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 di dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre.

A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei 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 fosse 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

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 34 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati integri e affidabili per restituzione dei dati. A giugno 2018 è stato sostituito un trasduttore di pressione del piezometro a 178m. Per tutto il 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in giugno, agosto e dicembre 2019.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestometro 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 assestimetrici sia quelli piezometrici; nello stesso grafico è riportato anche l'andamento della pressione atmosferica, i cui dati sono stati utilizzati per depurare i valori delle quote piezometriche. I dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero").

Tale misura è quella dell'8 aprile 2009, data di collaudo del sistema. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione, quelli negativi, viceversa, un incremento dello spessore (cioè espansione) degli strati di terreno monitorati.

Lo strumento ha sempre segnato un andamento stagionale estremamente regolare, con un decremento delle misure da ottobre a aprile dell'anno successivo (massima espansione), una ripresa delle misure da aprile fino ad ottobre (massima compattazione) per poi decrescere di nuovo. Questo andamento è stato registrato in tutti gli anni di osservazione, ma con pendenze delle curve e, quindi, con velocità di incremento e/o decremento, variabili di anno in anno, l'ultimo anno non fa eccezione (Figure 7B e 8B).

Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestometro si correla molto bene con le variazioni di 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÷1.5 mesi nella espansione/compattazione del terreno rispetto all'escursione massima (marzo/aprile) e minima (agosto/settembre) dei livelli di tali falde (Figura 7B e Figura 8B - confronto delle misure piezometrica profonda e assestimetrica dell'ultimo anno).

Nella stessa area della stazione assestimetrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 35 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento totale del suolo rilevata dai dati CGPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestometriche (Figura 9B). Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012. La velocità media annua, calcolata con regressione lineare, della serie storica di misure CGPS è di -2.64 mm/a, abbastanza prossima a quella ottenuta, in modo analogo, dalle misure assestometriche, che è pari a -2.77 mm/a (Figure 6B e 7B)

Ciò potrebbe indicare che la causa principale d'abbassamento del suolo risieda principalmente nella compattazione dei primi 320 m di terreno e sia indotta dalle oscillazioni stagionali del livello delle falde acquifere e/o dal loro emungimento, infatti la loro dinamica si correla perfettamente con l'assestometro.

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 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

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. Nella Figura 7B è stata eliminata l'informazione della pressione barometrica e si può meglio apprezzare l'elevata correlazione tra le pulsazioni del terreno, registrate dall'assestometro, e la dinamica annuale delle falde freatiche, che sembra essere l'unica responsabile della compattazione totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestometro.

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato 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 dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data 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 freatimetro. 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.

Ad oggi (dicembre 2019) tutti i piezometri e relativi trasduttori, risultano integri ed in grado di fornire dati attendibili.

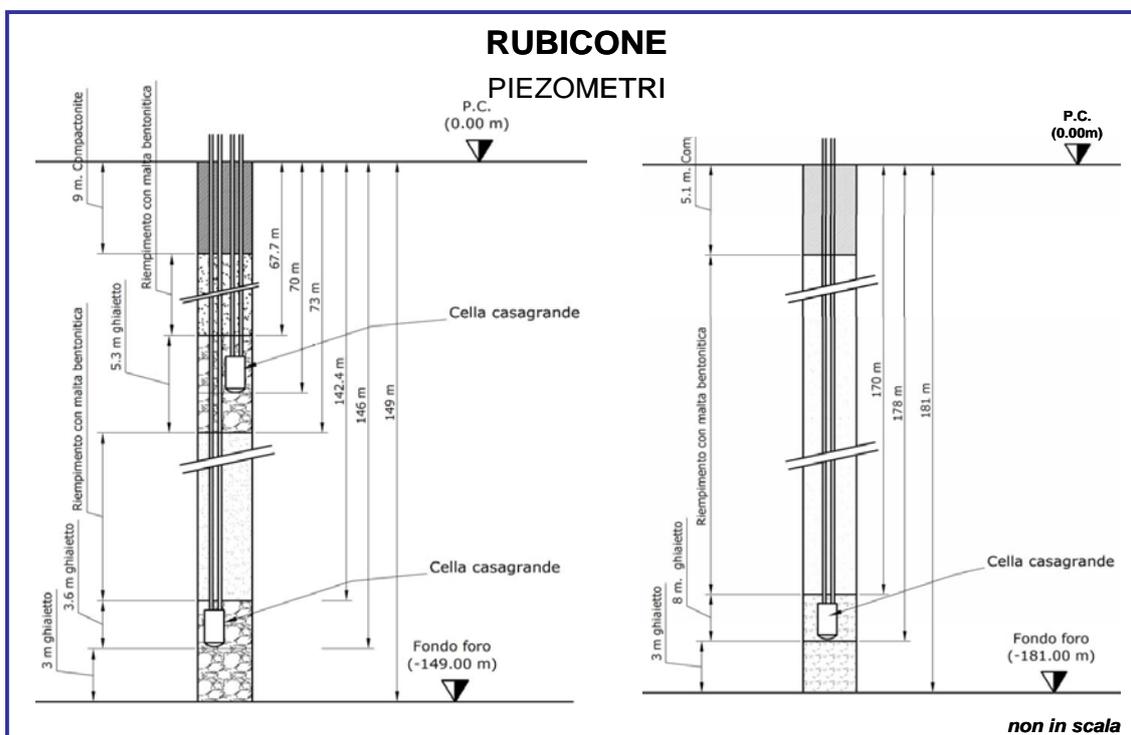


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

RUBICONE ASSESTIMETRO

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

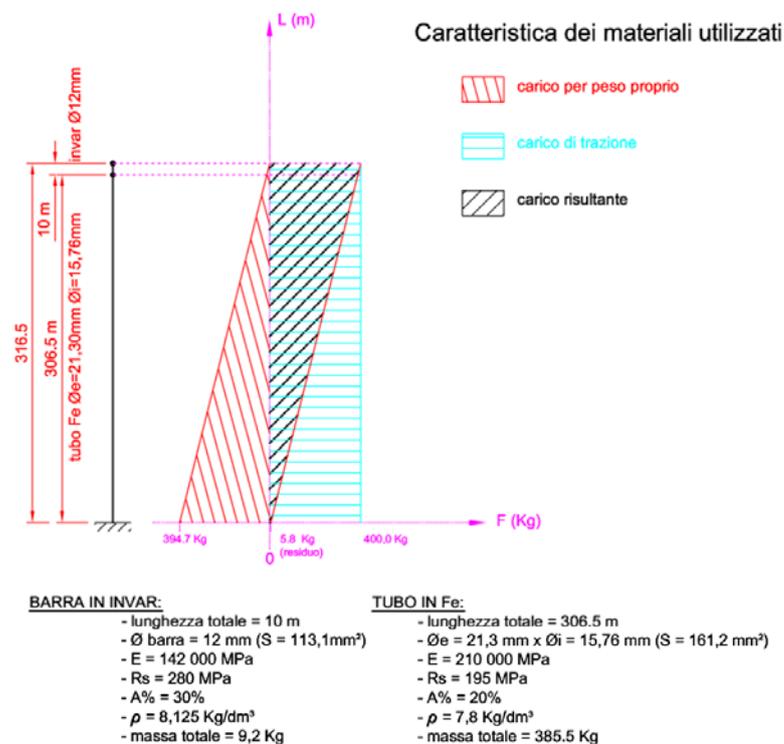


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

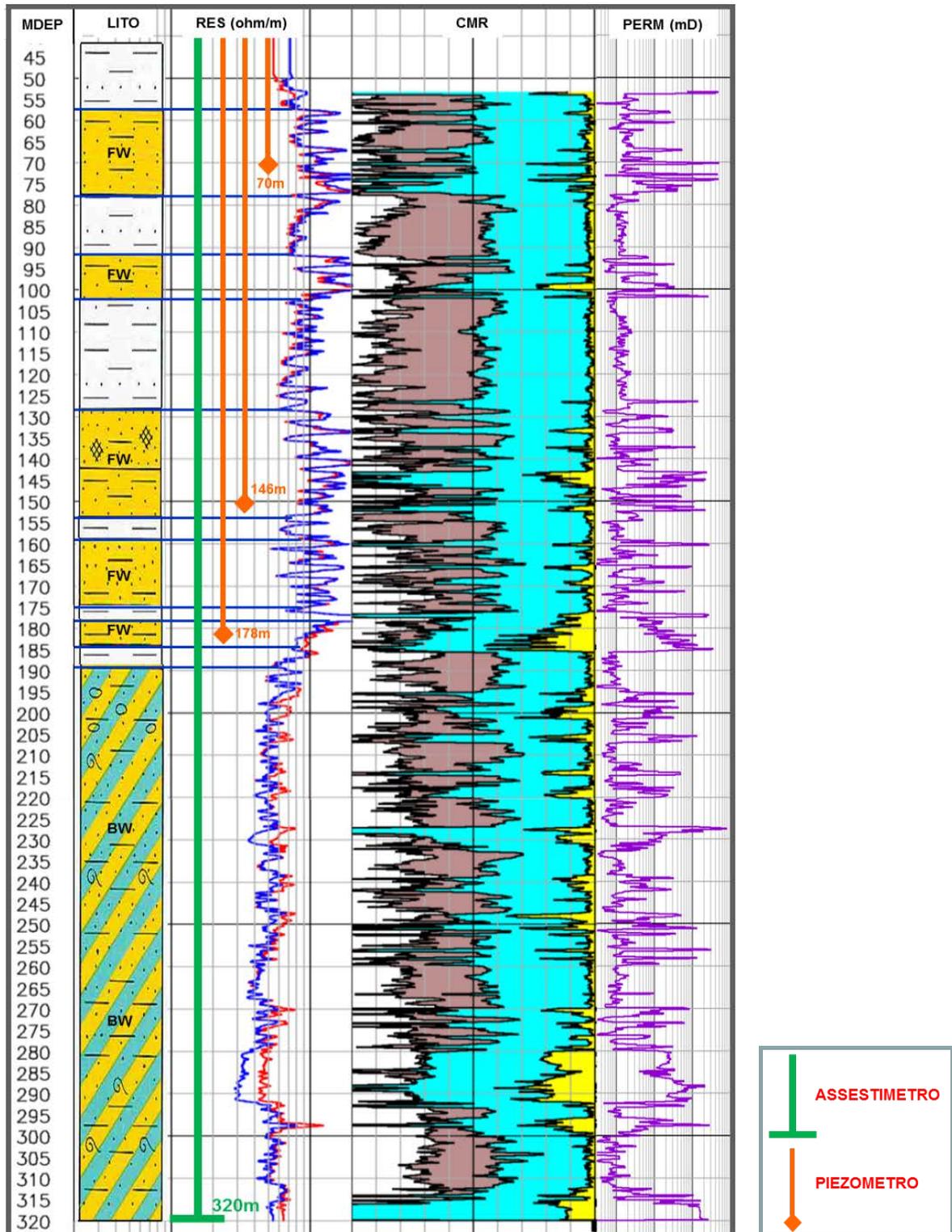


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone

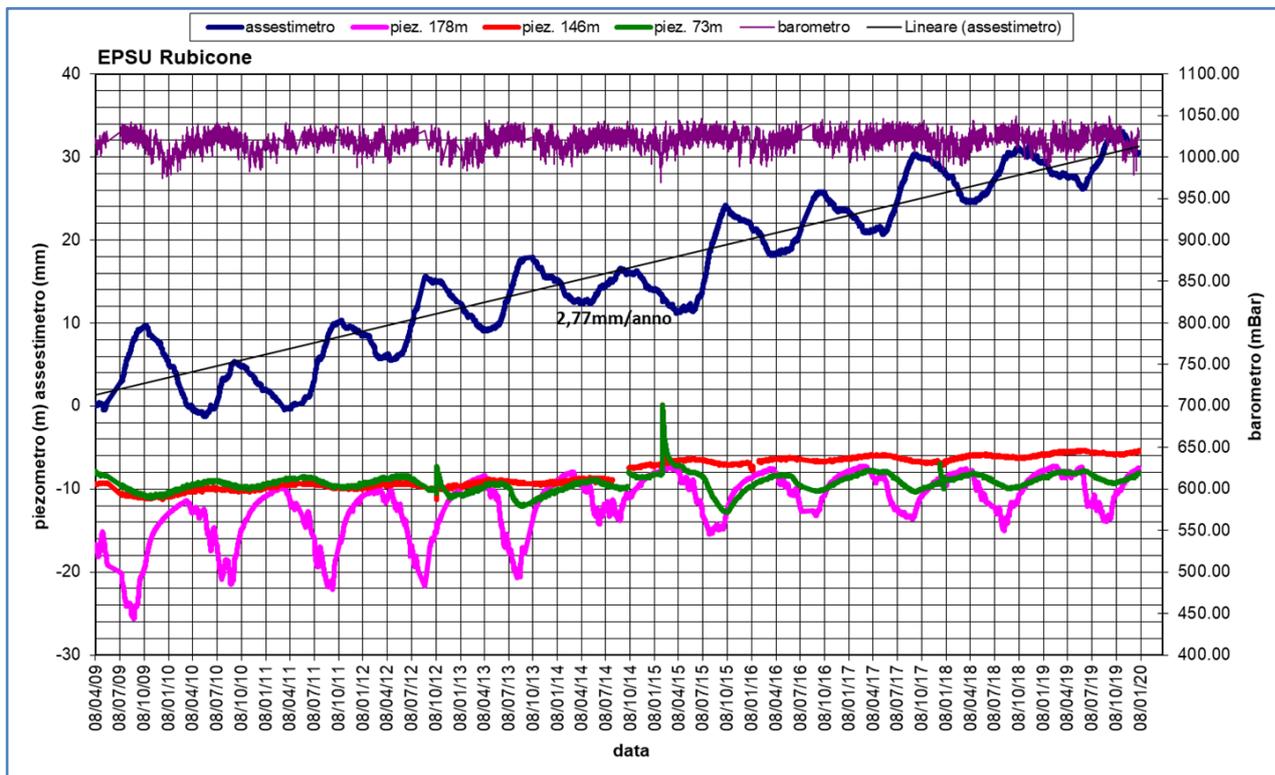


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestmetriche e barometriche

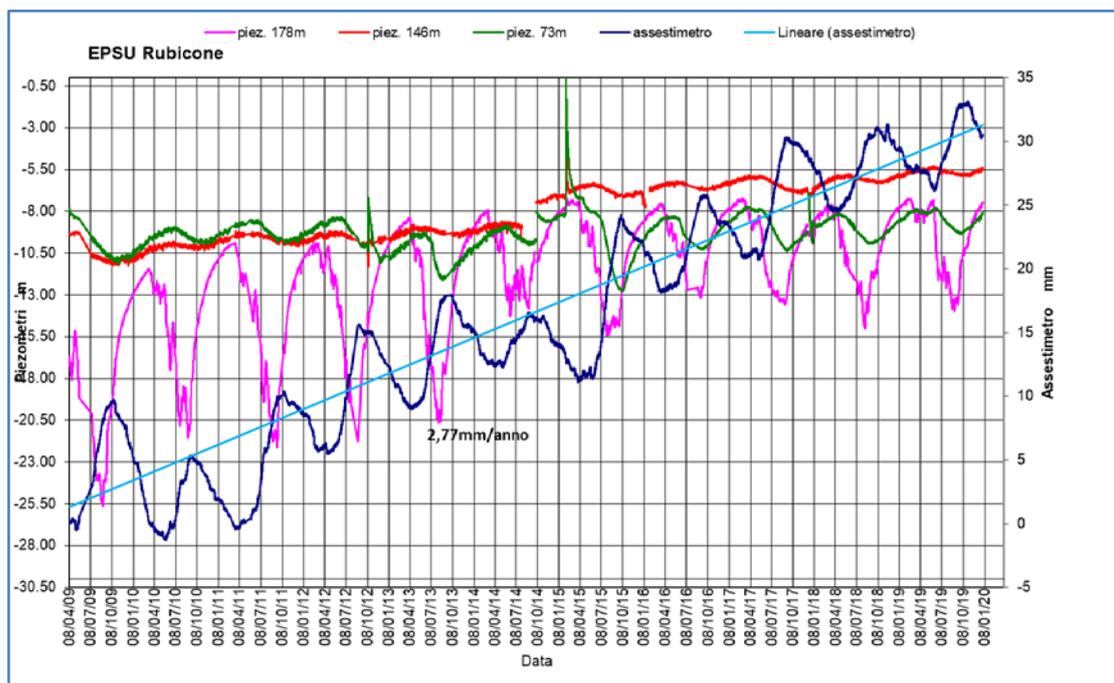


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche e assestmetriche.

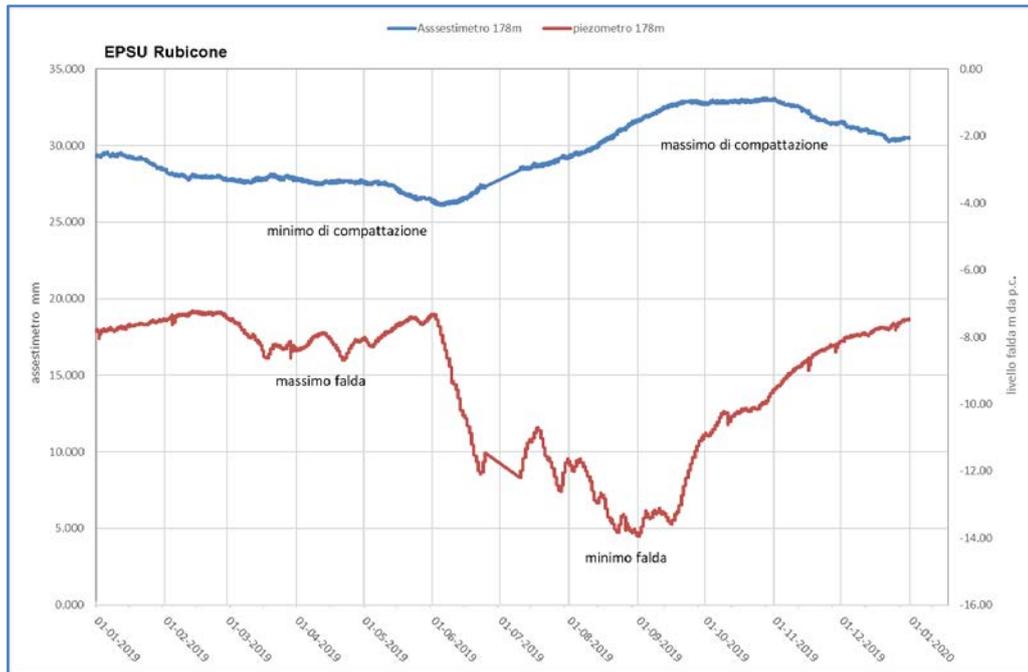


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

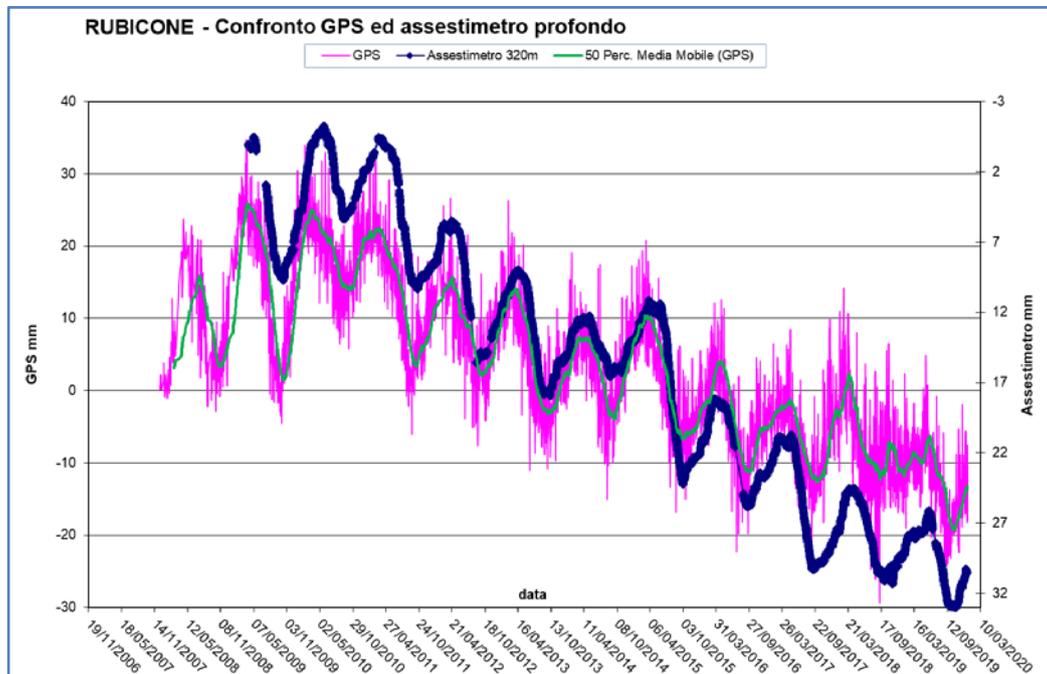


Figura 9B - Stazione EPSU di Rubicone: confronto misure CGPS vs. misure piezometrico-assestimetriche

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).

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 41 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

Stazione *EPSU* di FANO (installata ottobre 2008)

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

La stazione è ubicata, ad una altitudine di 13.5m s.l.m., a circa 4.5Km a SSE della città di Fano (PU), lungo la sponda sud (destra) del fiume Metauro a circa 2.5Km dal mare Adriatico ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Fano".

Strumentazione:

- assestimetro - 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 10B mentre la Figura 11B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. In 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 - 12/2019) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati, per tutto il 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in agosto e dicembre 2019.

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra la superficie (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (40.8 m da p.c.).

Nei grafici allegati (Figura 12B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici, nello stesso grafico è presente anche l'andamento della pressione atmosferica.

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 42 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

rica. 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. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi (diminuzione dei valori) 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 1.5 mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimetrica, inoltre, si correla bene con l'andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro posto a circa 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo dell'assestimetro nel misurare le compattazioni, 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 nei quattro/cinque mesi prima dell'anno precedente, ovvero intorno a metà settembre/ottobre.

Nel corso del 2019 (Figura 13B) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.87) a inizio anno è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva (metà luglio/inizio agosto), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (compattazione) nel periodo autunno-invernale.

Alla fine del 2019 l'assestimetro registra, quindi di nuovo, una compattazione di ca. 1 mm (0.86) con, una compattazione complessiva totale nell'anno nulla (Figura 13B).

Se si prendono in esame tutte le misure assestimetriche, registrate negli 11 anni e poco più (11.21) di osservazioni in questa stazione, queste ultime mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva pressoché nulla (-0.001 mm/anno da regressione lineare sui dati assestimetrici Fig.12B), a parte le variazioni cicliche stagionali.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato 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. 0.1 mm/a. A sua volta la velocità media di compattazione stimata con regressione lineare dei dati della serie assestimetrica è praticamente nulla

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 43 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

(0,001 mm/a). L'esame comparato delle due serie di misure assestometriche e da CGPS (Figura 14B) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare, la curva assestometrica sembra essere ritardata di ca. 4-5 mesi rispetto a quella del CGPS. 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 assestometrica e CGPS mostrano una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestometrica si presenta, però, sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 12B e Figura 13B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 11B) 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 nel registrare in superficie i movimenti d'espansione o contrazione degli strati di terreno causati dalle variazioni del livello d'acqua nella falda (sollevamento del terreno in coincidenza dei massimi della 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 14B):

- 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 12B) 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, con cui sono state correte le piezometrie.

L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casa-grande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 7 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 per il 2019 nei mesi di agosto e dicembre.

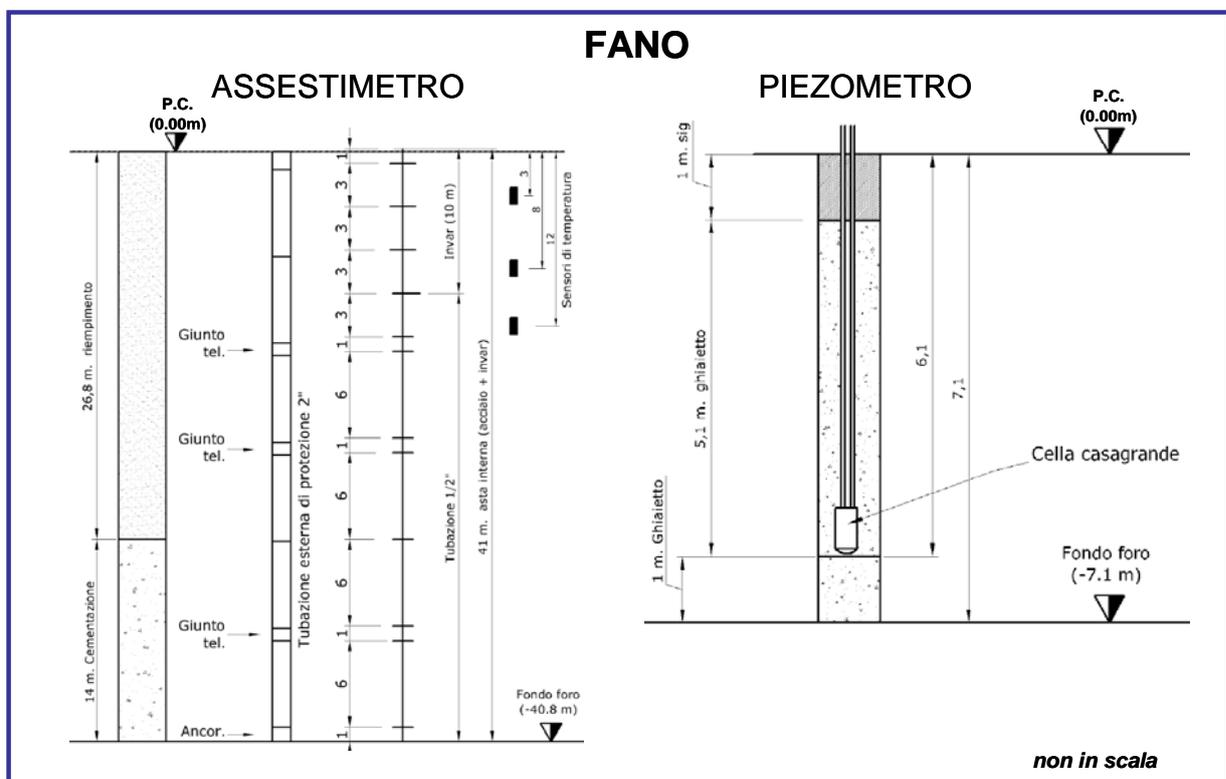


Figura 10B - Stazione EPSU di Fano

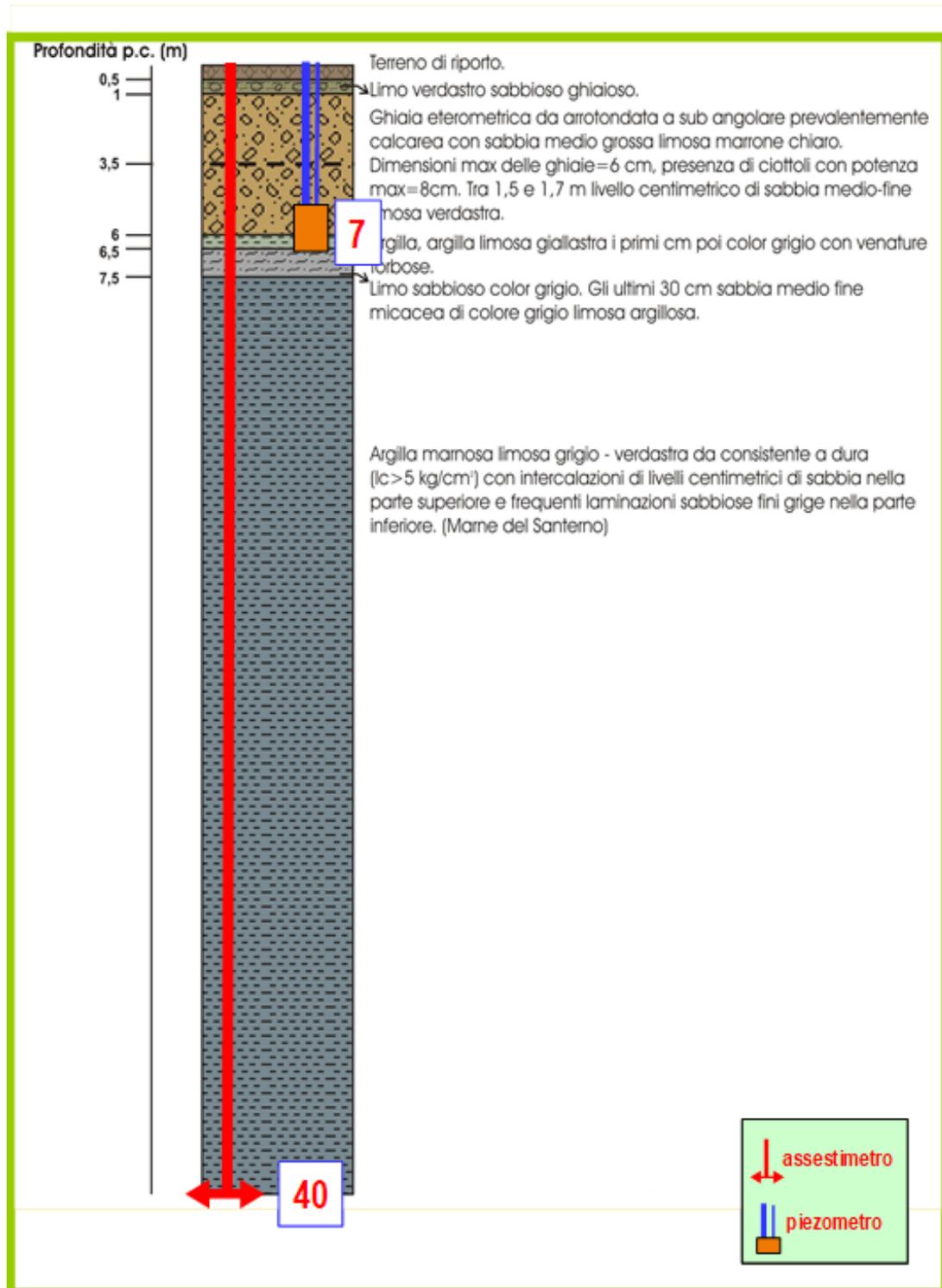


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

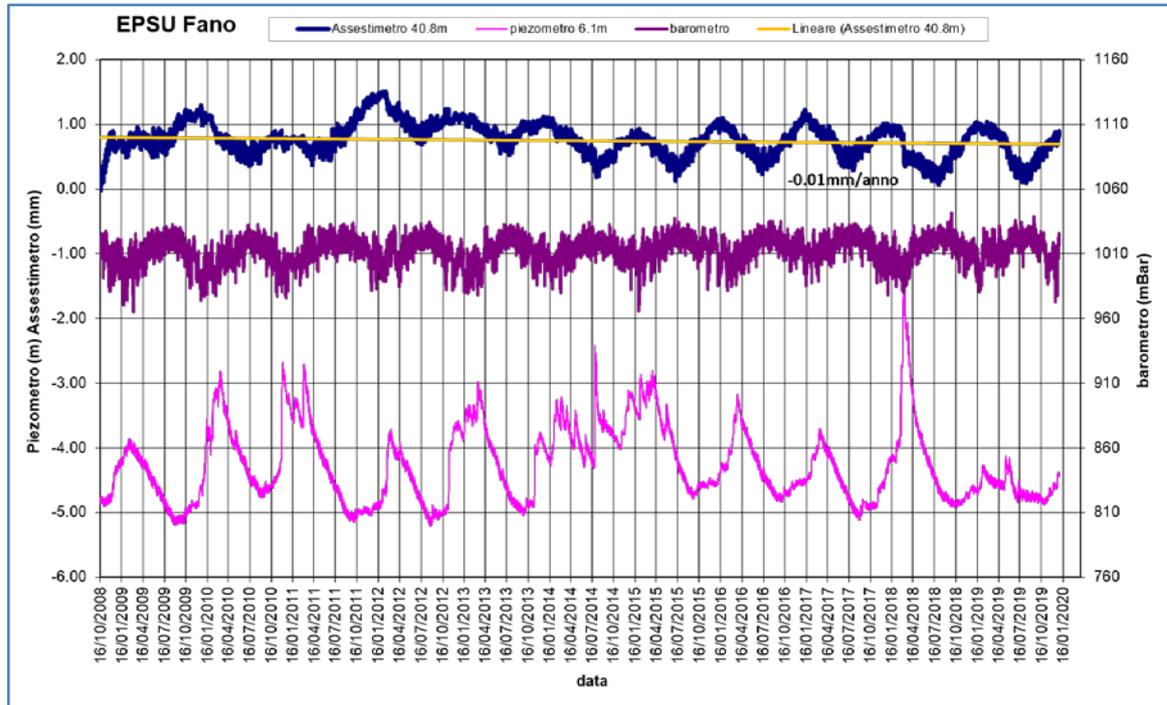


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

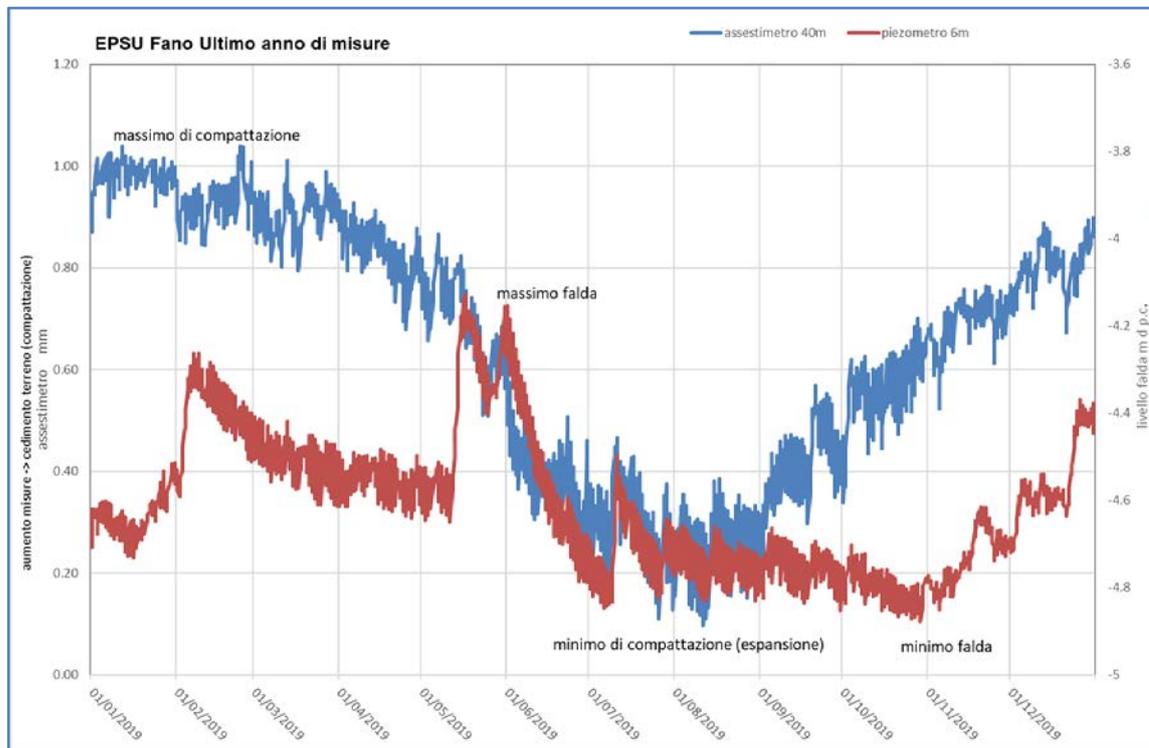


Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

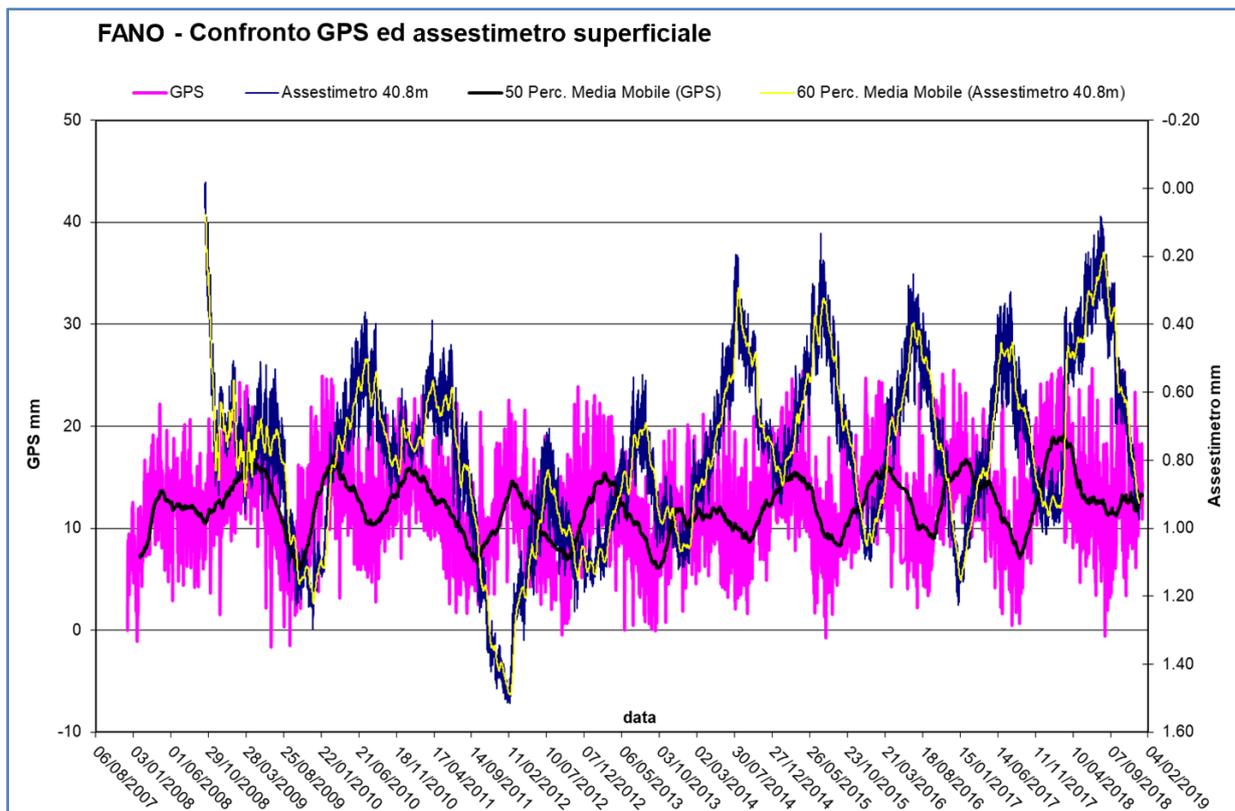


Figura 14B - Stazione EPSU di Fano: confronto fra misure CGPS vs. misure piezometrico-assestimetriche

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).

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 48 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata ottobre 2008)

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

La stazione è ubicata, ad una altitudine di 3.5m s.l.m., a circa 750m a sud-ovest della località Marina di Rocca Priora e dal mare Adriatico, lungo la sponda nord (sinistra) del fiume Esino ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Falconara".

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 15B, mentre la Figura 16B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

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.

Nel 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in agosto e dicembre 2019.

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 49 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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 e della pressione atmosferica (Figura 17B). I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e.: espansione) degli strati di terreno monitorati. Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio stagionale molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua, a 21m di profondità, registrate dal piezometro nell'ultimo anno (Figura 18B).

L'assestimetro, 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 assestimetriche risulta, infatti, pari a ca. -0.1 mm/a (ovvero minima compattazione 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, assestimetrica e CGPS (Figura 19B), 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 -0.3 mm/a (ovvero leggerissimo abbassamento della superficie del suolo).

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico (Figura 19B):

- 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

Il grafico di Figura 17B oltre ai dati assestimetrici 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, utilizzato anche per correggere le piezometrie.

Nel caso di Falconara il livello della falda è risultato molto alto, circa 1.3 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Nel 2019 è stata effettuata la manutenzione ordinaria delle apparecchiature nei mesi di agosto e dicembre. In tutte le occasioni si è misurato manualmente con freatimetro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori. Le differenze riscontrate sono risultate sempre molto piccole, dell'ordine di 2-3 cm, per cui i piezometri sono da considerarsi affidabili e funzionanti.

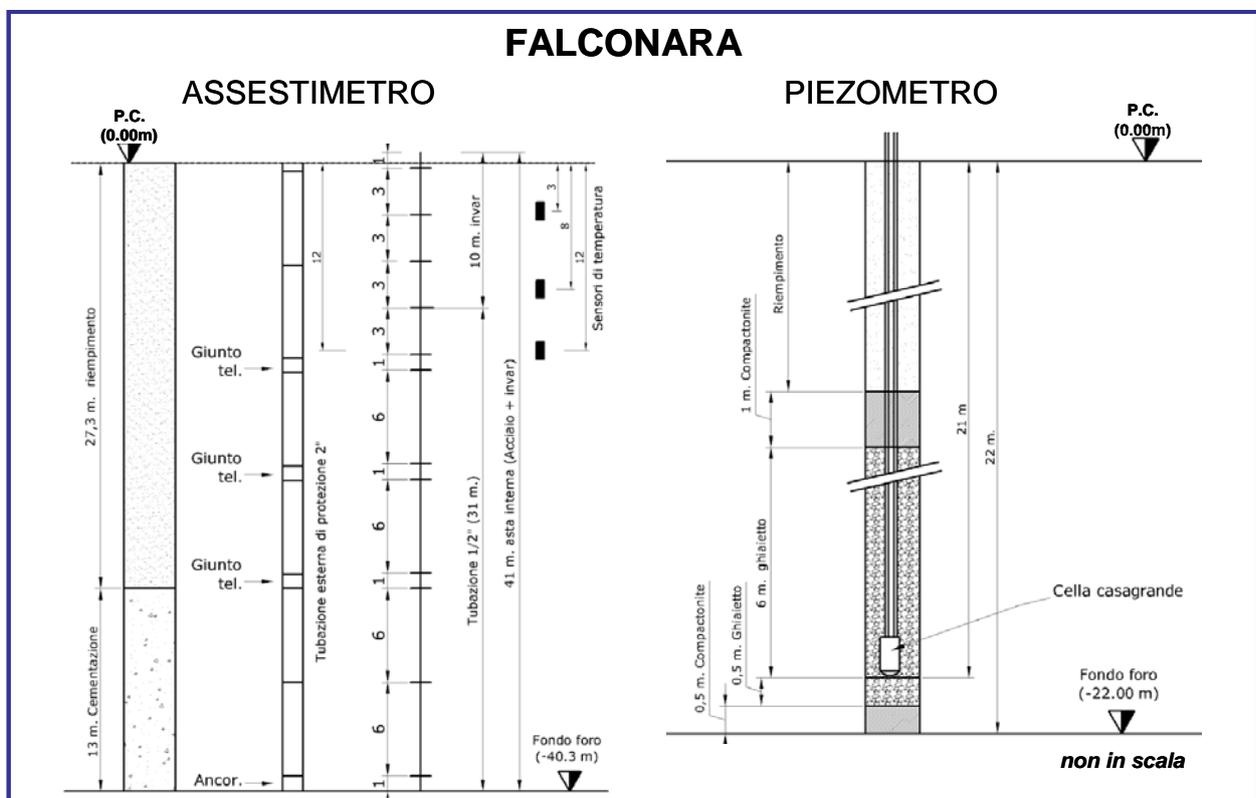


Figura 15B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

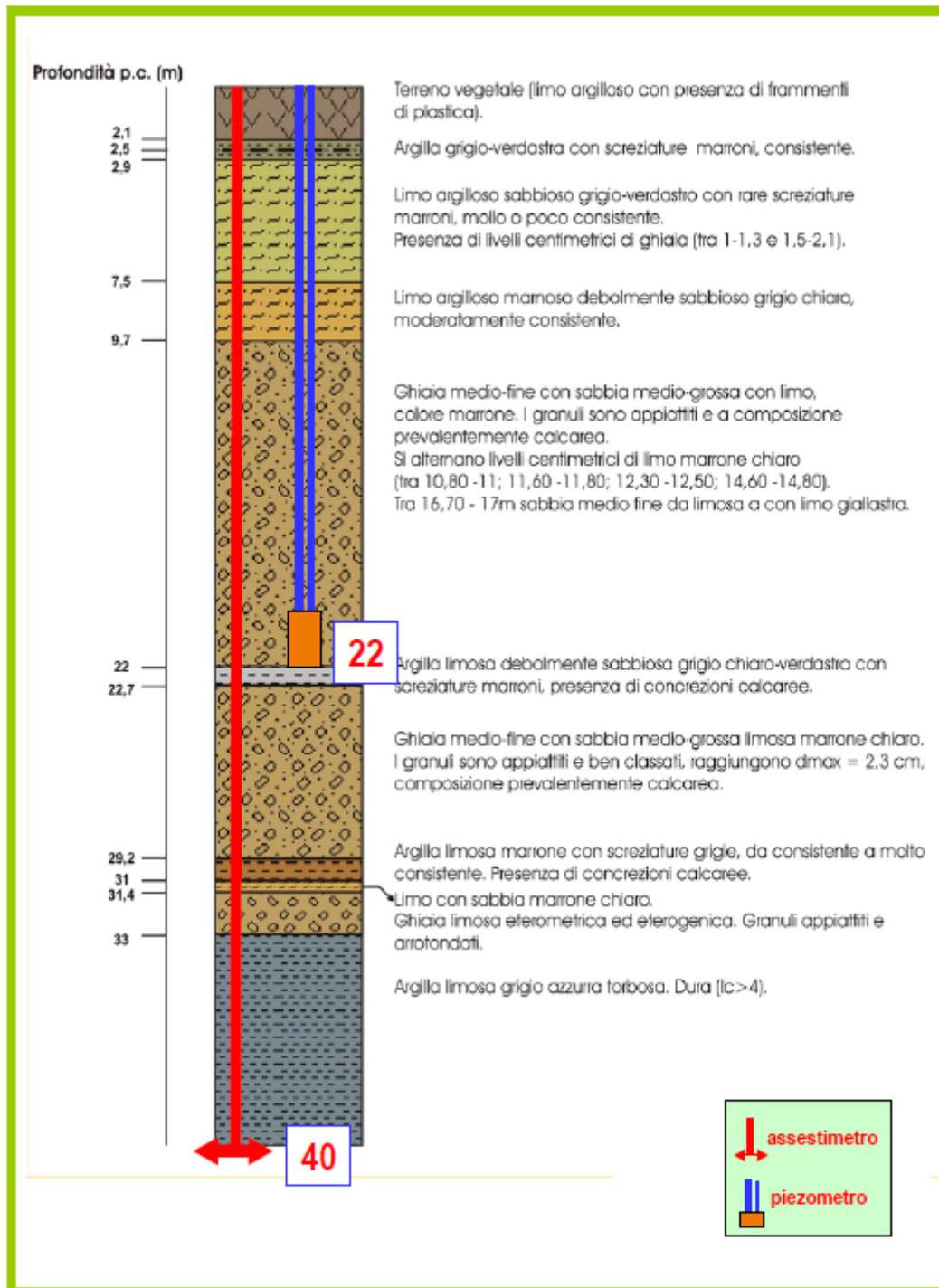


Figura 16B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

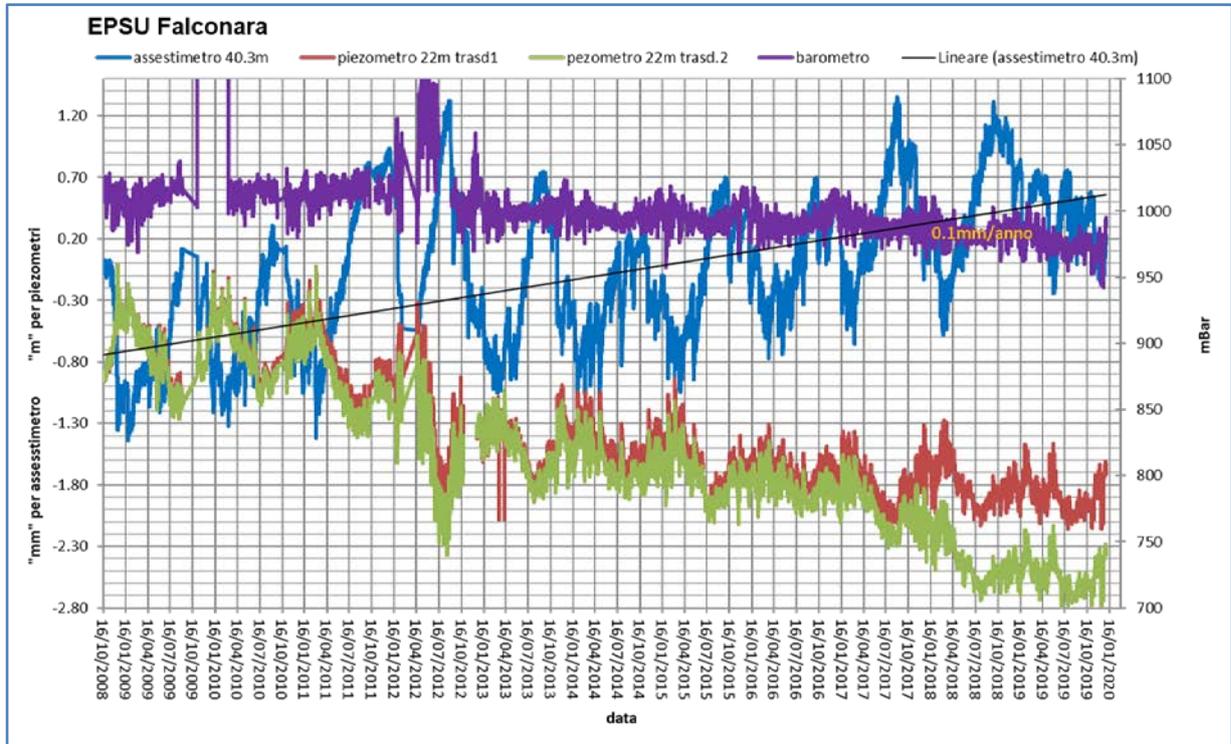


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

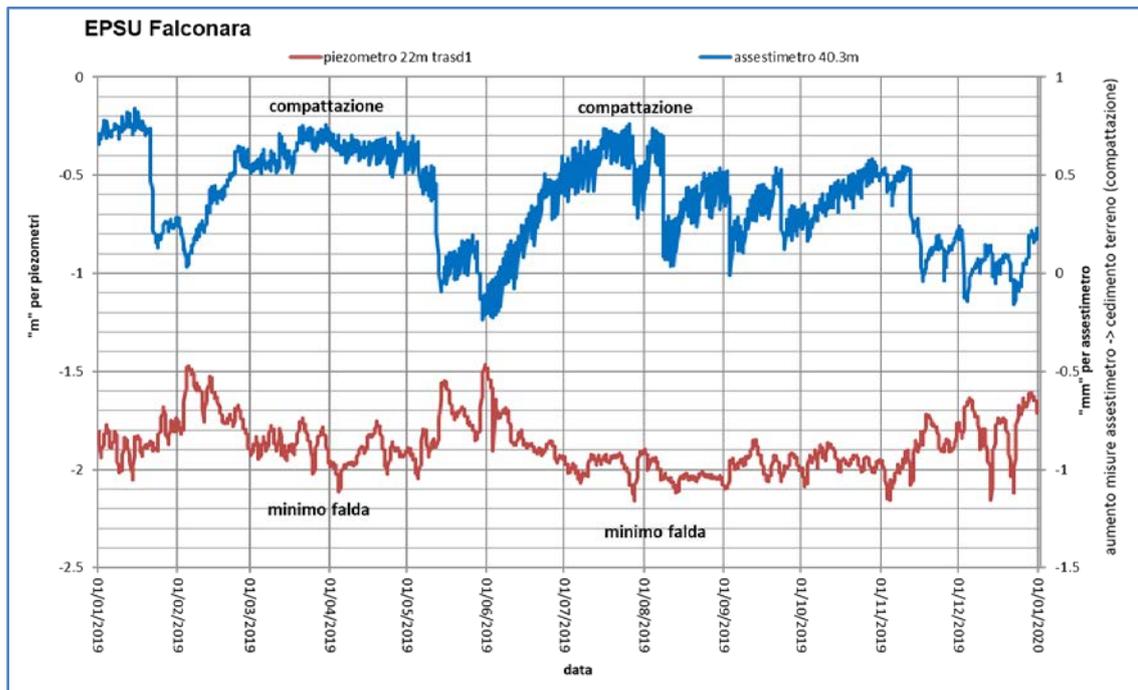


Figura 18B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

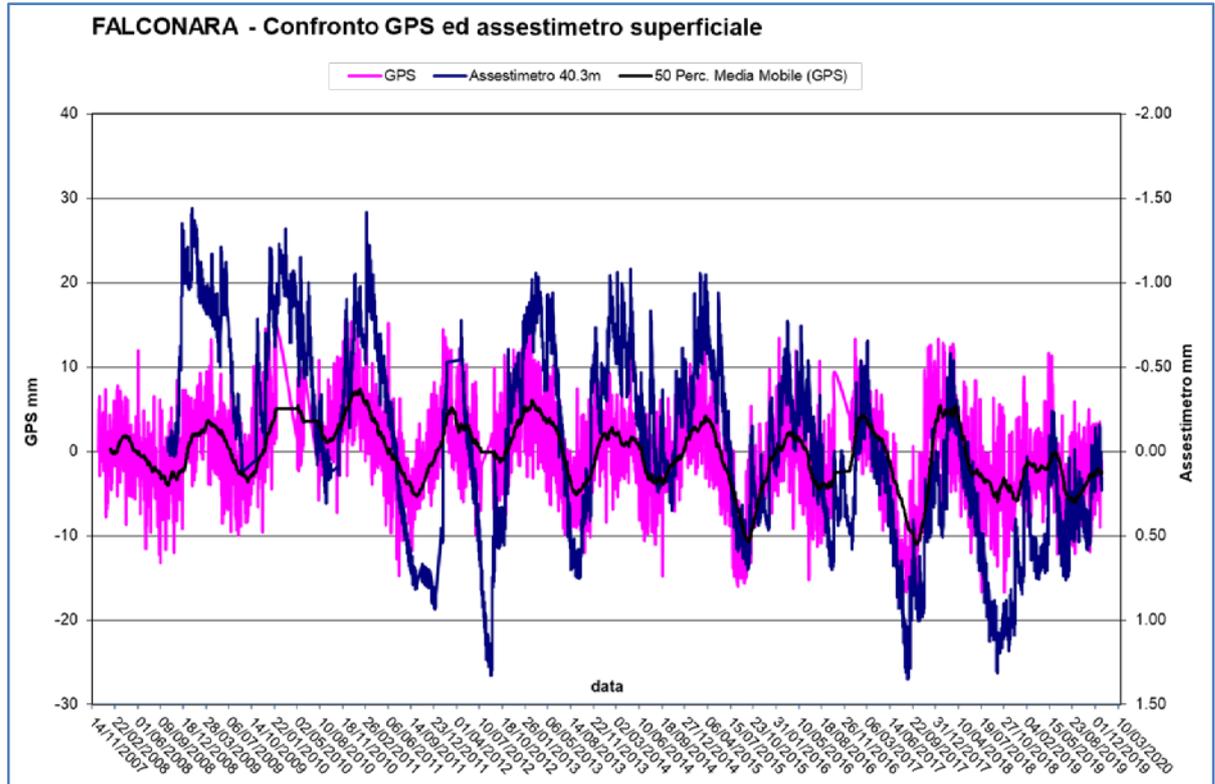


Figura 19B - Stazione EPSU di Falconara: confronto misure CGPS vs. misure piezometrico-assestimetriche

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).

| | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di FAUZIA ottobre 2020 | Documento GEODCS_REL2020_FAU | Page - 54 - of 55 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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 (contrazioni del terreno), infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno dopo circa 1 / 1.5 mesi dai minimi livelli di falda; 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 avvenuti nei mesi precedenti. 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 2019, dopo 10.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 30.5 mm, che con un semplice calcolo equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 2.8 mm/a. Tale valore resta più o meno uguale, circa 2.77 mm/a, se si elaborano i dati delle misure assestimetriche con una 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 all'interno di uno strato argilloso spesso circa 32 m e scarsamente comprimibile, lo strumento, infatti, nei circa 11 e più anni (11.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.86mm). A tale spessore di litologia argillosa si potrebbero imputare i ritardi nella compattazione espansione del terreno rispetto all'escursione della falda freatica monitorata.

La tabella che segue riporta, per ciascuna stazione, la compattazione complessiva del terreno



al 31/12/2019 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2019 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. 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 (valori piccolissimi). 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 | 10.73 | 30.5 | 2.84 | n.i. | - |
| Fano | 11.21 | n.i. | - | 0.86 | n.v. |
| Falconara | 11.21 | n.i. | - | 0.18 | n.v. |

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile