

|  |                                    |                                 |                  |
|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni spa | Campo di ANNALISA<br>novembre 2021 | Documento<br>GEODCS_REL2021_ALS | Page - 1 - of 62 |
|--|------------------------------------|---------------------------------|------------------|

## Campo di ANNALISA

Aggiornamento al 31/12/2020

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

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

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse in direzione NW-SE e si estende per una superficie di circa 4.2 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra i 2300 e 3400 m slm e interessa 52 livelli della serie PL3 della Formazione P.to Garibaldi (Figura 2).

Il campo è stato scoperto nel 1984 con il pozzo Annalisa 1; in seguito nel 1985 è stato perforato il pozzo di *appraisal* Annalisa 2 per meglio definire l'assetto della struttura. Nel novembre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Annalisa e la posa del relativo sealine di collegamento. Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione, ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse*) del marzo 1997 che stimava riserve a vita intera pari a 1659 MSm<sup>3</sup> producibili in 8 anni con un picco di produzione giornaliera di 1000 kSm<sup>3</sup>/g.

La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è stata stimata in 3.2 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 1.6 km verso la costa. Per tale previsione sono stati utilizzati i parametri geomeccanici che con le informazioni disponibili a tale data, venivano considerati come più rappresentativi del comportamento della formazione. In particolare:

- comprimibilità uniassiale  $C_m = 0.367 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0.33$ .

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 2 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

In seguito al Decreto VIA n° 3547 del 07/01/99 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo maggio-dicembre 1999 si è sviluppato il campo perforando tre nuovi pozzi (Annalisa 3, Annalisa 4 e Annalisa 5) da una piattaforma di tipo BEAF.

La produzione di gas è iniziata nel marzo del 2000 con una portata di circa 900 kSm<sup>3</sup>/g che, però, è rapidamente declinata.

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

Con tale revisione (aprile 2005) non solo si è aggiornato il valore del GOIP che è risultato in diminuzione (*GOIP studio statico del marzo 1998 pari a 3091 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico dell'aprile 2005 pari a 2440 MSm<sup>3</sup>*), ma, soprattutto, si è potuto meglio calibrare il meccanismo di produzione, evidenziando una spinta dell'acquifero con conseguente sostegno della pressione nei singoli livelli messi in produzione. Ciò ha comportato una riduzione pari a circa il 46% delle riserve producibili a vita intera dal campo. Il nuovo profilo di produzione ha previsto, infatti, il recupero in 15 anni di 890 MSm<sup>3</sup> con una graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale di acqua prodotta.

Nel maggio 2008 si sono di nuovo aggiornati i modelli statico e dinamico del campo di Annalisa (*Studio di giacimento - Nota Tecnica "Proposta pozzi di infilling" del maggio 2008 - rel. Eni-INPE n° 52-08*) allo scopo d'ottimizzarne la coltivazione e valutarne le residue potenzialità minerarie. Il nuovo valore del GOIP è stato di 2637 MSm<sup>3</sup>, con un incremento di circa il 10% rispetto alla stima dell'aprile 2005. Le riserve producibili in 21 anni sono a loro volta aumentate di circa 84% rispetto alla valutazione precedente, risultando pari a 1636 MSm<sup>3</sup>. Tale aumento è riconducibile sia ad una rivalutazione delle riserve associate ai completamenti esistenti, sia al progetto di porre in produzione livelli mineralizzati non ancora sviluppati. Tale progetto è stato realizzato nel 2009 con la perforazione del nuovo pozzo Annalisa 6dir e l'esecuzione di due *side-track* dai pozzi Annalisa 3dir e Annalisa 5dir.

Nel maggio 2014 si sono rivisti gli studi statico e dinamico sia del campo di Annalisa, sia di quello di Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella - Studio di giacimento - rel. GISE n°13-*

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 3 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

14 - ottobre 2014"). I due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi.

Nei nuovi modelli di giacimento di Annabella e di Annalisa si è tenuto conto dei dati storici di produzione sino ad aprile 2014, onde valutare ancora le residue potenzialità minerarie di detti campi e, inoltre, individuare interventi mirati ad aumentarne il fattore di recupero finale.

In base ai risultati di questa revisione è stato perforato un *side-track* (Annalisa 4dirA) sul pozzo Annalisa 4dir, che ha dato risultati superiori alle attese quanto a performance produttiva. Nel corso del 2015, infatti, tale *side-track* ha inizialmente erogato 280 KSm<sup>3</sup>/g di gas contro i 160 KSm<sup>3</sup>/g previsti da modello *Eclipse*.

Il nuovo valore del GOIP per il campo di Annalisa è stato valutato in 3966 MSm<sup>3</sup>, con un incremento di circa il 50% rispetto alla precedente stima del maggio 2008. Sempre per il campo di Annalisa, le riserve a vita intera sono a loro volta aumentate di circa 23%, risultando pari a un volume di 2012 MSm<sup>3</sup> di gas producibile al 2023.

Nel novembre 2018 si è nuovamente aggiornato il modello dinamico del campo di Annalisa - Annabella ("*Campi di Annalisa e Annabella – Aggiornamento modello dinamico 2016 – Scheda riassuntiva - rel. REIT/EORG n°RDR IPET – E5149F94-0 - novembre 2018*"). Anche in questo caso i due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi. Scopo del nuovo aggiornamento è stato quello di aggiornare il modello con i nuovi dati produttivi e di pressione fino a febbraio 2018, di valutare il potenziale produttivo residuo e di fornire un modello di giacimento aggiornato da utilizzare per l'aggiornamento del modello geomeccanico FEM del 2014. Nel nuovo aggiornamento le riserve a vita intera del campo di Annalisa (caso DN - Do Nothing) sono state ridotte da 2012 MSm<sup>3</sup> al 2023 a 1953 MSm<sup>3</sup> al 2021.

Nella Figura 3 è riportato l'andamento storico della portata di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g). Nella Figura 4, Figura 5 e Figura 6 è riportato, invece, il confronto tra la produzione reale (annuale e cumulativa) e quella prevista dal modello *Eclipse* 2018. Al 31/12/2020 la produzione cumulativa del campo è di 1950 MSm<sup>3</sup>, pari al 100% delle riserve producibili.

In Figura 7 sono riportati per il campo di Annalisa sia i profili di pressione statica di giacimento calcolati con il modello *Eclipse* del novembre 2018 sia le pressioni statiche misurate nei livelli più rappresentativi (PL3-B10+B11, PL3-G+H, PL3-D4a+D4b, PL3-D4a+D4b+D5a+D5b).

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 4 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

Tale confronto mostra come, in generale, i valori calcolati dal modello siano in buon accordo con i dati misurati. In particolare, la ripressurizzazione registrata nel 2019 nei livelli PL3-D4a+D4b+D5a+D5b risulta superiore rispetto a quanto previsto dal modello.

Si ricorda che nel corso del 2020 l'emergenza sanitaria COVID-19, ha determinato pesanti ripercussioni sulle attività operative che sono state necessariamente ridotte e limitate a seguito delle opportune misure precauzionali adottate.

Eni, coerentemente con le disposizioni del DPCM del 08/03/2020, ha pienamente aderito al Protocollo condiviso di regolazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus COVID-19 negli ambienti di lavoro del 14 marzo 2020 (Protocollo), sottoscritto tra le Parti Sociali, su invito del Presidente del Consiglio dei Ministri, del Ministro dell'Economia, del Ministro del Lavoro e delle Politiche Sociali, del Ministro dello Sviluppo Economico e del Ministro della Salute, in attuazione del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri dell'11 marzo 2020. Con riferimento ai siti del Distretto Centro Settentrionale (DICS), tenuto conto delle specificità legate alla tipologia di produzione/attività ivi svolta e alle caratteristiche del luogo di lavoro, la Società ha adottato una serie di misure per il contrasto ed il contenimento della diffusione del virus COVID 19 negli ambienti di lavoro tra cui anche:

- riduzione del personale in presidio offshore e presso basi logistiche, garantendo la gestione in sicurezza delle attività produttive e la manutenzione di legge e correttiva;
- riorganizzazione dei turni, degli spazi operativi e delle modalità di accesso ai siti e alle piattaforme;
- sospensione delle attività rigless on/offshore;
- posticipo dell'inizio dei lavori nei cantieri on/off-shore già programmati su diversi siti, in aggiunta chiusura anticipata dei cantieri con attività differibile a data successiva.

A seguito di quanto sopra riportato, si è determinata l'impossibilità di acquisizione, per il 2020, delle misure di pressione in pozzo, così come comunicato via PEC con nota Eni prot. n.529 del 26.06.2020, poichè tali operazioni avrebbero comportato movimentazione di mezzi navali a tempo pieno, attrezzature per lavori in off-shore e personale contrattista dedicato, incompatibili con l'attuale fase emergenziale e con le disposizioni attualmente in vigore in termini di salute e sicurezza.

Si ritiene, comunque che la mancata acquisizione, dei dati di pressione in giacimento dovuta all'emergenza in corso, non comporti come detto criticità stante il buon accordo tra i valori di

pressione acquisiti sino al 2019 e quelli calcolati dal modello di giacimento più aggiornato (2018), a conferma dell'affidabilità predittiva del modello di giacimento utilizzato.

Già nel marzo 2009 è stata rivista la previsione iniziale di subsidenza, seguendo l'approccio modellistico e le metodologie di lavoro descritte nel provvedimento direttoriale del Ministero dello Sviluppo Economico del 20/03/08. Per tale nuova previsione, si sono considerati i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra il campo di Annalisa e il campo di Annabella data la loro vicinanza (7 km circa). La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "rel. Eni-TERA n° 02-09 del marzo 2009". Tali previsioni di subsidenza sono eseguite per tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato valutato assumendo un diverso valore (*Low*, *Medio*, *Up*) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione.

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

**Tabella 1 – Scenari di subsidenza**

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

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

Un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico (*rel. Eni-TERA n° 07-2014 del dicembre 2014*), che ha fatto seguito alla revisione degli studi statico e dinamico di giacimento dell'ottobre 2014 per i campi di Annalisa-Annabella, è stato fatto tenendo sempre conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra questi ultimi. Come nello studio del 2009, per le nuove previsioni di subsidenza si sono considerati tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato ottenuto assumendo un differente valore del coefficiente di compressibilità uniassiale (*Lower*, *Middle*, *Upper*) per i livelli soggetti a compattazione. Le simulazioni con

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

I principali risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 2.

**Tabella 2 - Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per i tre scenari considerati – aggiornamento modello 2014**

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

L'analisi di tali risultati consente di concludere che:

- il valore massimo di subsidenza è previsto verificarsi per tutti e tre gli scenari esaminati in corrispondenza del punto di coordinate 2366492 m E 4899497 m N, ed è pari a 4 cm per lo scenario *Lower*, 10 cm per lo scenario *Middle* (scenario più probabile e, quindi, assunto di riferimento) e 21 cm per lo scenario *Upper*;
- la distanza del cono di subsidenza dalla costa è sempre di circa 27 km per i tre scenari

Infine, nel dicembre 2018 è stato eseguito un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico a seguito dell'aggiornamento del modello dinamico di giacimento relativo ai campi di Annalisa e Annabella, effettuato con lo scopo di valutare quantitativamente la subsidenza indotta dall'attività estrattiva.

La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "rel. Eni-REIT n° IPET-33FC4D85-0 del dicembre 2018". La previsione di subsidenza è stata eseguita per tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato valutato assumendo un diverso valore (*lower*, *middle*, *upper*) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione. Una sintesi dei risultati ottenuti è presentata nella seguente Tabella 3.

**Tabella 3 - Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per i tre scenari considerati – aggiornamento modello 2018**

| Scenario | 1-gen-2018   |                     | 1-feb-2027   |                     | 1-gen-2057   |                     |
|----------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
|          | Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) |
| Lower    | 5            | 11                  | 6            | 11                  | 6            | 12                  |
| Middle   | 7            | 12                  | 9            | 13                  | 9            | 14                  |
| Upper    | 11           | 13                  | 13           | 14                  | 13           | 14                  |

L'analisi dei risultati consente di osservare che il valore massimo di subsidenza per lo scenario di riferimento (Middle) è pari a 9 cm al 2027 e che il fenomeno si esaurisce a circa 27 Km dalla linea di costa per tutti e tre gli scenari considerati (Figura 8 e Figura 9).

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, 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 l'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

La rete di livellazione rilevata nel 2020 (ultimo rilievo eseguito), integrata nel 2017 con l'aggiunta dell'area del campo di Agosta, 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 1230 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 230 km di sviluppo lineare;

|   |  |   |                         |
|---|--|---|-------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 8 - of 62</p> |
|---|--|---|-------------------------|

- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 200 km di sviluppo lineare.

Le operazioni di campagna si sono svolte nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2020 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell'ente certificatore.

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.

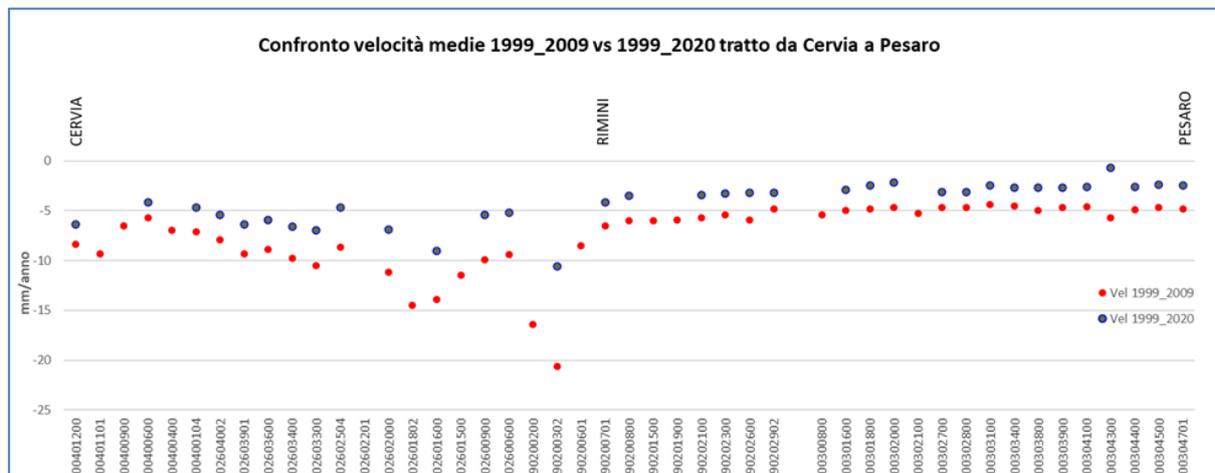
Si ritiene opportuno sottolineare, inoltre, che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine 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, includendo la campagna del 2020, 14 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in seguito a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

Il grafico che segue (figura A), riporta per confronto le serie storiche 1999-2009 e 1999-2020 e consente di apprezzare graficamente come, nel corso degli anni, si sia registrata una generale diminuzione delle velocità di subsidenza che, mediamente, salvo punte localizzate di maggiore valore, si attesta intorno ai 2 mm/anno.

**Figura A –Tratto Cervia - Pesaro: velocità medie di subsidenza nei periodi 1999-2009 e 1999-2020**



Come programmato in precedenza, l'ente certificatore ha continuato, anche con questa campagna, ad effettuare 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, come riportato già nelle precedenti relazioni.

I risultati del rilievo 2020 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  $V_a^1$  di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

<sup>1</sup> 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.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 10 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

- 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).

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2009 mostra per l'area in esame un quadro di generale abbassamento di questo tratto di costa: il 31% dei punti ricade nella classe 2, il 54% nella classe 3 e il 15% nella classe 4.

Nel periodo 1999-2020 la distribuzione delle velocità secondo la classificazione proposta, mostra che il 35% dei punti si colloca nella classe 1, il 32% dei punti si colloca nella classe 2, il 30% nella classe 3 e solo il 3% dei punti si colloca nella classe 4, confermando, anche da questo punto di vista il generale trend di diminuzione delle velocità di subsidenza precedentemente descritto.

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2023), 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 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 2020) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 10).

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

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 11 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

(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 un basamento 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, 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, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Annalisa, certificati fino al 2018 e in fase di certificazione per gli anni successivi, sono stati elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS. Si segnala che la serie storica di misure CGPS presenta un'interruzione a dicembre 2014 a causa di lavori di *work-over* in piattaforma e di un guasto della strumentazione di misura, che non hanno permesso l'acquisizione di dati nel 2015 e nella prima parte del 2016.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2020 (Figura 11), sono stati utilizzati in questa relazione i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 4.

**Tabella 4 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2018**

| Stazione | Dati Non Certificati |                |                | Dati Certificati |                |               | Delta (Non Cert.- Cert.) |             |             |
|----------|----------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|---------------|--------------------------|-------------|-------------|
|          | Vel.-N<br>mm/a       | Vel.-E<br>mm/a | Vel.-H<br>mm/a | Vel.-N<br>mm/a   | Vel.-E<br>mm/a | Vel.H<br>mm/a | D-N<br>mm/a              | D-E<br>mm/a | D-H<br>mm/a |
| Annalisa | 17.99                | 21.33          | -3.96          | 18.05            | 21.26          | -3.65         | -0.06                    | 0.07        | -0.31       |

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 a un confronto diretto dei valori attesi da modello vs. i valori misurati.

In generale:

- dataset < 12 mesi: solo *follow up* per monitoraggio dei dati acquisiti;
- dataset di 12÷36 mesi e
  - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
  - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 13 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

- 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). 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.

Per il campo di Annalisa, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare (al 8/02/2020) una velocità media di subsidenza totale<sup>2</sup> pari a -3.50 mm/a (Figura 11), sostanzialmente invariata rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-3.43 mm/a nel 2019).

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED – Fast Elbow Effect Detector), creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche GNSS per rilevare variazioni di velocità, nell'ambito della serie storica dei dati CGPS disponibile è, inoltre, possibile individuare (modello empirico), alcune variazioni di velocità correlabili con la storia produttiva del campo (Figura 12, Figura 13).

In particolare:

- periodo che va dall'installazione del CGPS fino a settembre 2014, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -5.38 mm/a;
- periodo settembre 2014 – febbraio 2020, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -0.78 mm/a, mostrando di fatto un esaurimento quasi totale del fenomeno.

---

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

|  |   |                                 |                   |
|--|---|---------------------------------|-------------------|
|  | Eni spa<br>Campo di ANNALISA<br>novembre 2021 | Documento<br>GEODCS_REL2021_ALS | Page - 14 - of 62 |
|--|---|---------------------------------|-------------------|

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 2018 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS (aggiornati al 08/02/2020), senza che questi ultimi siano stati deperati della componente di subsidenza naturale. Come si vede dalla Figura 14, le misure CGPS si collocano sullo scenario *Middle* (scenario medio di riferimento), confermando l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni hanno confermato come eventuali fenomeni di subsidenza connessi alla produzione di gas dal campo di Annalisa siano di piccola entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

Si segnala, infine, che:

- a) in Figura 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.

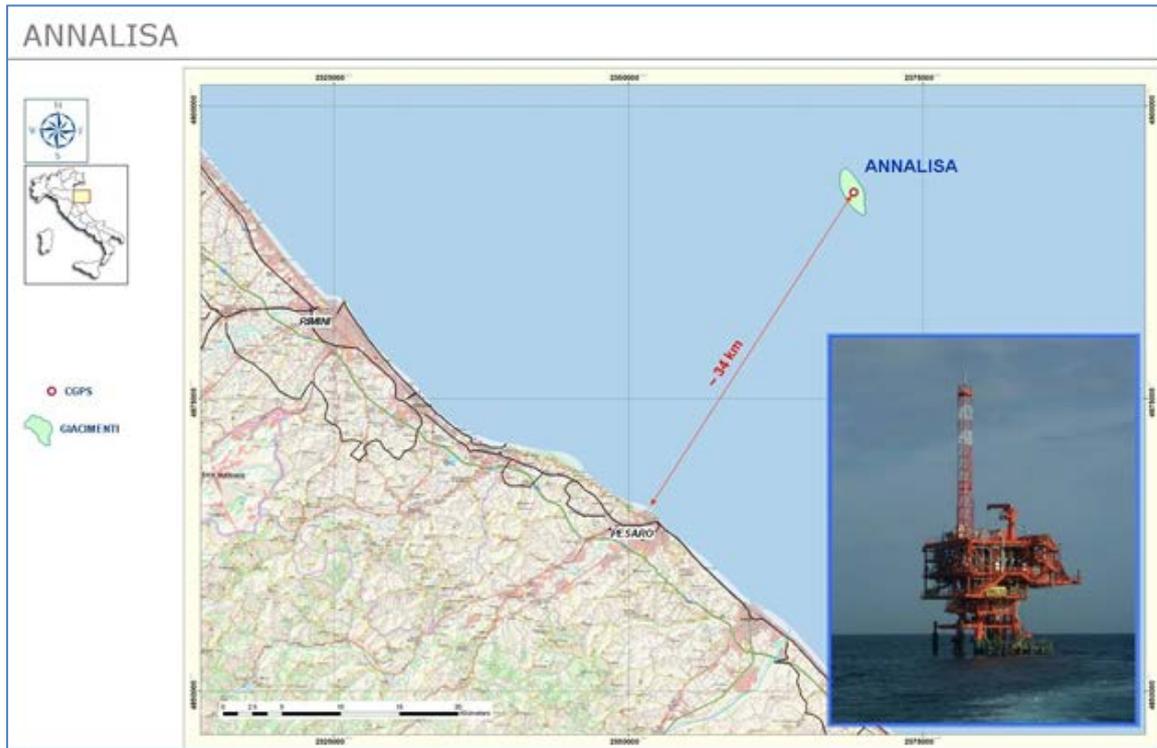


Figura 1 – Ubicazione del campo di Annalisa

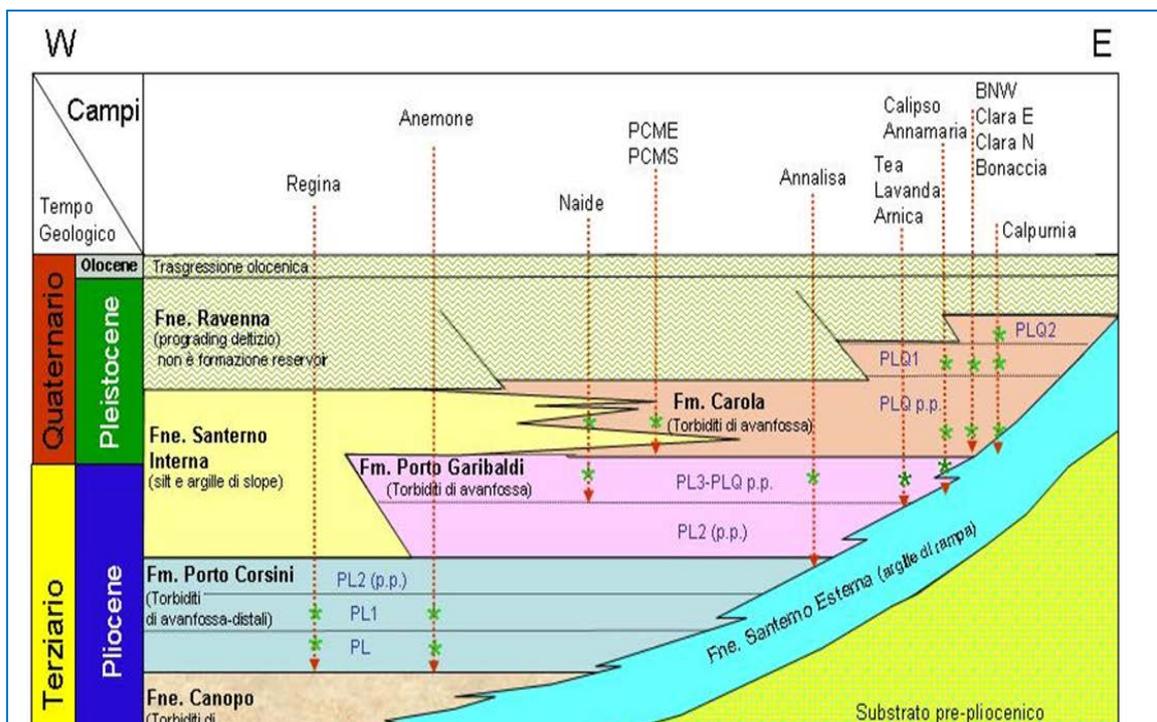


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

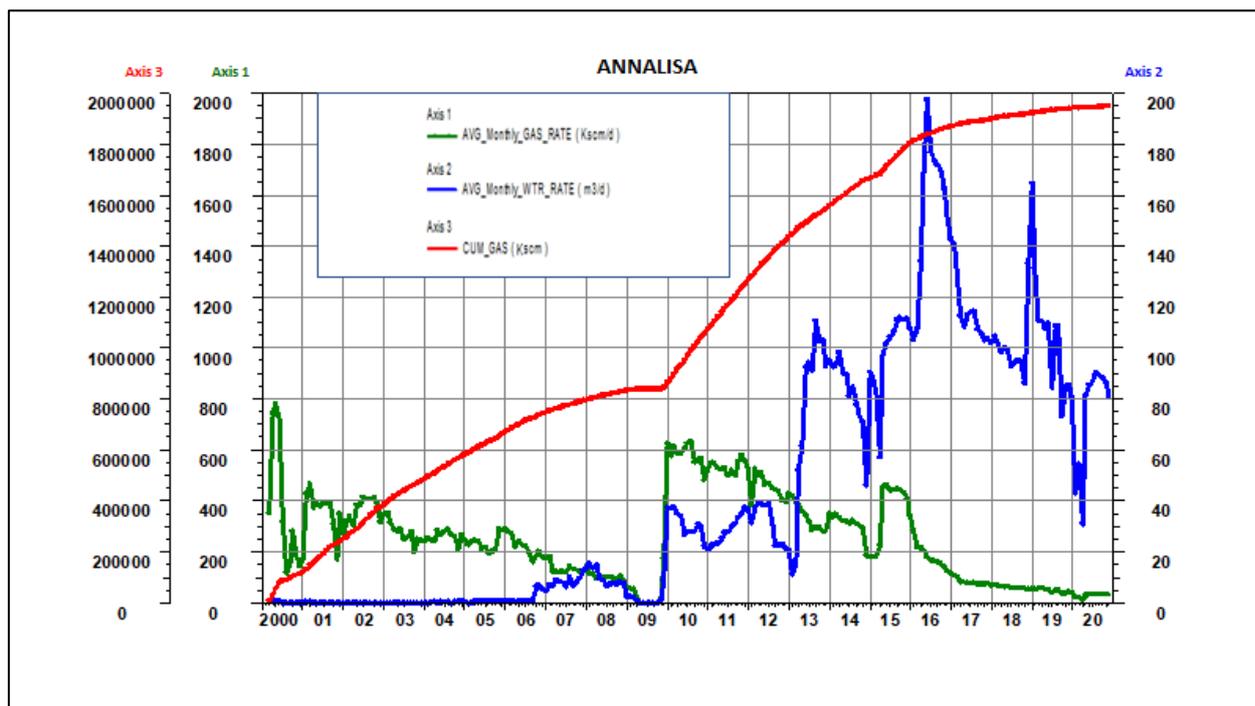


Figura 3 – Campo di Annalisa: produzione storica

| CAMPO DI ANNALISA |  |                    |   |                    |  |
|-------------------|--|--------------------|---|--------------------|--|
| ANNO              | Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> ) |                    | Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> ) |                    | Rapporto<br>Produzione reale vs<br>Riserve modello 3D<br>ECLIPSE |
|                   | Reale                                  | Modello 3D ECLIPSE | Reale                                     | Modello 3D ECLIPSE |  |
| 2000              | 116                                    | 116                | 116                                       | 116                | 6%   |
| 2001              | 128                                    | 128                | 245                                       | 245                | 13%  |
| 2002              | 133                                    | 133                | 378                                       | 378                | 19%  |
| 2003              | 103                                    | 103                | 481                                       | 481                | 25%  |
| 2004              | 96                                     | 96                 | 576                                       | 576                | 30%  |
| 2005              | 86                                     | 86                 | 663                                       | 663                | 34%  |
| 2006              | 82                                     | 82                 | 744                                       | 744                | 38%  |
| 2007              | 50                                     | 50                 | 794                                       | 794                | 41%  |
| 2008              | 39                                     | 39                 | 833                                       | 833                | 43%  |
| 2009              | 12                                     | 12                 | 845                                       | 845                | 43%  |
| 2010              | 214                                    | 214                | 1058                                      | 1058               | 54%  |
| 2011              | 195                                    | 195                | 1254                                      | 1254               | 64%  |
| 2012              | 168                                    | 168                | 1422                                      | 1422               | 73%  |
| 2013              | 124                                    | 125                | 1546                                      | 1547               | 79%  |
| 2014              | 114                                    | 111                | 1660                                      | 1658               | 85%  |
| 2015              | 132                                    | 132                | 1792                                      | 1790               | 92%  |
| 2016              | 73                                     | 74                 | 1865                                      | 1864               | 96%  |
| 2017              | 32                                     | 32                 | 1897                                      | 1896               | 97%  |
| 2018              | 24                                     | 24                 | 1920                                      | 1920               | 98%  |
| 2019              | 18                                     | 20                 | 1939                                      | 1940               | 99%  |
| 2020              | 12                                     | 9                  | 1950                                      | 1948               | 100%   |
| 2021              |  | 4                  |   | 1953               |  |
| 2022              |  |                    |   |                    |  |
| 2023              |  |                    |   |                    |  |
| 2024              |  |                    |   |                    |  |

Figura 4 - Campo di Annalisa: produzioni reali e da modello *Eclipse* 2018

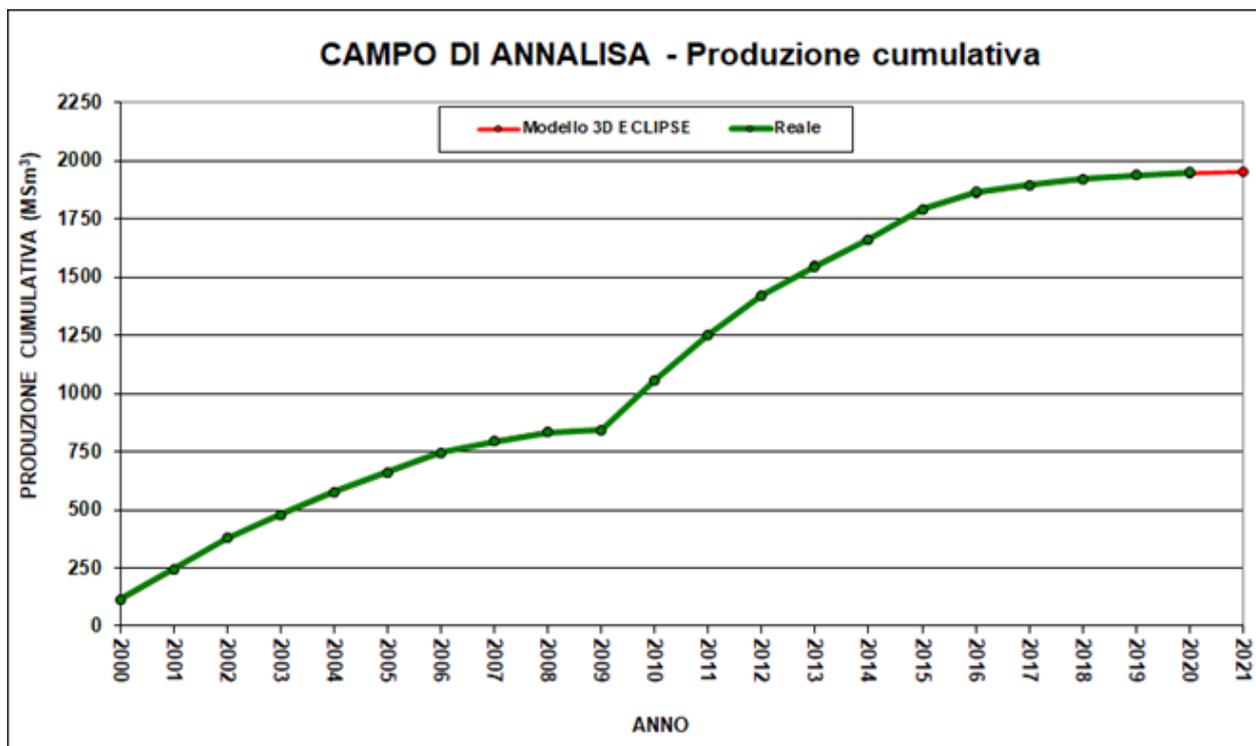


Figura 5 - Campo di Annalisa: grafico di produzione reale e da modello *Eclipse* 2018

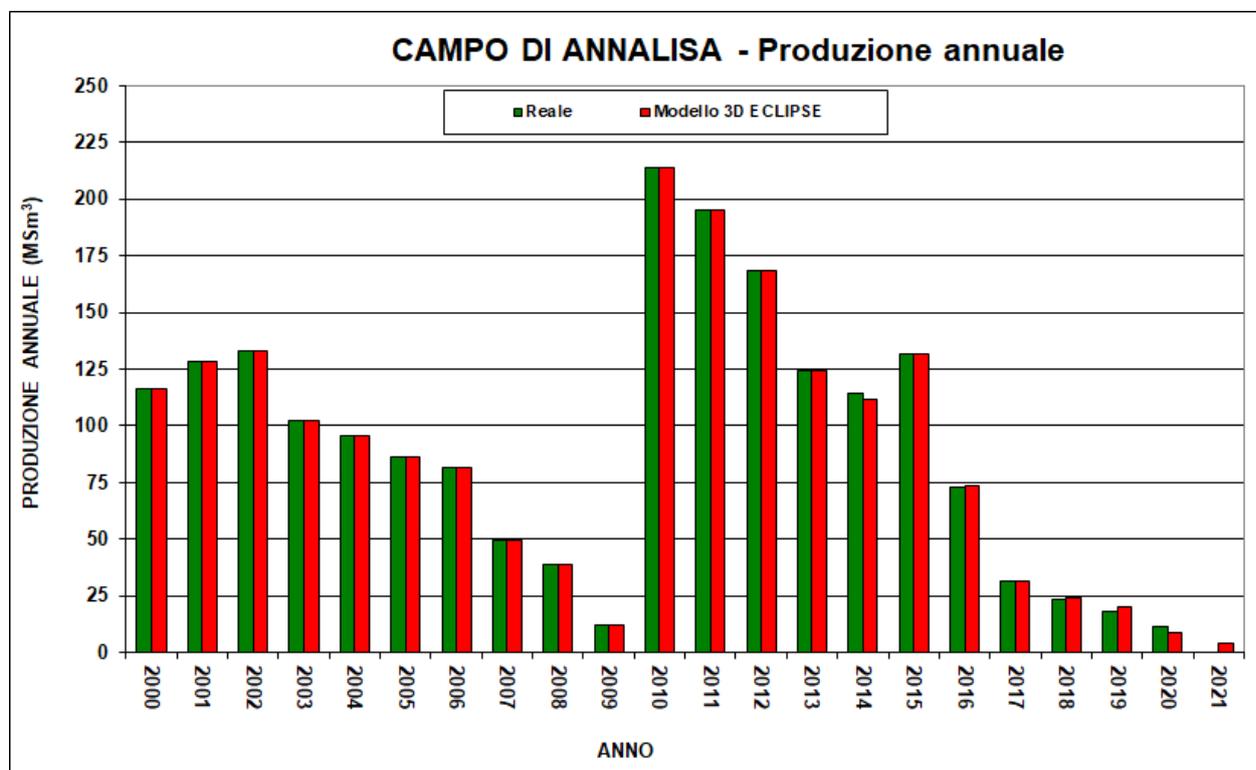


Figura 6 - Campo di Annalisa: produzione (annuale) reale e da modello *Eclipse* 2018

| CAMPO DI ANNALISA |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   |                            |              |                   |
|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|---------------------|--------------|-------------------|------------------|--------------|-------------------|--------------------|--------------|-------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| Data              | Livelli PL3-B10+B12 |              |                   | Livelli PL3-B10+B11 |              |                   | Livelli PL3-G+H  |              |                   | Livelli PL3-D4+D4b |              |                   | Livelli PL3-D4+D4b+D5a+D5b |              |                   |
|                   | Pressione (bara)    | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara)    | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara)   | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara)           | RFT in pozzo | Profilo in string |
| 20/07/2003        | 223                 |              | 4 C               | 220                 |              | 5 C               |                  |              |                   | 253                |              | 3 L               |                            |              |                   |
| 23/10/2006        | 199                 |              | 4 C               | 192                 |              | 5 C               |                  |              |                   | 214                |              | 3 L               |                            |              |                   |
| 22/09/2010        |                     |              |                   |                     |              |                   | 285              |              | 6 L               |                    |              |                   |                            |              |                   |
| 24/10/2012        |                     |              |                   |                     |              |                   | 265              |              | 6 L               |                    |              |                   |                            |              |                   |
| 21/11/2014        |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   | 231                        |              | 3 L               |
| 17/10/2015        |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   | 190                        |              | 3 L               |
| 29/09/2016        |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   | 152                        |              | 3 L               |
| 02/10/2017        |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   | 139                        |              | 3 L               |
| 15/11/2018        |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   | 142                        |              | 3 L               |
| 26/12/2019        |                     |              |                   |                     |              |                   |                  |              |                   |                    |              |                   | 227                        |              | 3 L               |

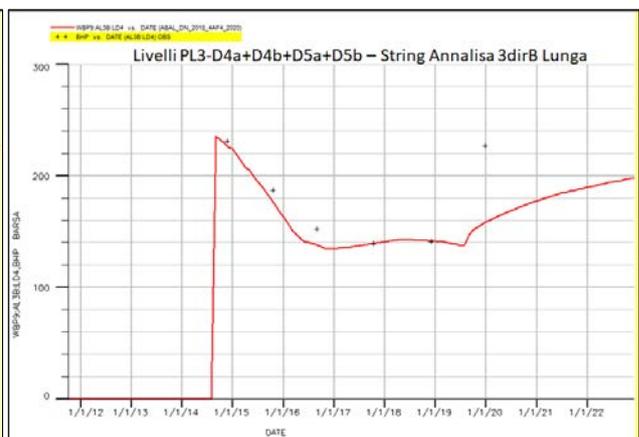
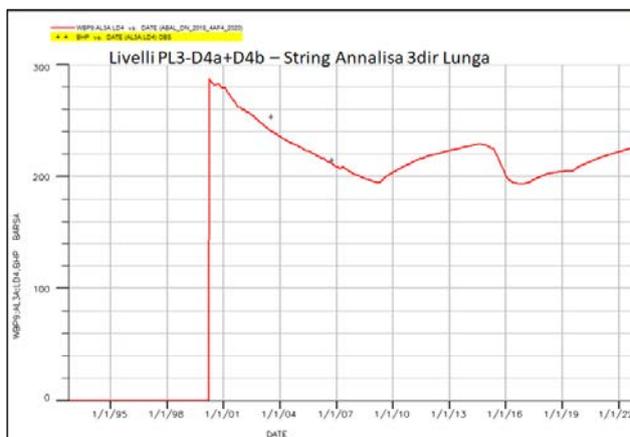
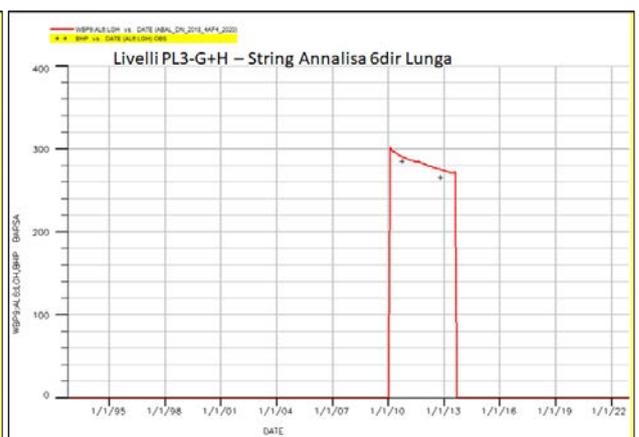
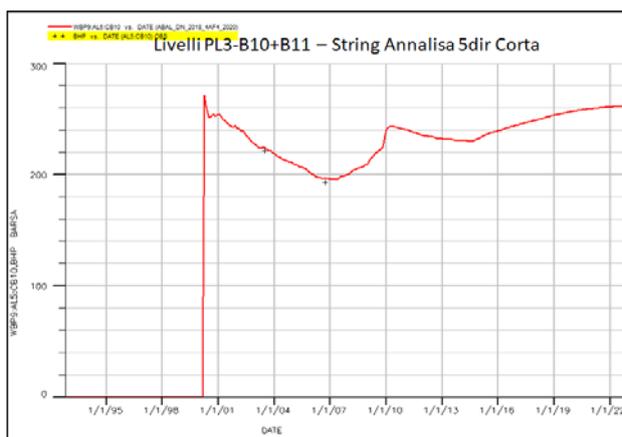


Figura 7 - Campo di Annalisa: confronto fra i dati misurati di pressione statica e i profili di pressione calcolati (modello *Eclipse* - 2018)

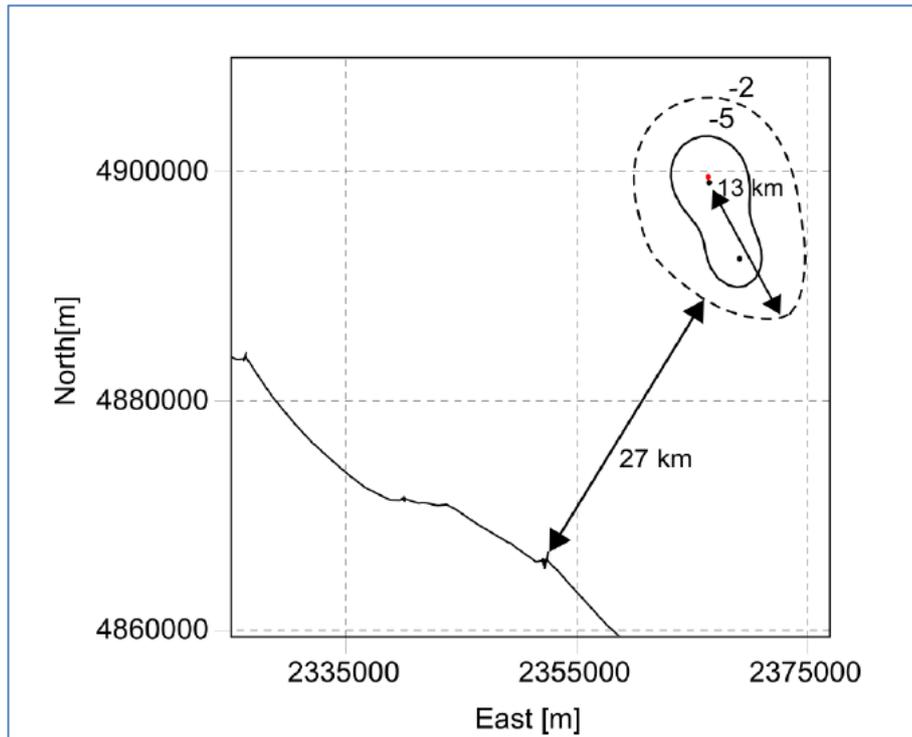


Figura 8 - Campo di Annalisa: mappa di subsidenza al 2027 (fine prod.) per lo scenario di riferimento (middle)

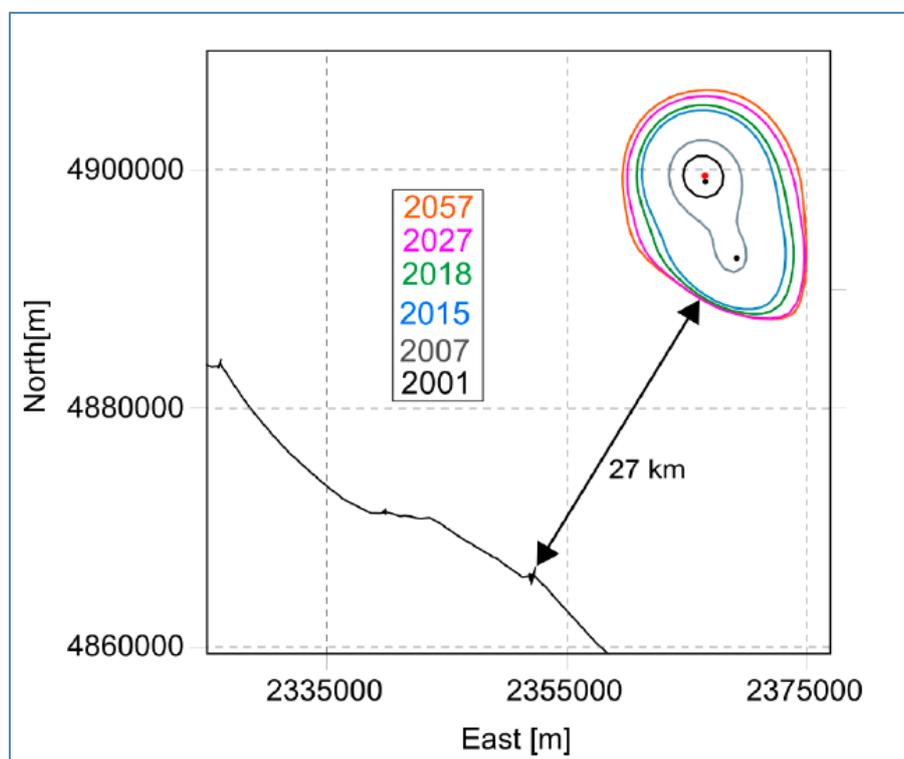


Figura 9 - Campo di Annalisa: evoluzione nel tempo della linea di iso-subsidenza di 2 cm per lo scenario di riferimento (middle)

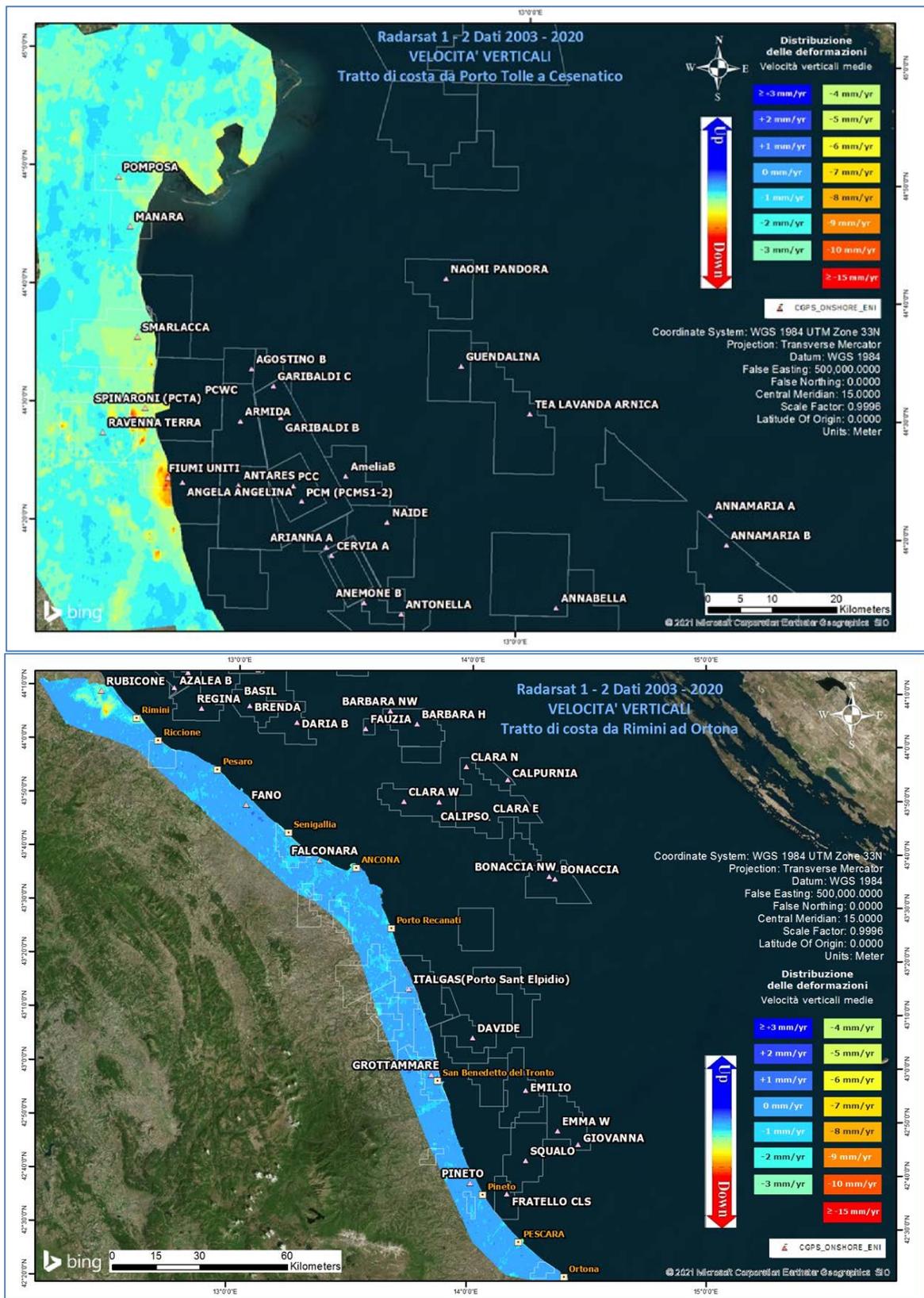


Figura 10 - Campo di Annalisa: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2020

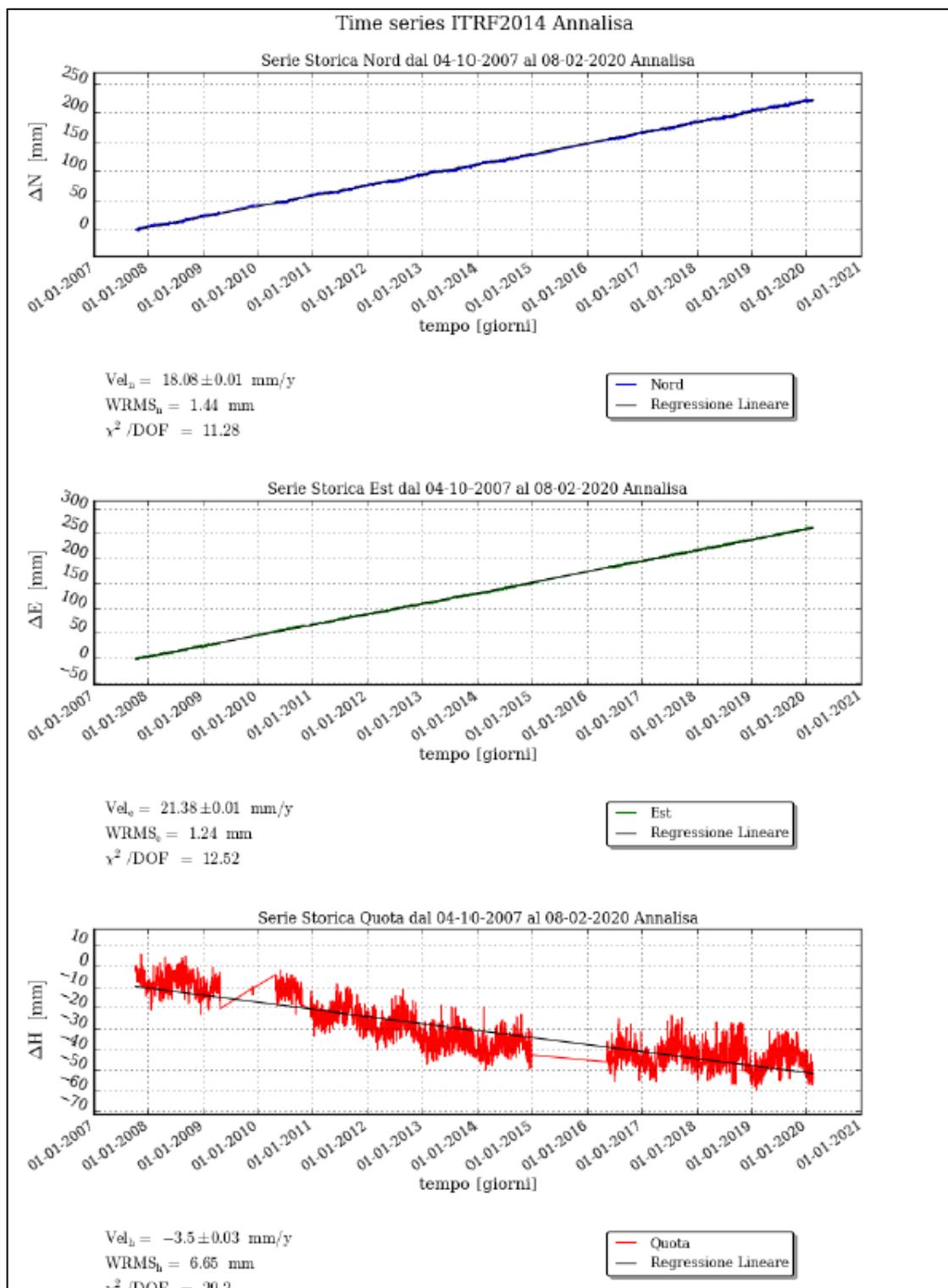
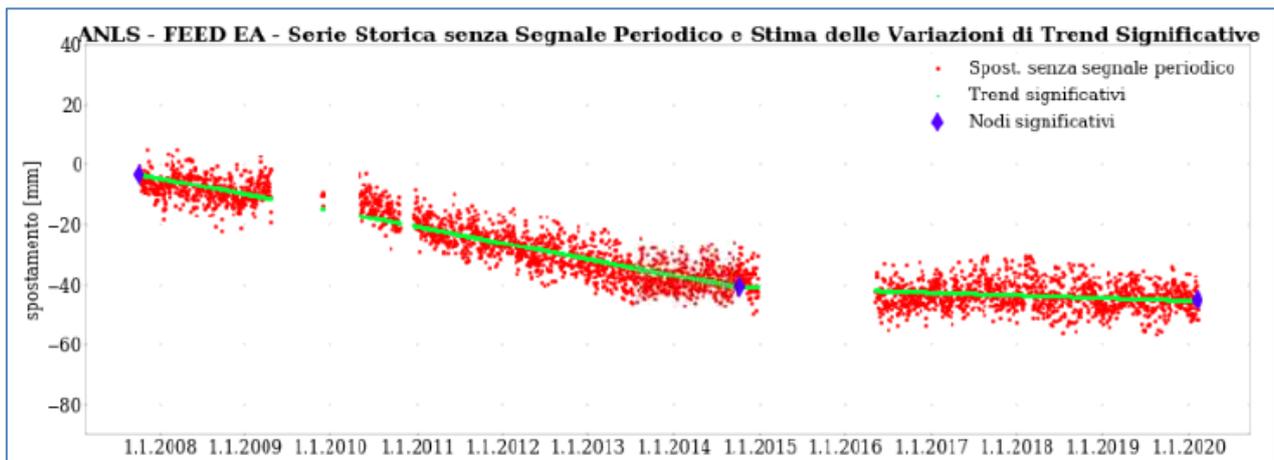


Figura 11 - Campo di Annalisa: serie storiche di misure CGPS

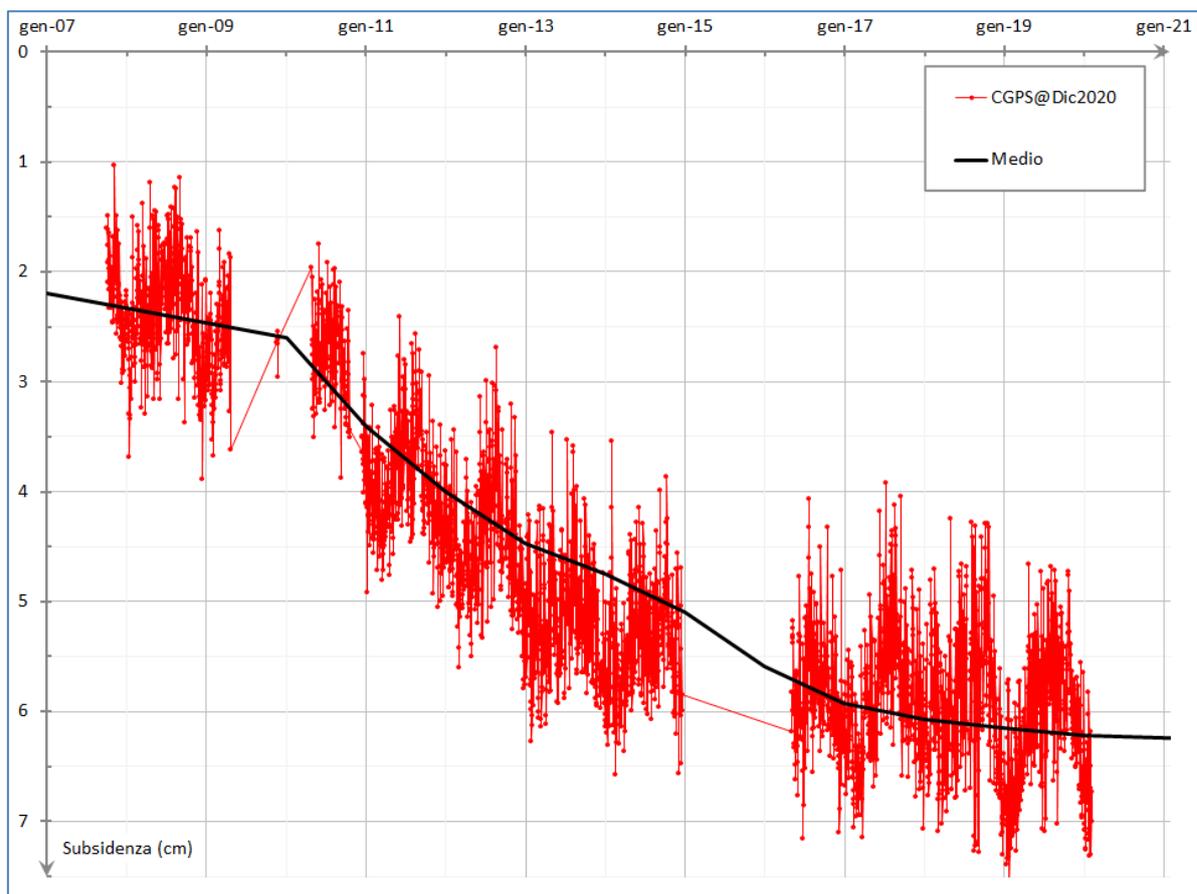


| FEED PP - MODELLO EMPIRICO |              |          |        |
|----------------------------|--------------|----------|--------|
| Periodo                    |              | velocità | sigma  |
|                            |              | [mm/y]   | [mm/y] |
| 04/10/2007                 | - 01/09/2014 | -5.38    | 0.04   |
| 01/09/2014                 | - 08/02/2020 | -0.78    | 0.05   |

Figura 12 Campo di Annalisa: analisi della serie storica di misure CGPS

| CAMPO                  | Inizio produzione | Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse) | Riserve prodotte @ dic.2020 | Max subsidenza prevista (scenario di riferimento) | Ultimo aggiornamento studio | CGPS                 |                             |
|------------------------|-------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
|                        |                   |  |                             |   |                             | inizio registrazione | vel.media (mm/a) @ dic.2020 |
| ANEMONE                | 1978              | 2018   | 100%                        | -49cm al 2049                                     | 2019                        | 2007                 | -4.54                       |
| ANNALISA               | 2000              | 2021   | 99%                         | -9cm al 2027                                      | 2018                        | 2007                 | -3.5                        |
| ANNAMARIA              | 2009              | 2030   | 81%                         | -163cm al 2051                                    | 2017                        | 2005                 | -94.17                      |
| BARBARA NW             | 1999              | 2035   | 81%                         | -44cm al 2029                                     | 2017                        | 2008                 | -25.91                      |
| BONACCIA               | 1999              | 2026   | 98%                         | -233cm al 2073                                    | 2018                        | 2008                 | -64.94                      |
| BONACCIA NW            | 2015              |  |                             |   |                             | 2015                 | -38.64                      |
| CALIPSO                | 2002              | 2025   | 97%                         | -84cm al 2026                                     | 2017                        | 2007                 | -13.51                      |
| CALPURNIA              | 2000              | 2022   | 99%                         | -14cm al 2015                                     | 2017                        | 2008                 | -0.44                       |
| CLARA EST              | 2000              | 2038   | 79%                         | -81cm al 2038                                     | 2017                        | 2007                 | -14.47                      |
| CLARA NW               | 2016              |  |                             |   |                             | 2016                 | -23.78                      |
| CLARA NORD             | 2000              | 2021   | 99%                         | -34cm al 2016                                     | 2017                        | 2007                 | -16.35                      |
| ELETTRA                | 2014              | 2029   | 73%                         | -11cm al 2061                                     | 2017                        | 2014                 | -15.37                      |
| FAUZIA                 | 2014              | 2023   | 83%                         | -5cm al 2068                                      | 2019                        | 2014                 | -3.65                       |
| GUENDALINA             | 2011              | 2022   | 92%                         | -8,5cm al 2055                                    | 2018                        | 2011                 | -6.1                        |
| NAIDE                  | 2005              | 2027   | 91%                         | -12cm al 2030                                     | 2021                        | 2005                 | -3.58                       |
| NAOMI - PANDORA        | 2001              | 2037   | 58%                         | -2,6cm al 2049                                    | 2017                        | 2002                 | -2.13                       |
| PCME (PCMS)            | 2001              | 2014   | 100%                        | -4,3cm al 2014                                    | 2020                        | 2005                 | -3.8                        |
| REGINA                 | 1997              | 2030   | 99%                         | -130cm al 2061                                    | 2017                        | 2007                 | -21.76                      |
| TEA - LAVANDA - ARNICA | 2007              | 2023   | 98%                         | -5cm al 2023                                      | 2019                        | 2007                 | -3.55                       |

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



**Figura 14 – Campo di Annalisa: misure CGPS vs. previsioni di subsidenza da modello geomeccanico (in corrispondenza della piattaforma)**

| campo ANNALISA (Eni 100%)                          |  |   |   |
|--|--|---|---|
| DATI DI CAMPO                                      |  | DECRETO VIA n. 3547 del 7 gennaio 1999  |   |
| UBICAZIONE   |  | AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNALISA)   |   |
| PROFONDITA' FONDALE                                | offshore- a circa 34 km a NE di Pesaro<br>55 m | SIA   |   |
| LITOLOGIA  | sabbie fini                                    | STUDIO DI GIACIMENTO  | ULTIMO AGGIORNAMENTO  |
| FORMAZIONE RESERVOIR                               | Porto Garibaldi                                | MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MARZO '97"  | Campi Annabella e Annalisa - Studio di giac. Doc. N° RDR/PET-E5149F94-0 (nov. 2018) |
| ZONA MINERARIA                                     | PI.3   | RISERVE (MSm <sup>3</sup> )   | 1659  |
| PROFONDITA' RESERVOIR                              | 2300-3400 (TV/DSS)                             | MOD. GEOMECCANICO   | GEERTSMA CILINDRICO   |
| TIPO DI PIATTAFORMA                                | BEAF   | MAX SUBS AL CENTRO (cm)   | 3,2 (dopo 10 anni)  |
| CARATTERISTICHE GEOLOGICHE                         | blanda anticlinale                             | MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)  | #   |
|  |  | N.B.: IL MODELLO DI SUBSIDENZA E' STATO AGGIORNATO COERENTEMENTE ALLA REVISIONE DEL MODELLO DINAMICO DI CAMPO. I RISULTATI DELLO STUDIO TENGONO CONTO ANCHE DELL'INTERFERENZA CON IL VICINO CAMPO DI ANNABELLA.   |   |
| CONCESSIONE  | A.C32.AG                                       | STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI  |   |
| DATA SCADENZA CONCESSIONE                          | 30/11/2024                                     |   |   |
| N. POZZI   | 3  | LIVELLAZIONI  |   |
| RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm <sup>3</sup> ) | 1659   | ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA. IL PROSSIMO RILIEVO DELLA DORSALE ADRIATICA SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2023 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO |   |
| START UP PRODUZIONE                                | mar-00   | MARKERS   |   |
| FINE PRODUZIONE PREVISTA                           | 2007   | NON PRESCRITTI  |   |
| GAS PRODOTTO (MSm <sup>3</sup> )                   | 1950   | CGPS  |   |
| % RISERVE PRODOTTE                                 | 99%  | NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA, NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA   |   |
|  |  | SAR   |   |
|  |  | ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC. 2020 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.MA ANNALISA. NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO   |   |

Figura 15 – Campo di Annalisa: scheda di sintesi

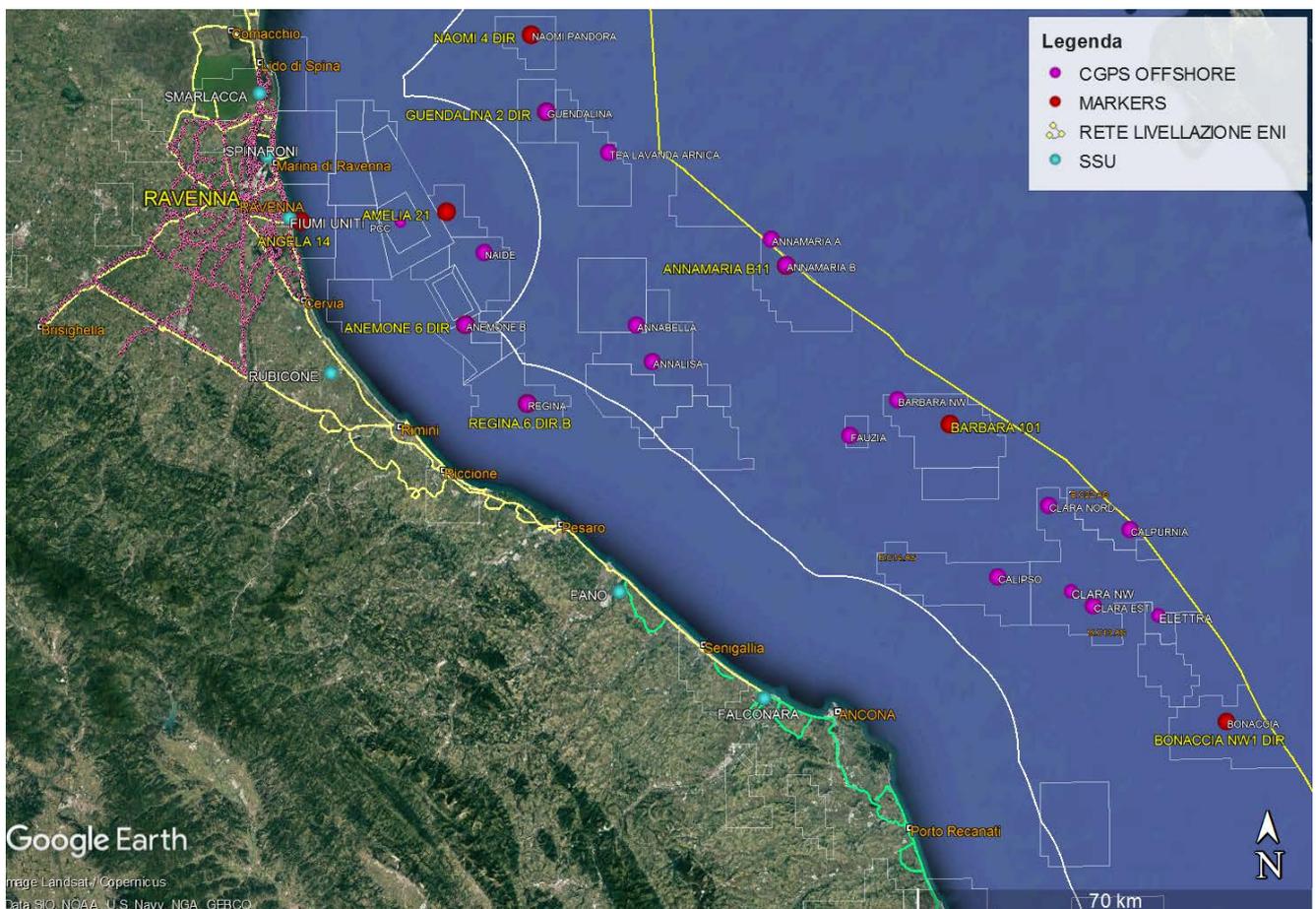


Figura 15 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2020

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2003 – 2020 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 – 2020

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 accorpate 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  $sqm\_CGPS$  (colonna 3 e 4); 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  $sqm\_SAR$  (colonna 5 e 6); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio (colonne 7 e 8). Tutte le misure sono in millimetri/anno.

|             | CGPS        | $V_{vert\_CGPS}$<br>[mm/yr] | $sqm\_CGPS$<br>[mm/yr] | $Media\_V\_SAR$<br>[mm/yr] | $sqm\_SAR$<br>[mm/yr] | $Diff\_VEL$<br>CGPS-SAR<br>[mm/yr] | $sqm\_diff$<br>[mm/yr] |
|-------------|-------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|
| RAVENNA     | SMARLACCA   | -5,93                       | 0,01                   | -3,14                      | 1,72                  | -2,79                              | 1,73                   |
|             | SPINARONI   | -6,99                       | 0,01                   | -3,86                      | 1,42                  | -3,13                              | 1,43                   |
|             | FIUMI UNITI | -13,22                      | 0,02                   | -10,76                     | 4,35                  | -2,46                              | 4,37                   |
| FANO-ANCONA | RUBICONE    | -2,75                       | 0,03                   | -2,93                      | 1,81                  | 0,29                               | 1,84                   |
|             | FANO        | -0,05                       | 0,02                   | 0,09                       | 0,84                  | -0,14                              | 0,86                   |
|             | FALCONARA   | -0,3                        | 0,02                   | -0,22                      | 1,50                  | -0,08                              | 1,52                   |
|             | ITALGAS     | -0,09                       | 0,02                   | 0,50                       | 0,97                  | -0,59                              | 0,99                   |

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 2020.

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 a 2.8 mm/anno di media per i primi 3 CGPS, mentre per gli ultimi 4 CGPS si notano differenze massime intorno a 0,6 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

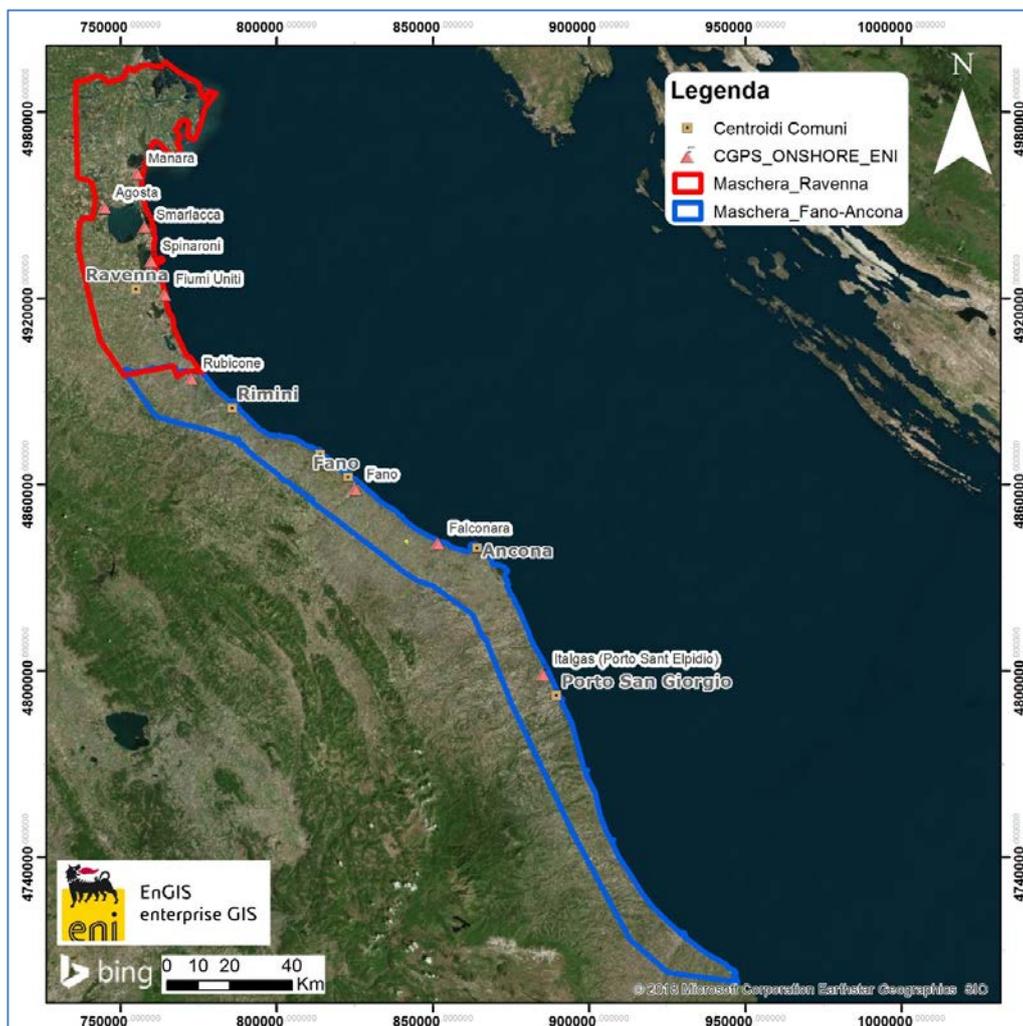


Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

|  |                                    |                                 |                   |
|--|------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di ANNALISA<br>novembre 2021 | Documento<br>GEODCS_REL2021_ALS | Page - 27 - of 62 |
|--|------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

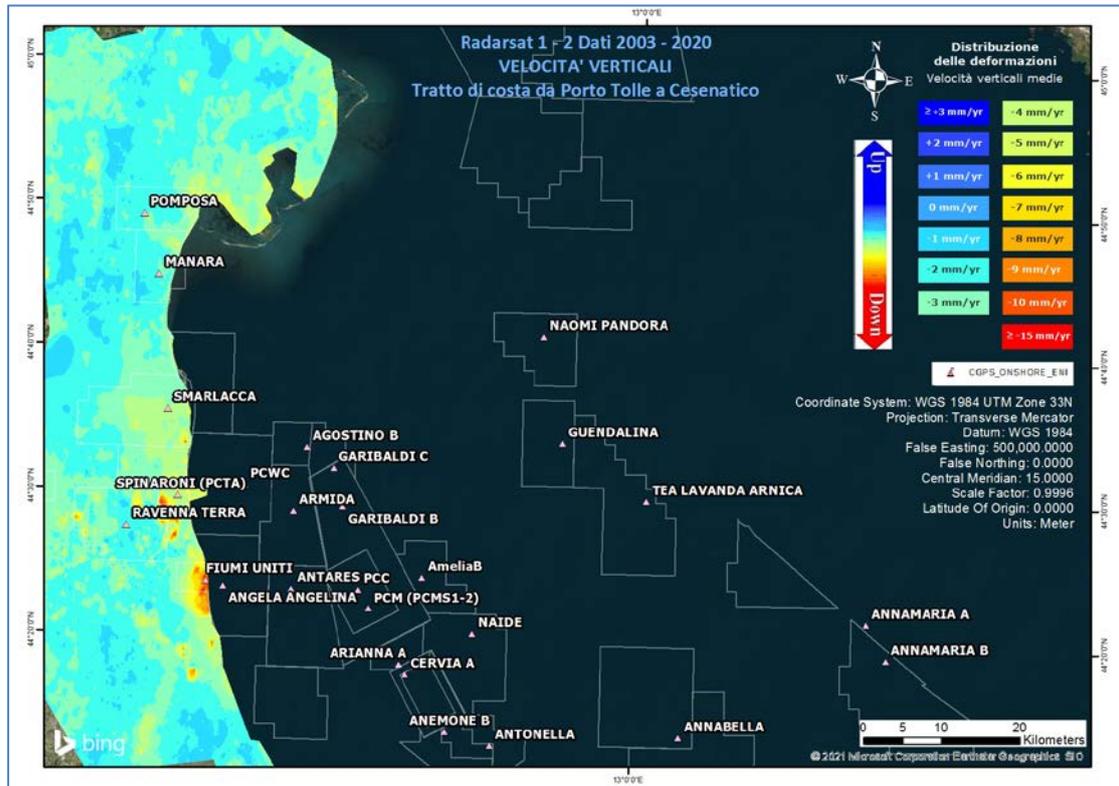
Complessivamente risultano presenti le seguenti stazioni CGPS afferenti alla rete Eni:

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  $-3,14 \pm 1,72$  mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di  $-5.93 \pm 0,01$  mm/anno, si rileva una differenza di  $-2,79 \pm 1,73$  mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di  $-2,79 \pm 1,73$  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.

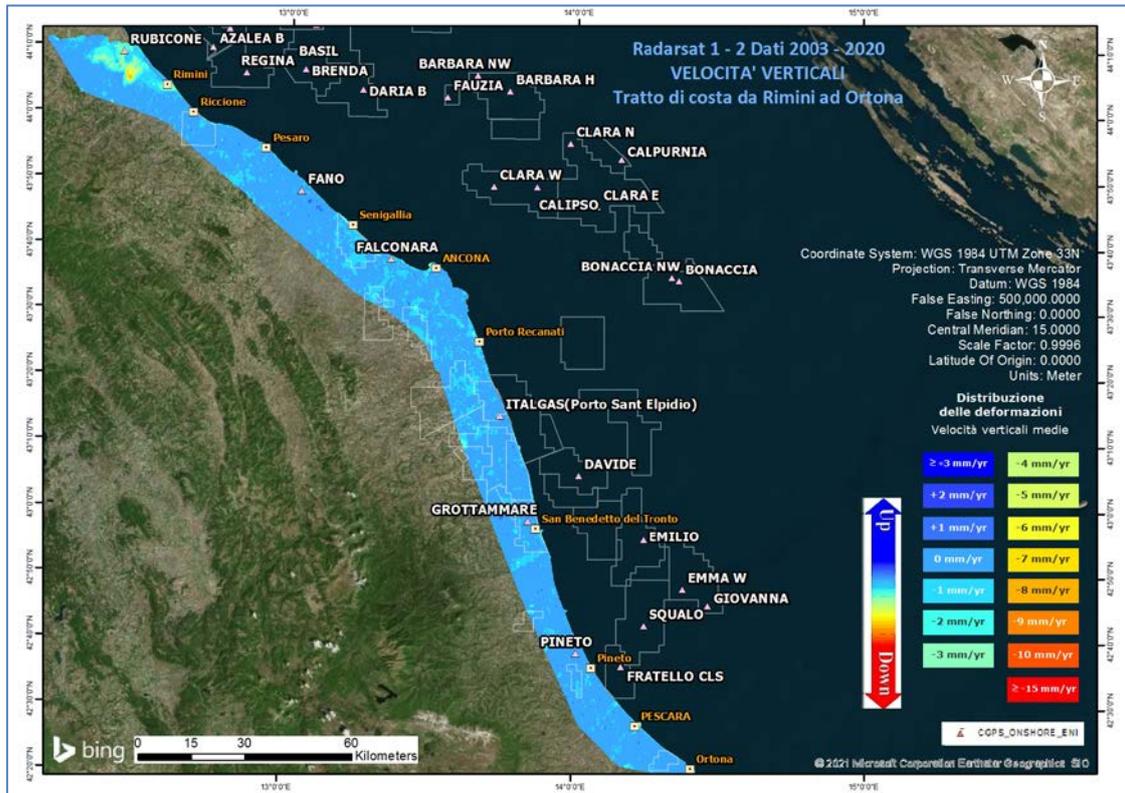
In Fig. 2 si possono visualizzare i dati InSAR ottenuti a valle del processo di calibrazione, interpolati con un algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst® per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.



**Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2020, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.**

Come già effettuato precedentemente, il data set dell'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 un errore sulle differenze inferiore ai 2 mm (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 la minima differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR ( $-0,14 \pm 0,86$  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 2003-2020, con Tool ArcGis Spatial-Analyst®. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.**

### Confronto dati SAR 2003 – 2019 vs 2003 – 2020

Il processo di sottrazione tra IDW 2020 e IDW 2019 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 (come ad esempio un'area nei pressi della località Corte Nuova Amiani, a nord-ovest di Codigoro in Fig. 4), da un'attenta analisi del dato si è riscontrato come si tratti di aree 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.

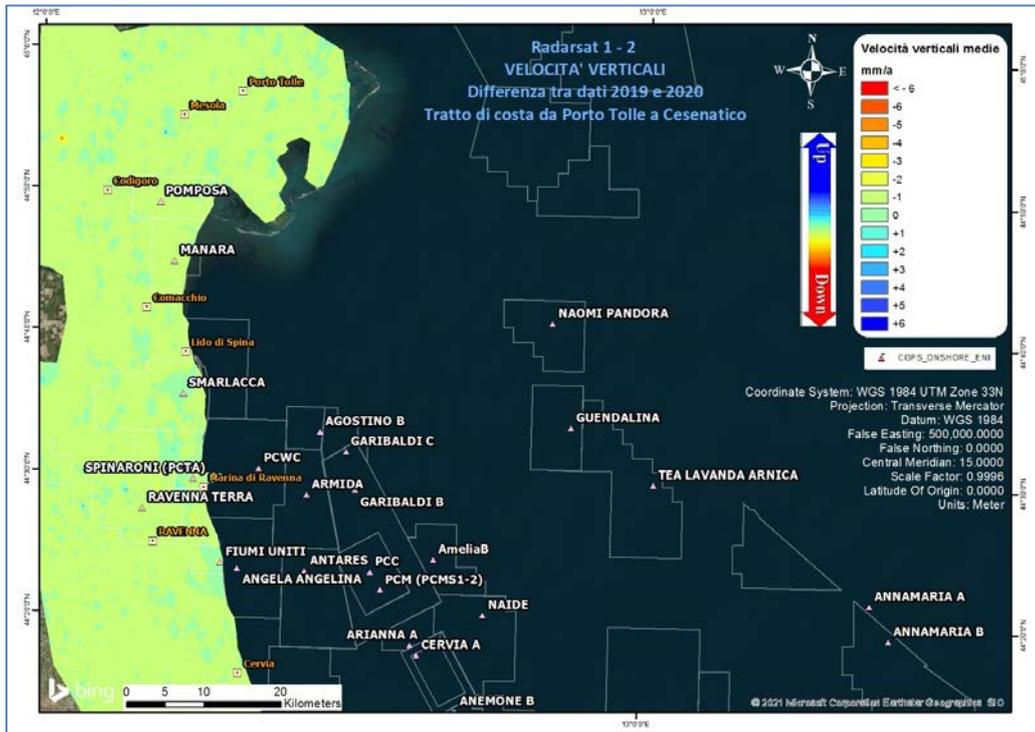


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2019 e il 2003-2020, utilizzando il Tool Math-Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

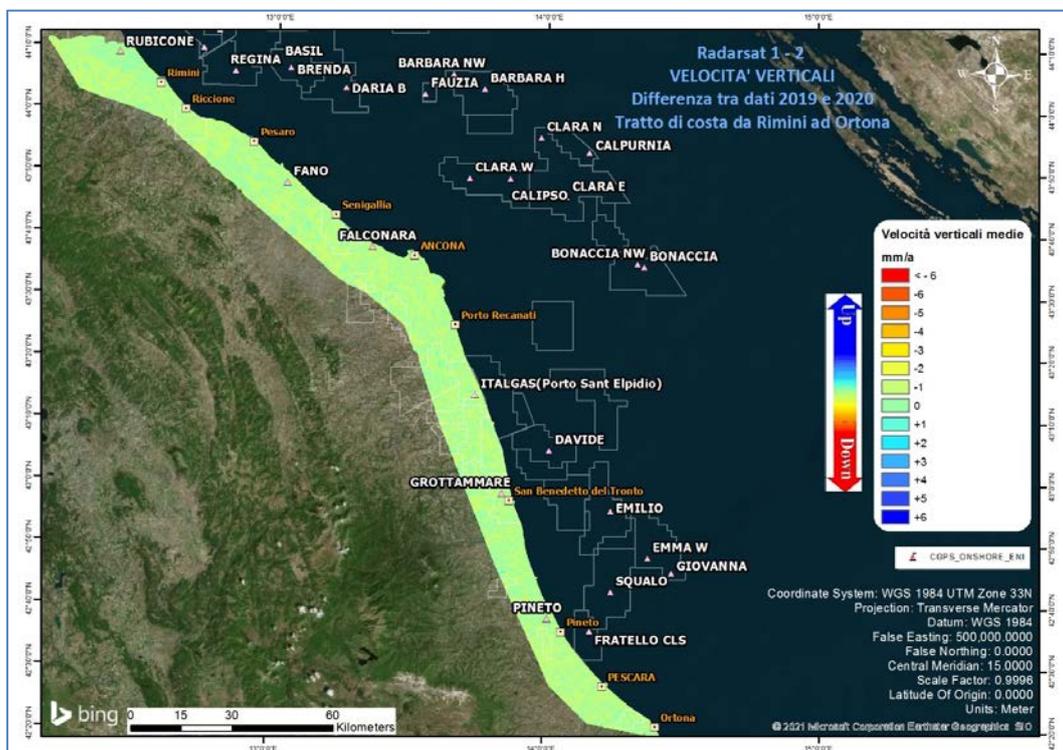


Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2019 e il 2003-2020, utilizzando il Tool Math-Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 31 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

### **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 6 e 7,
- alla tratta Cervia-Pesaro: Figure 8 e 9;
- alla tratta Pesaro-Porto San Giorgio: Figure 10 e 11.

In quest'ultima tratta (Pesaro - Porto San Giorgio) si notano alcuni improvvisi picchi ("spi-kes") nei valori di velocità di subsidenza delle livellazioni che non compaiono nei corrispondenti valori di velocità da misure SAR. Tali anomalie, presenti anche nella precedente campagna di livellazione, potrebbero essere state causate da instabilità dei relativi capisaldi e saranno, quindi, oggetto di ulteriori controlli nelle prossime campagne.

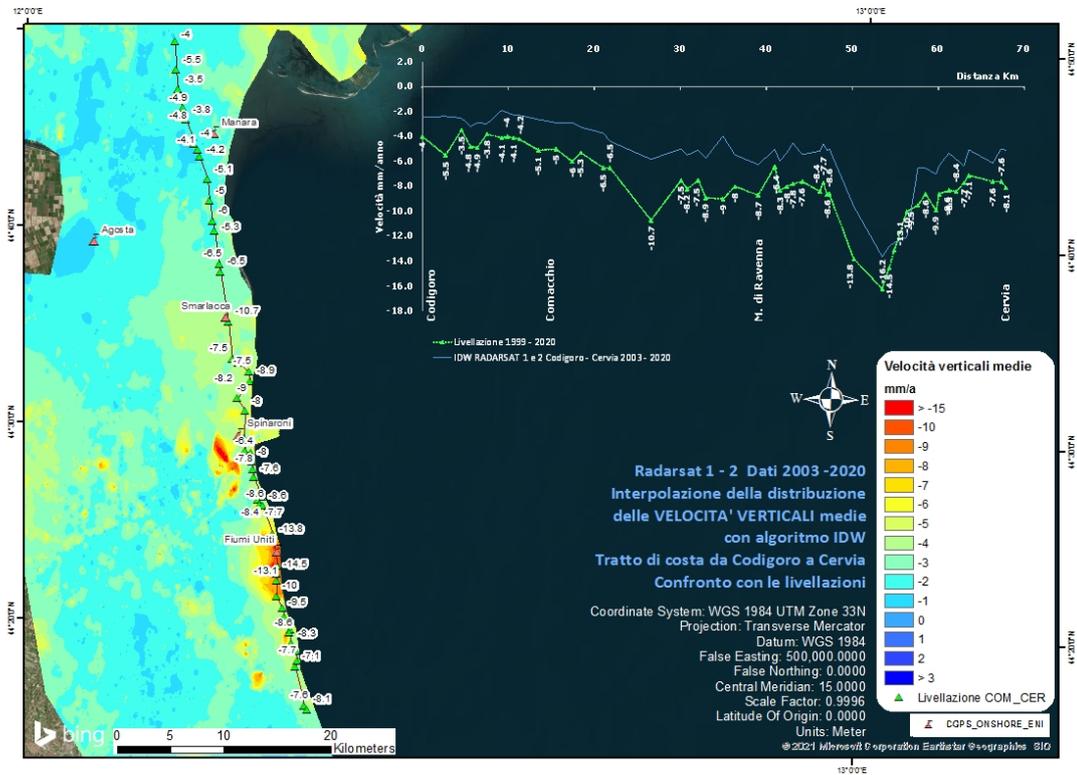


Fig. 6 – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Codigoro – Cervia.

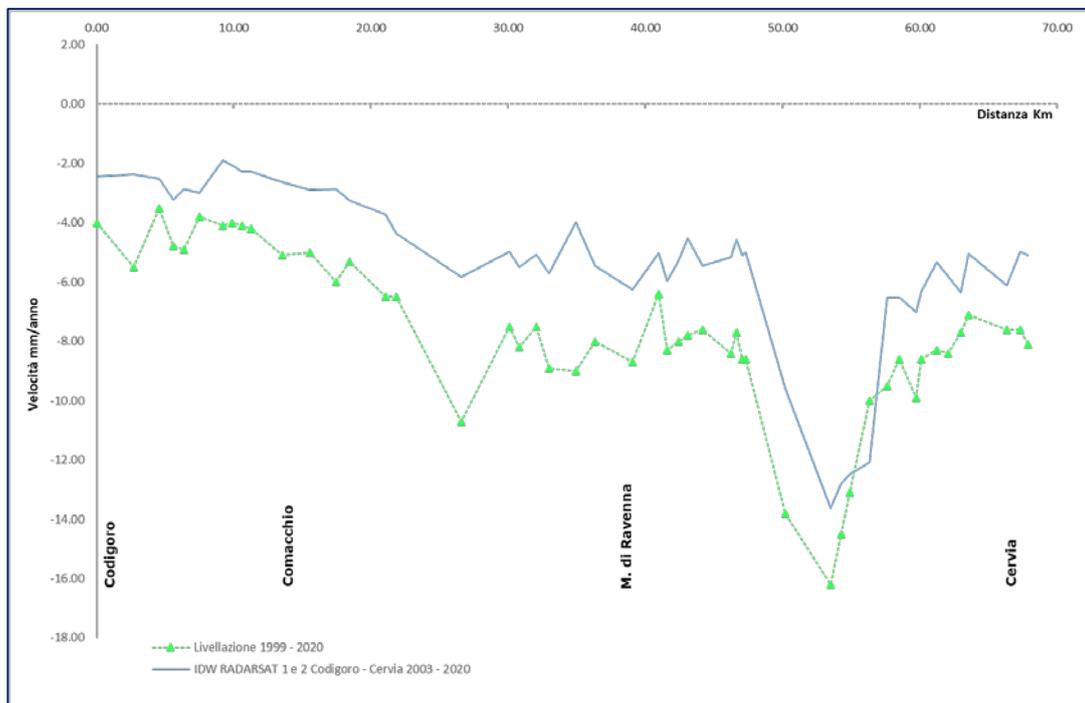
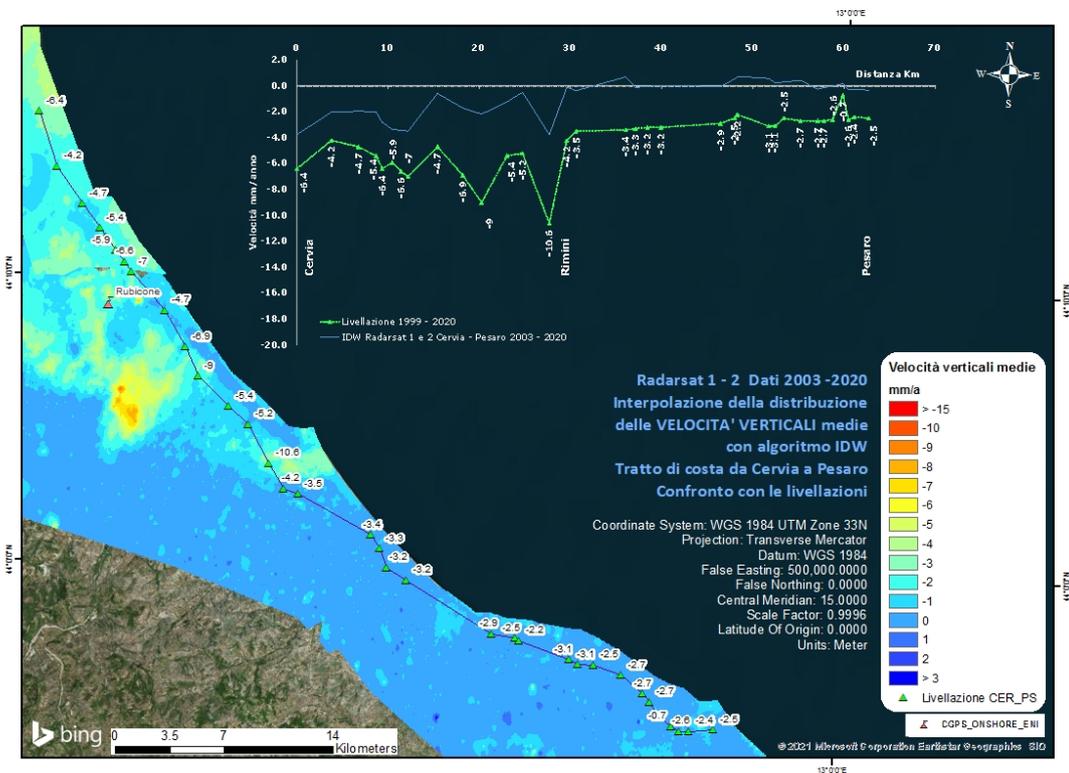
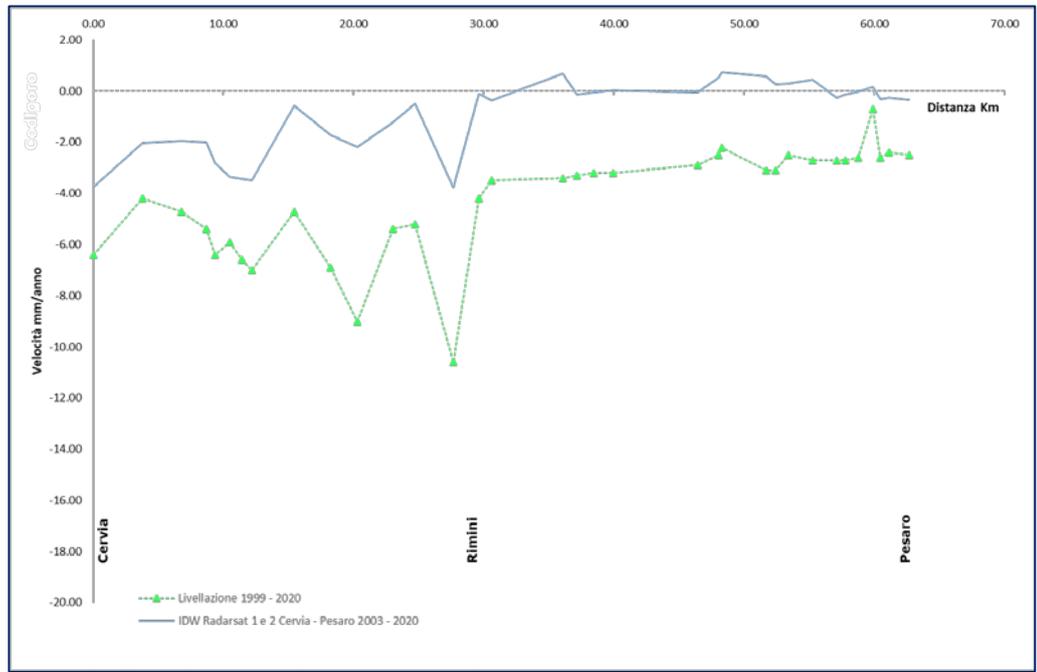


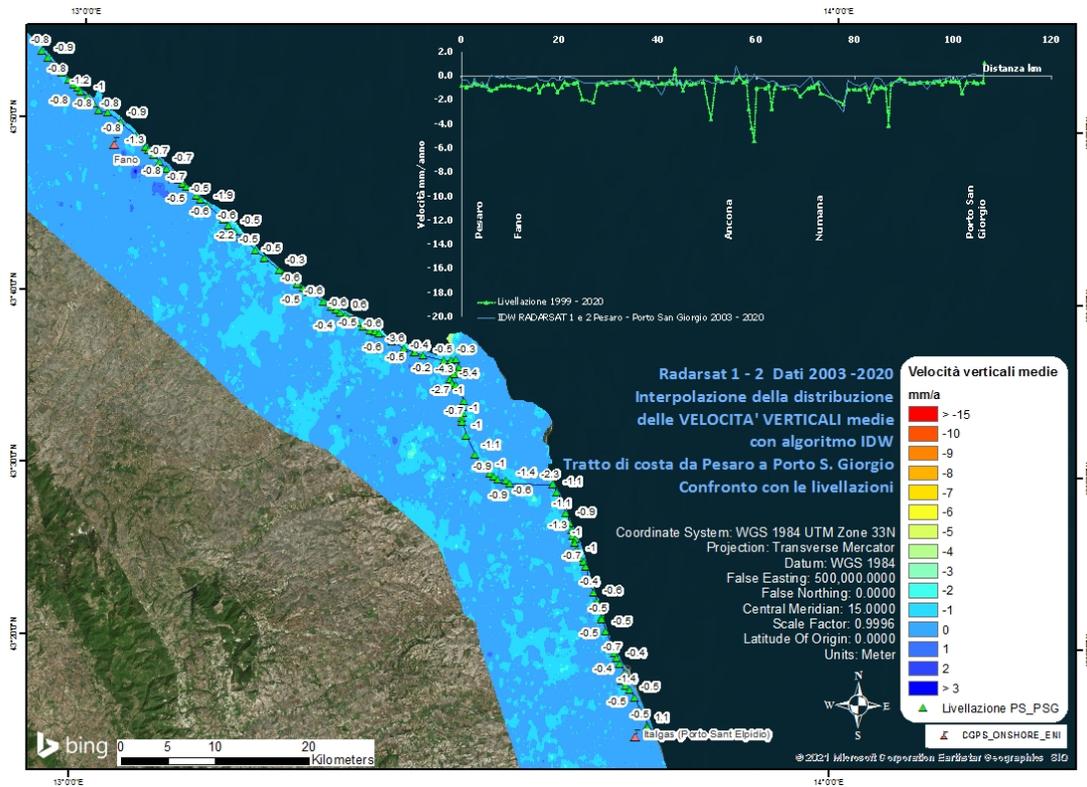
Fig. 7 – Dettaglio del grafico confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Codigoro–Cervia.



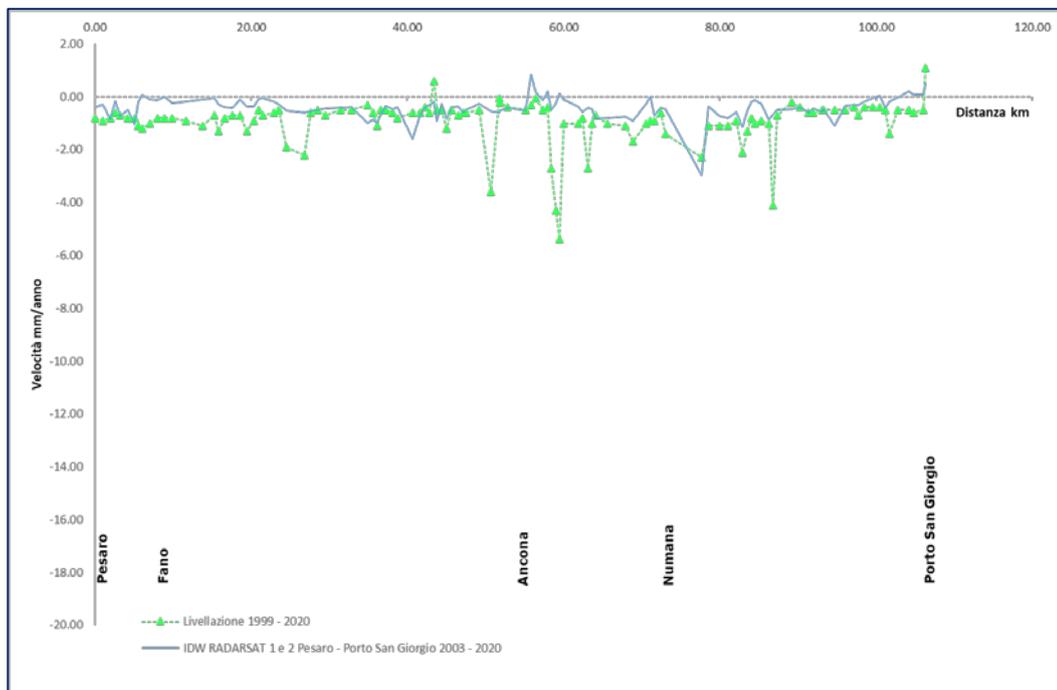
**Fig. 8 – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Cervia-Pesaro.**



**Fig. 9 – Dettaglio del grafico confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Cervia-Pesaro. Non si notano anomalie; i due metodi descrivono lo stesso andamento.**



**Fig. 10 – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Pesaro-Porto San Giorgio.**



**Fig. 11 – Dettaglio del grafico confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Pesaro-Porto San Giorgio. I due metodi descrivono lo stesso andamento.**

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 35 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

### **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 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

|  |                                    |                                 |                   |
|--|------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni spa | Campo di ANNALISA<br>novembre 2021 | Documento<br>GEODCS_REL2021_ALS | Page - 36 - of 62 |
|--|------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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 2020

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.

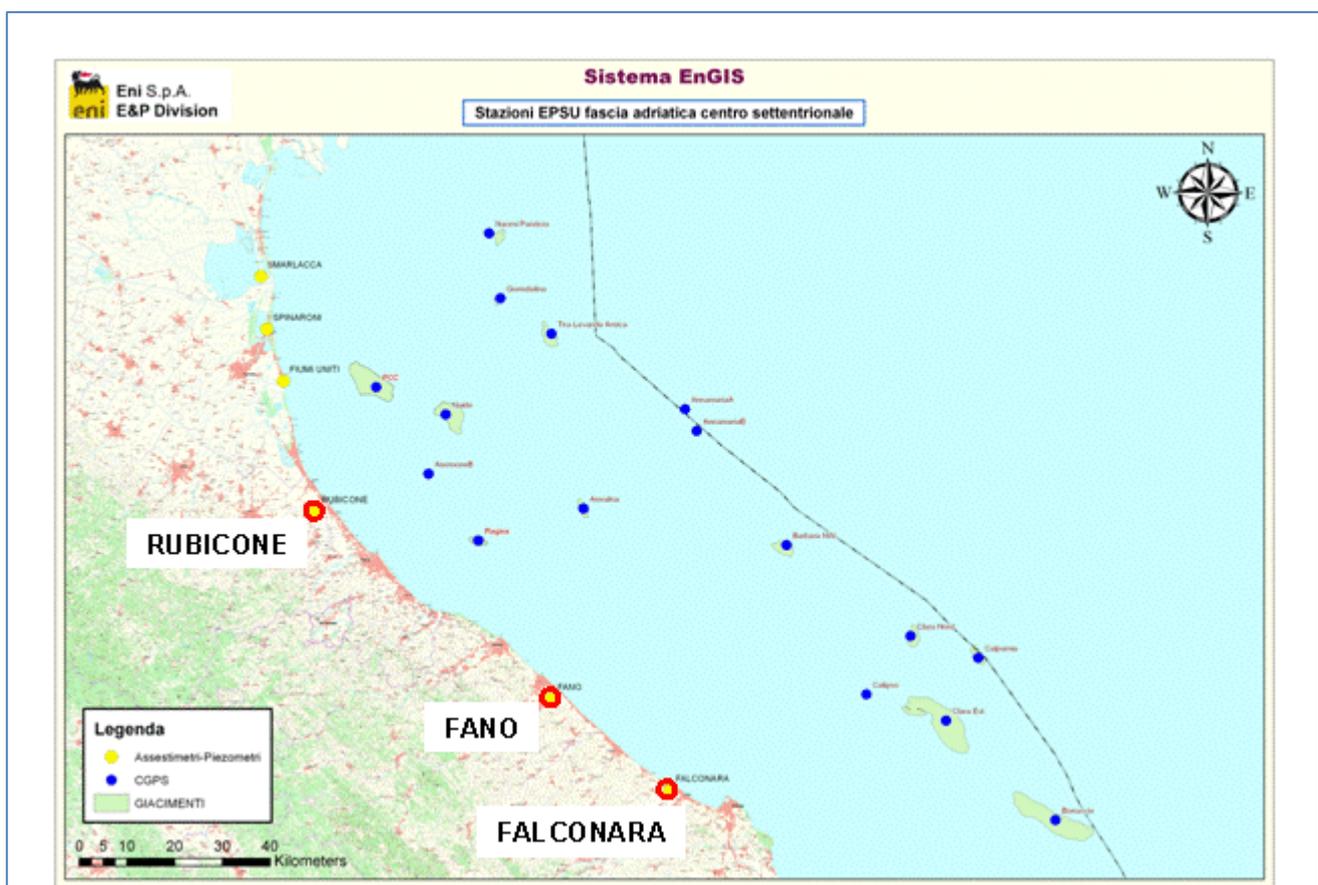


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

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.

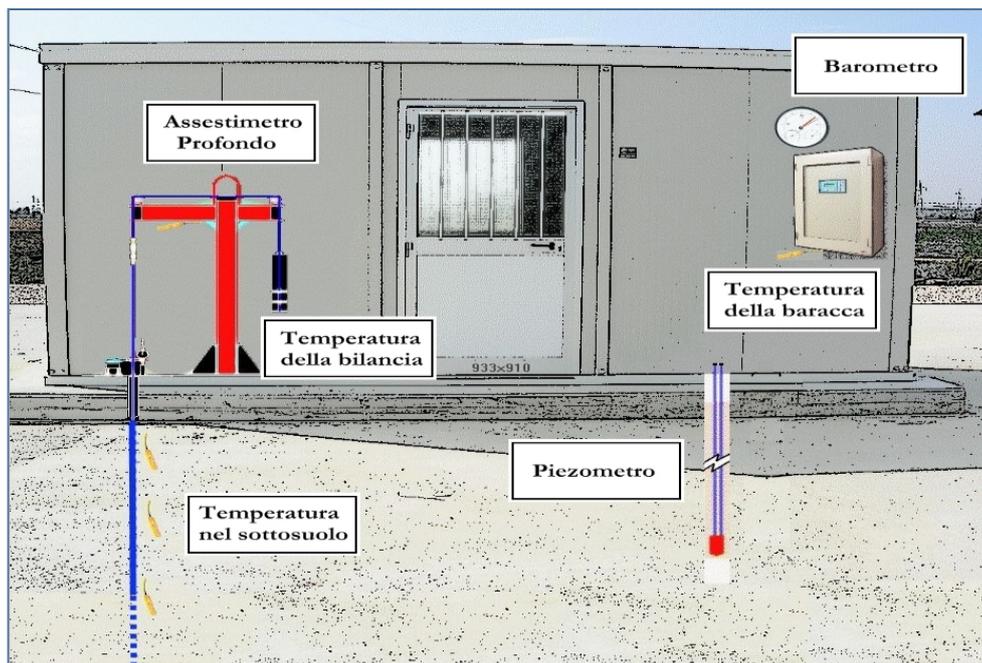


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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).

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 39 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## **Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata gennaio 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:**

- assestimetro - 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

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 40 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

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 2020 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

Nel corso dell'anno 2020, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, perdurata per l'intero anno, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 22 luglio 2020, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.

### **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 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'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.

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'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÷1.5 mesi nella espansione/compattazione del terreno rispetto all'escursione massima (marzo/aprile) e

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 41 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

minima (agosto/settembre) dei livelli di tali falde Figura 7B e Figura 8B (confronto delle misure piezometrica profonda e assestometrica dell'ultimo anno).

Nella stessa area della stazione assestometrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò 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 -2.75 mm/a, abbastanza prossima a quella ottenuta, in modo analogo, dalle misure assestometriche, che è pari a -2.8 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 subsidenza 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 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.

Ad oggi (dicembre 2020) tutti i piezometri e relativi trasduttori, risultano integri ed in grado di fornire dati attendibili.

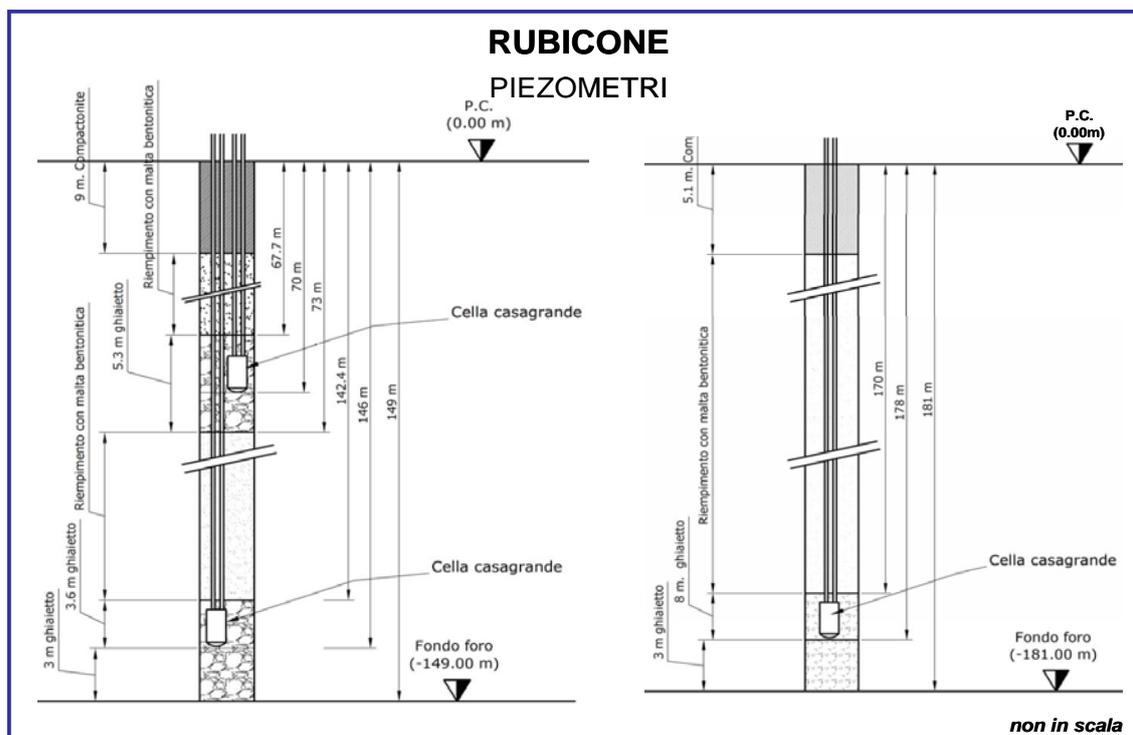


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

## 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.

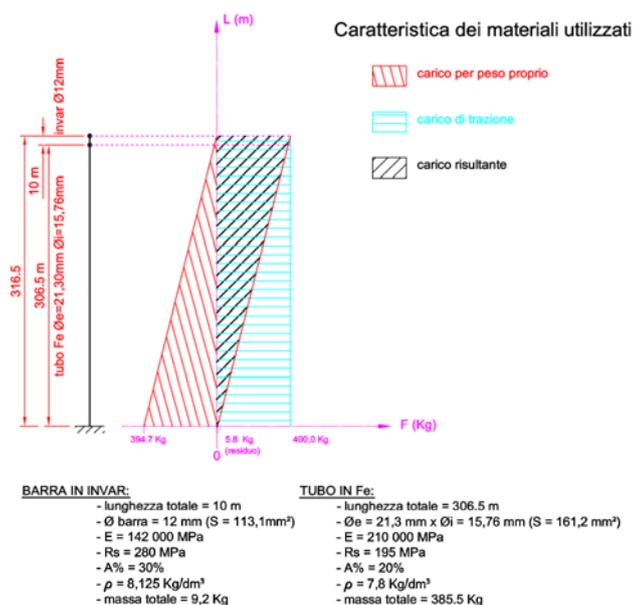


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

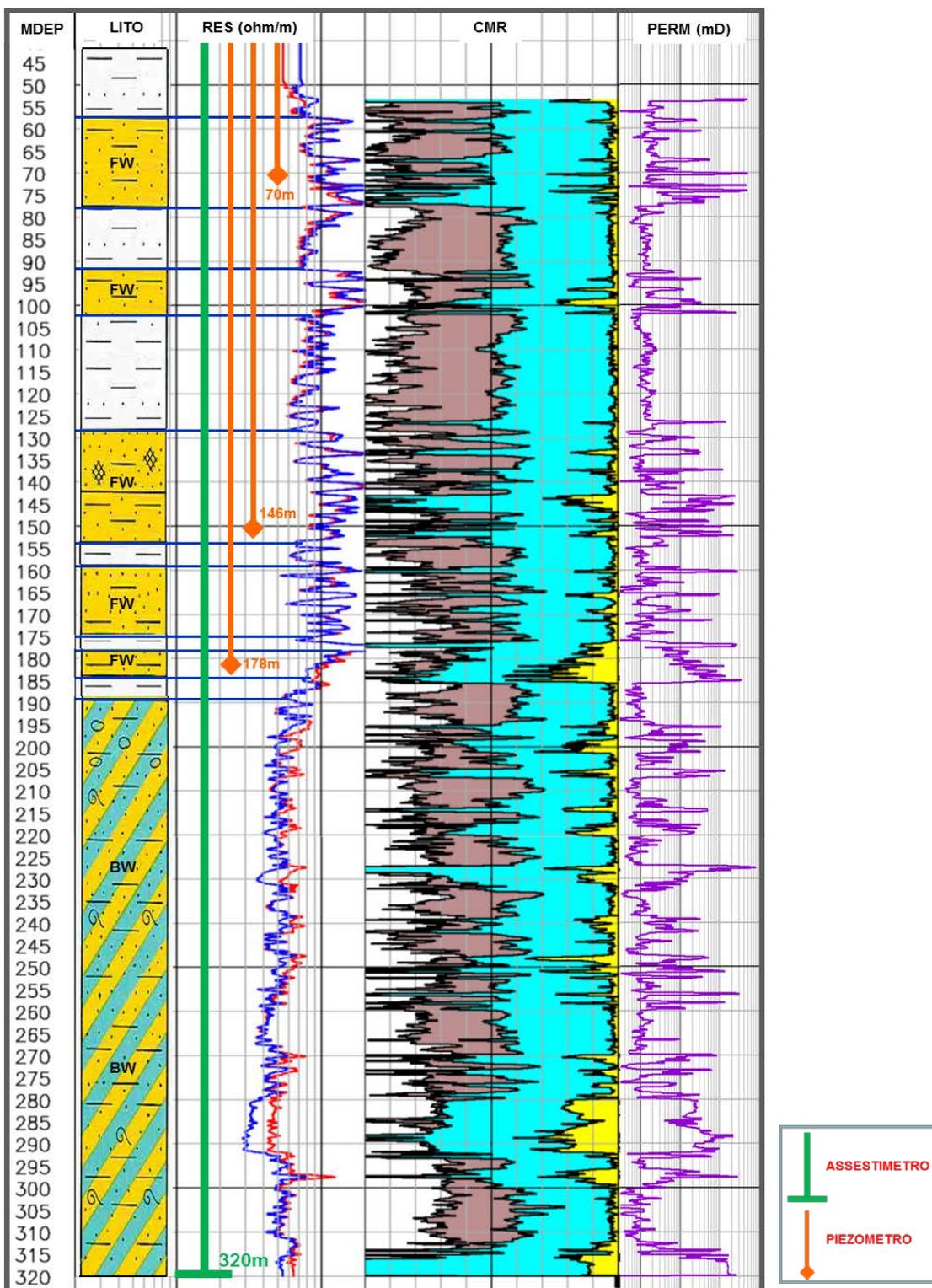


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone

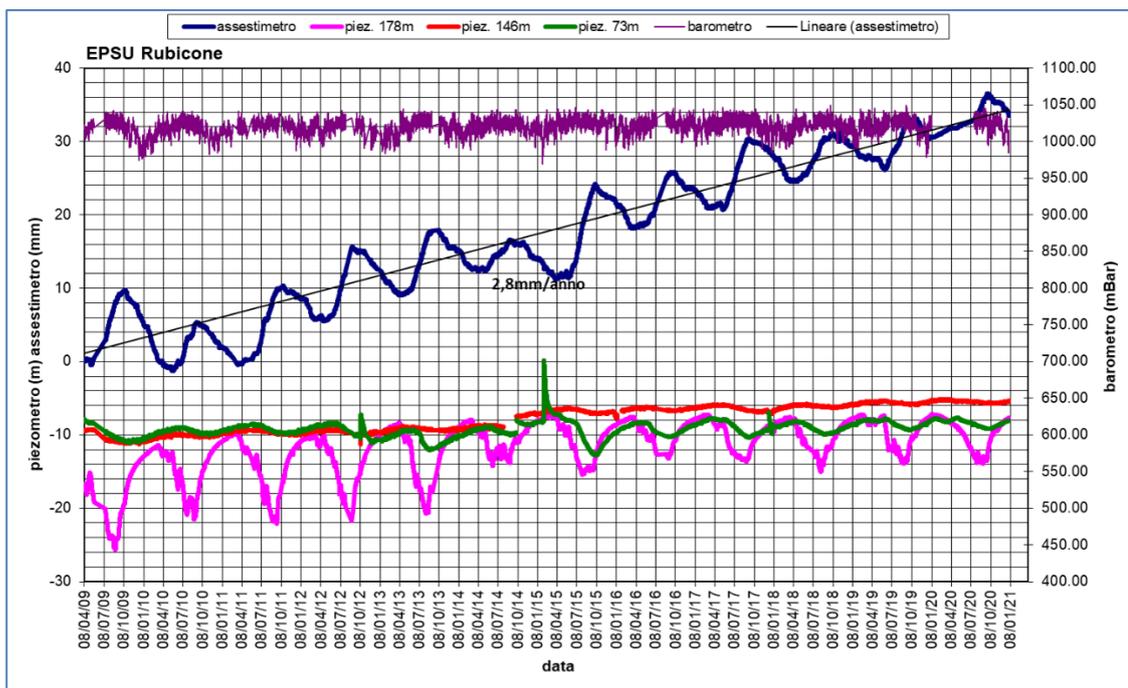


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestometriche e barometriche

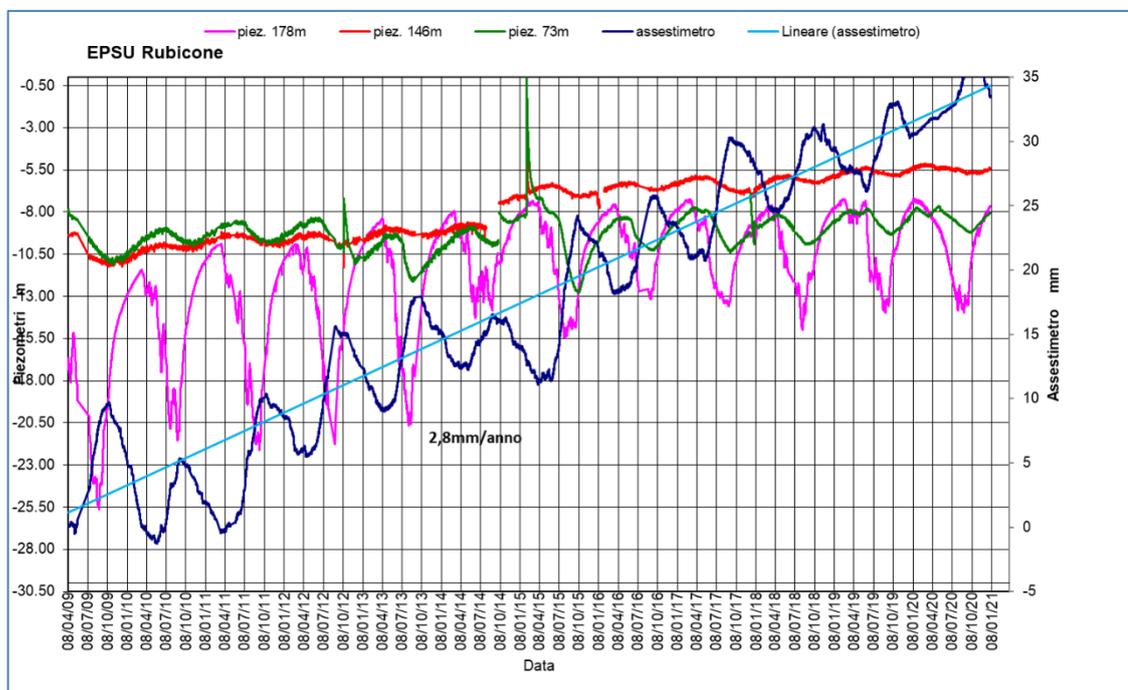
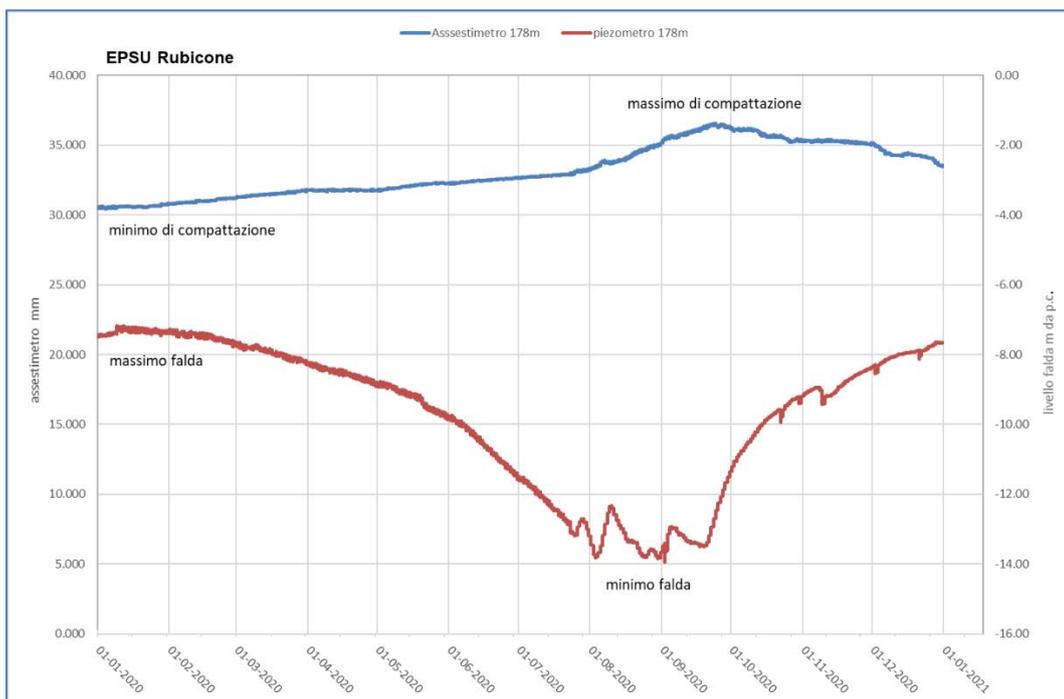
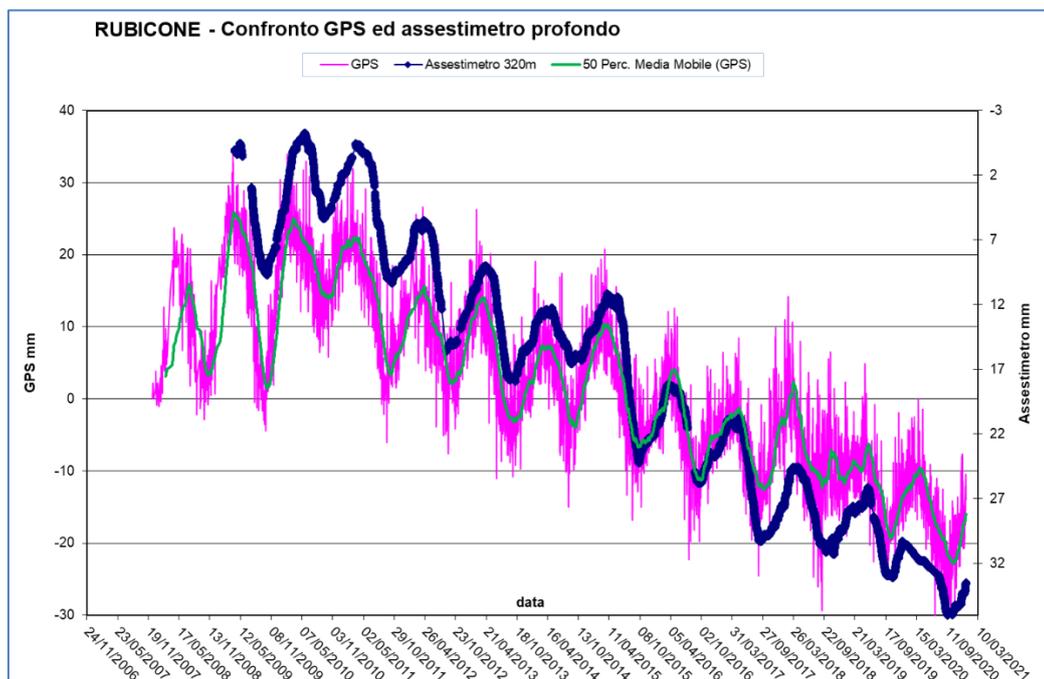


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche e assestometriche.



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



**Figura 9B - Stazione EPSU di Rubicone: 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).*

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 47 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## **Stazione EPSU di FANO (installata luglio 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:**

- 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 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 - 12/2020) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati, per tutto il 2020 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

Nel corso dell'anno 2020, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, perdurata per l'intero anno, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 22 luglio 2020, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.

### **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 (40.8 m da p.c.).

Nei grafici allegati (Figura 12B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 48 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

assestimentrici, nello stesso grafico è presente anche l'andamento della pressione atmosferica. I dati relativi all'assestimento 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'assestimento 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  $\pm 1$  mm, con una punta massima di compattazione di circa 1.5 mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimentrica, 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'assestimento 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 2020 (Figura 13B) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.91) 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 2020 l'assestimento registra, quindi di nuovo, una compattazione di ca. 1 mm (0.96) con, una compattazione complessiva totale nell'anno nulla (Figura 13B).

Se si prendono in esame tutte le misure assestimentriche, registrate nei 12 anni e poco più (12.21) 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 (-0.007mm/anno da regressione lineare sui dati assestimentrici 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 stabile, con velocità media di ca. 0.06 mm/a.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 49 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestimetrica mostra una correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta, però, sfasata 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) al variare della piezometria della colonna d'acqua sovrastante. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico. La curva dei dati CGPS, come sopra evidenziato, mostra un'analogica componente stagionale con uno sfasamento rispetto ai dati assestimetrici (Figura 14B). 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.

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 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

Nello stesso grafico (Figura 12B) dei dati assestimetrici si è riportata la piezometria.

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

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  $\pm 7$  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 2020, come già detto sopra, effettuato il 22 luglio.

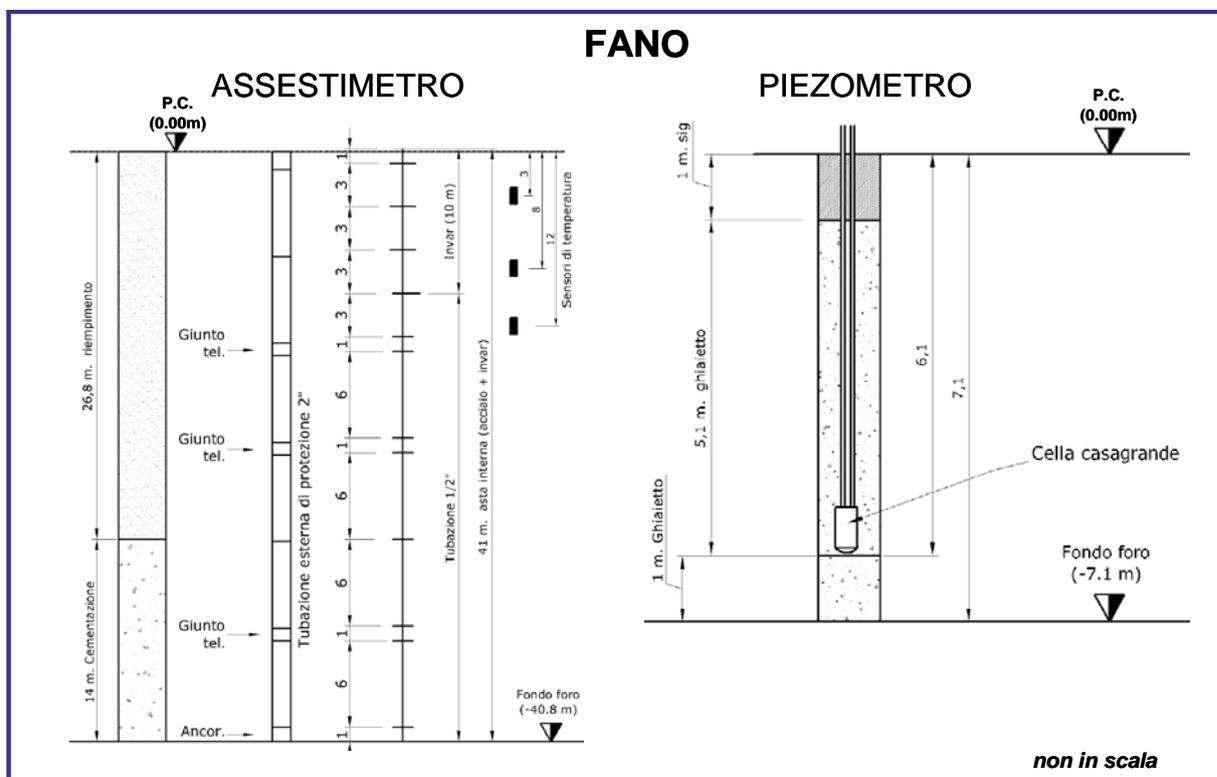


Figura 10B - Stazione EPSU di Fano

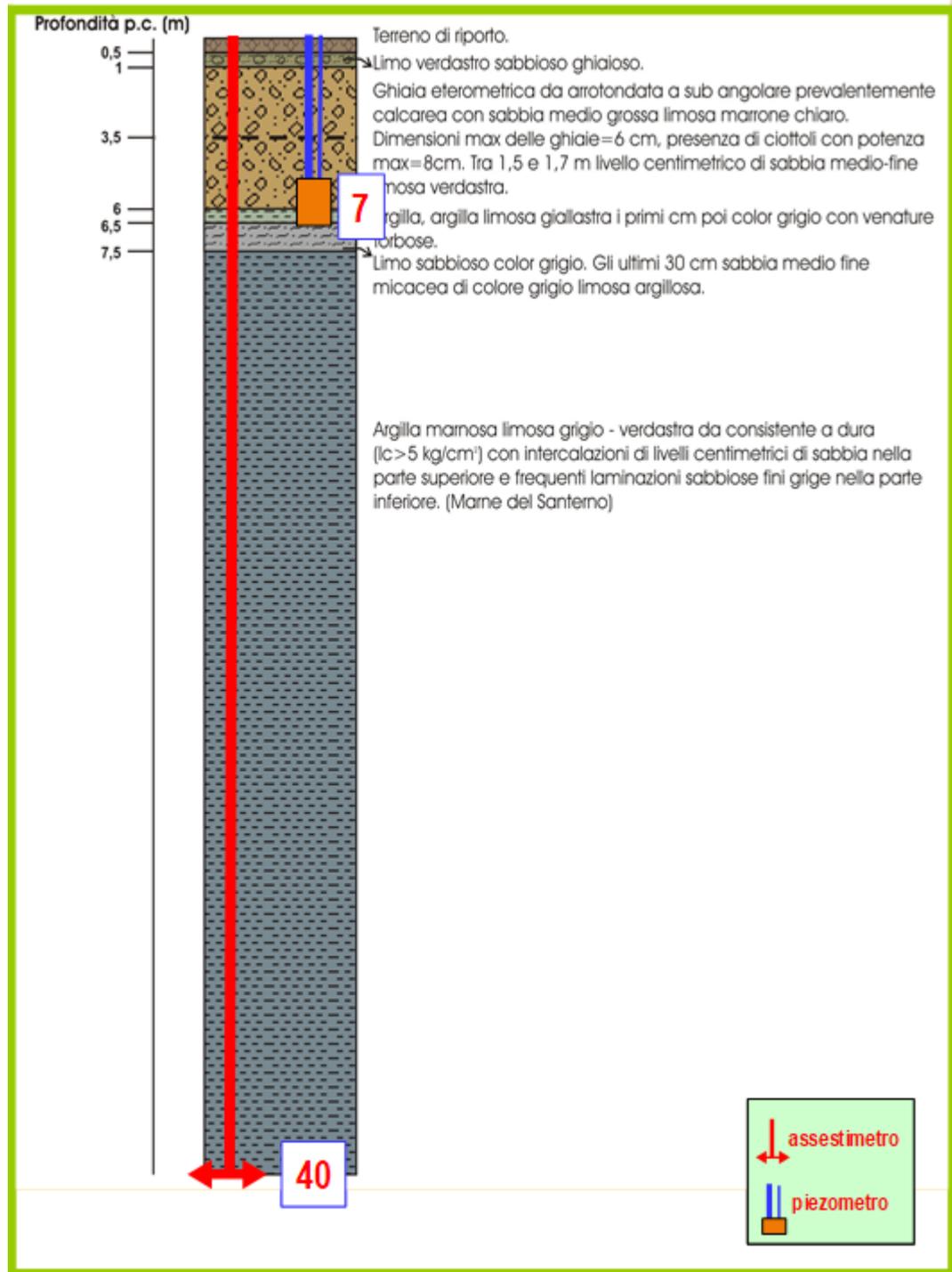


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

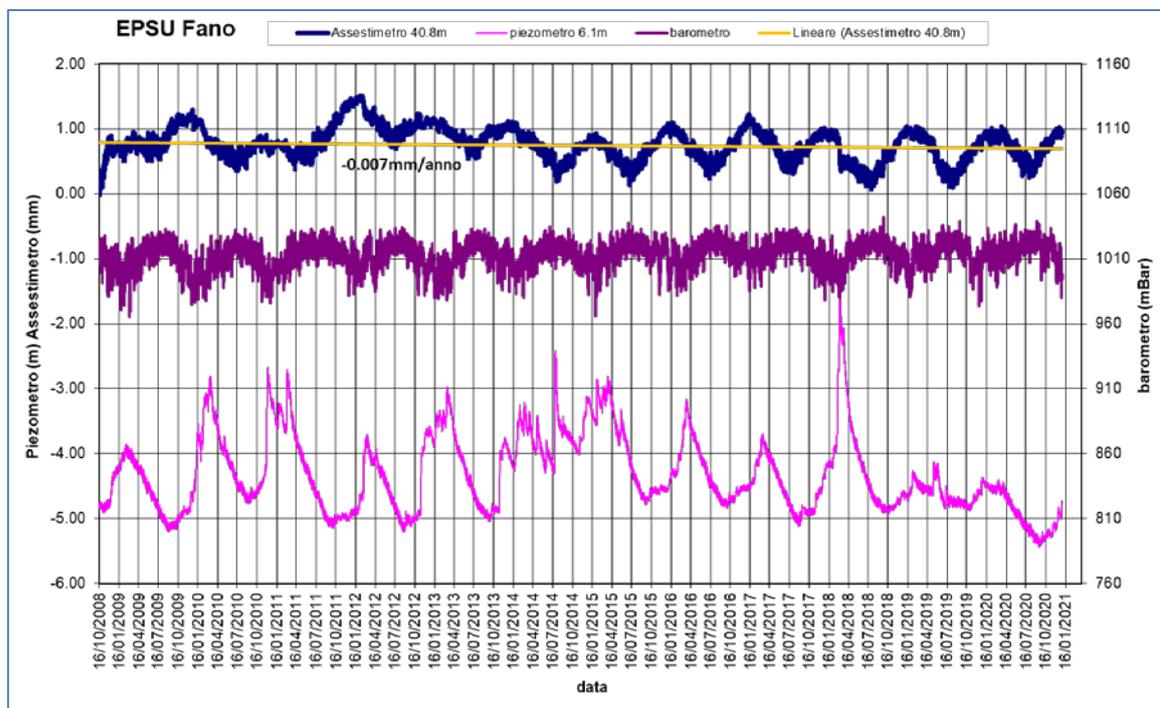


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

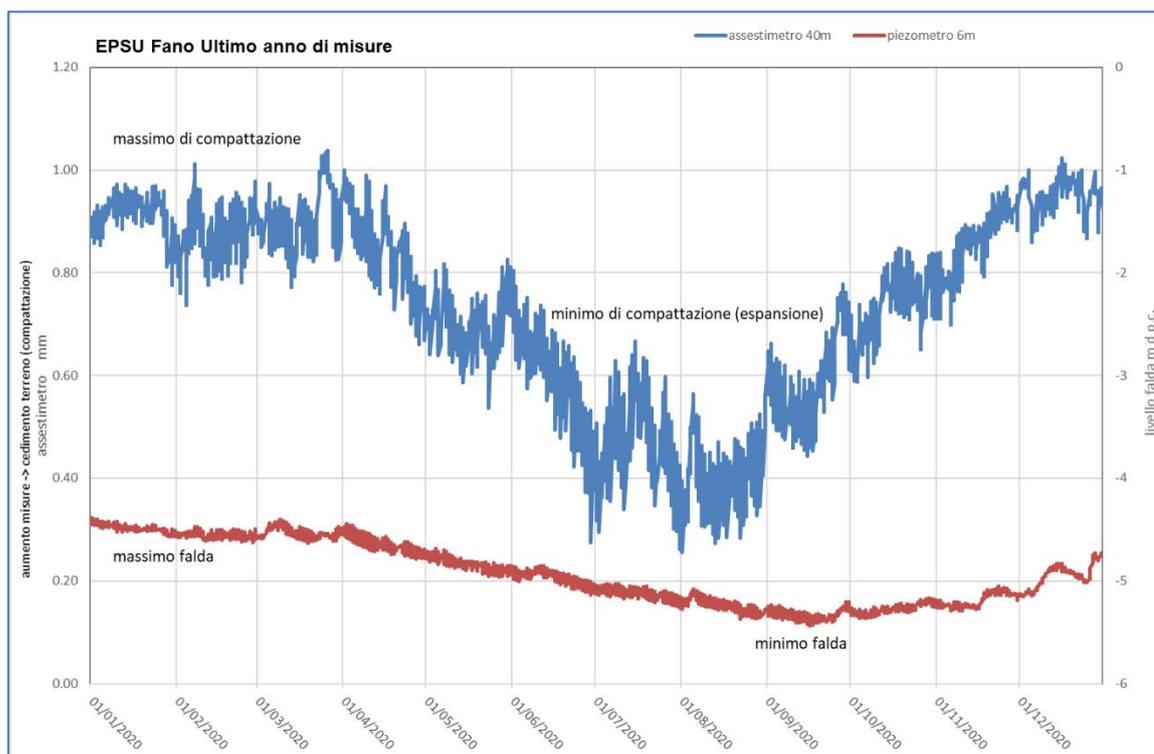
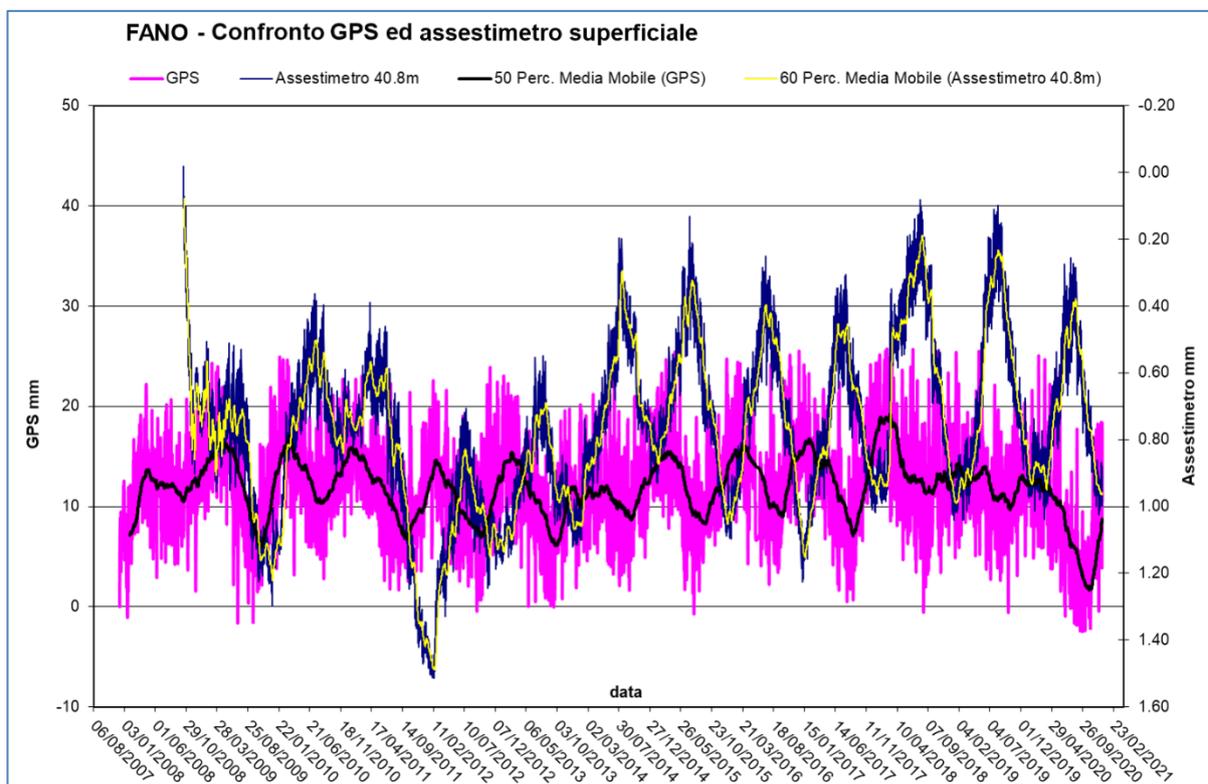


Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.



**Figura 14B - Stazione EPSU di Fano: confronto fra misure CGPS vs. misure 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).*

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 54 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## **Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata luglio 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 e 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 2020 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. Nel corso dell'anno 2020, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, perdurata per l'intero anno, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 22 luglio 2020, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 55 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## 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 22m 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 (leggera 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 però è stata effettuata praticamente solo con i dati sino al 2019; infatti la stazione, a causa di un guasto, nel 2020 ha funzionato solo sino al mese di gennaio, e a causa della situazione pandemica da COVID19 non è stato possibile ripristinarla nel corso di tutto il 2020.

Comunque, considerando il dato molto esiguo a disposizione nel 2020, per quanto riguarda il loro confronto si può ribadire quanto già emerso per gli anni precedenti: 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):

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 56 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

- 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 corso dell'anno 2020, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, perdurata per l'intero anno, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 22 luglio 2020, in cui sono stati fatti i controlli manuali e si è misurato manualmente con freatimetro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori, i piezometri sono da considerarsi affidabili e funzionanti.

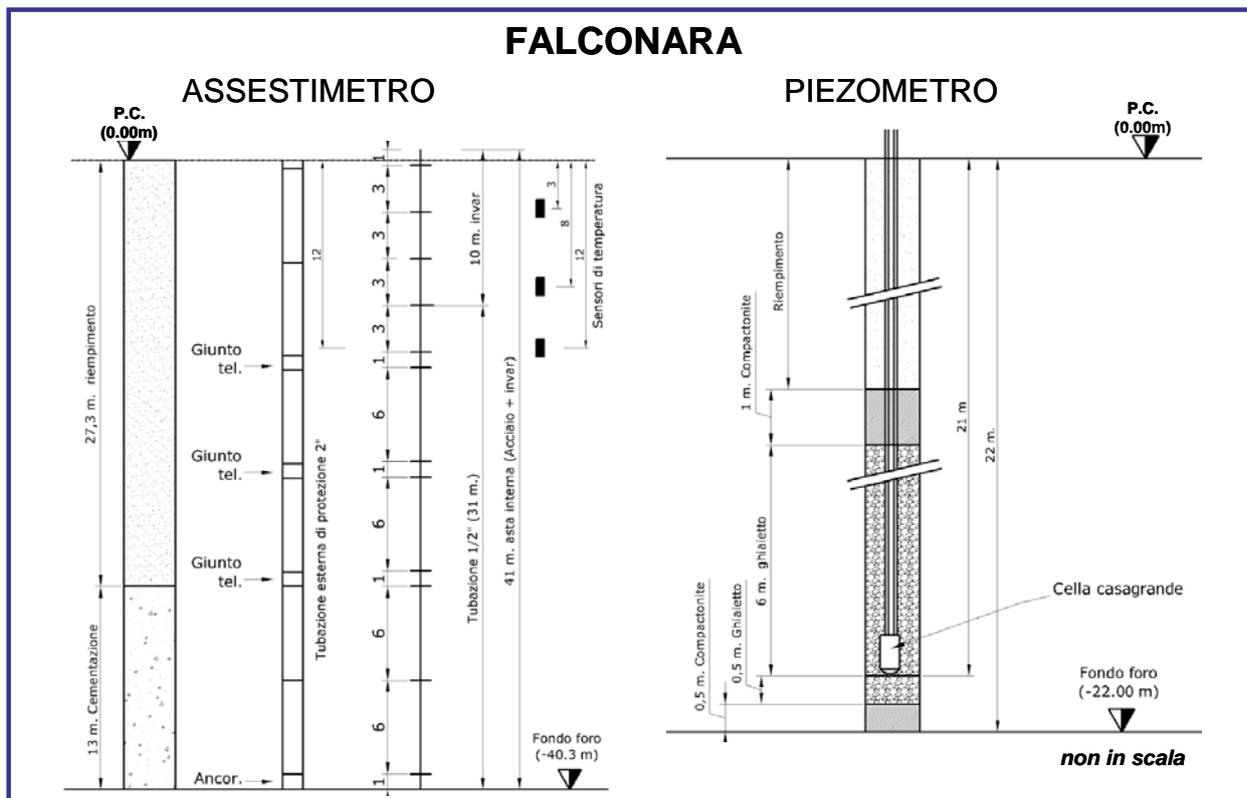


Figura 15B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

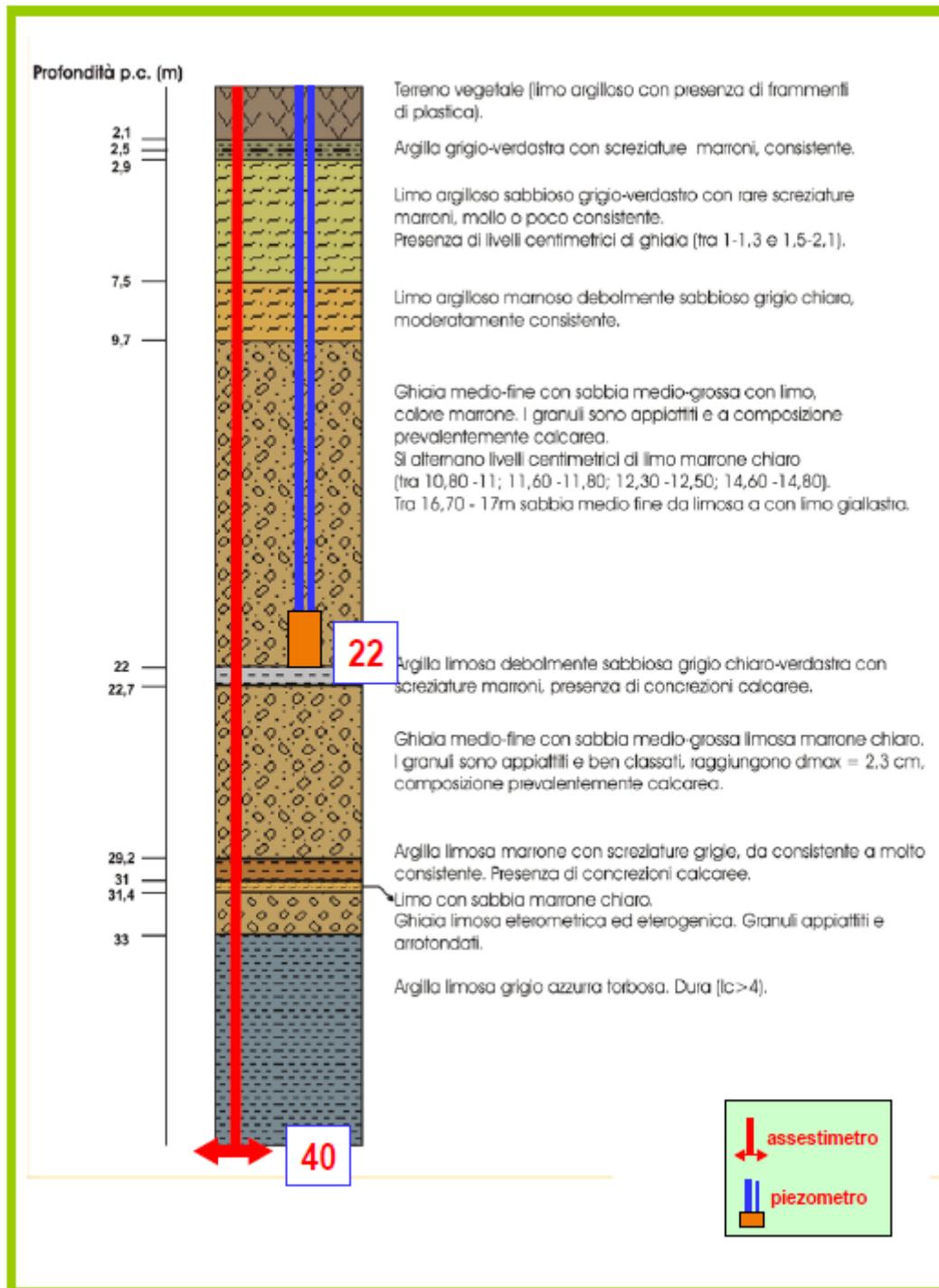


Figura 16B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

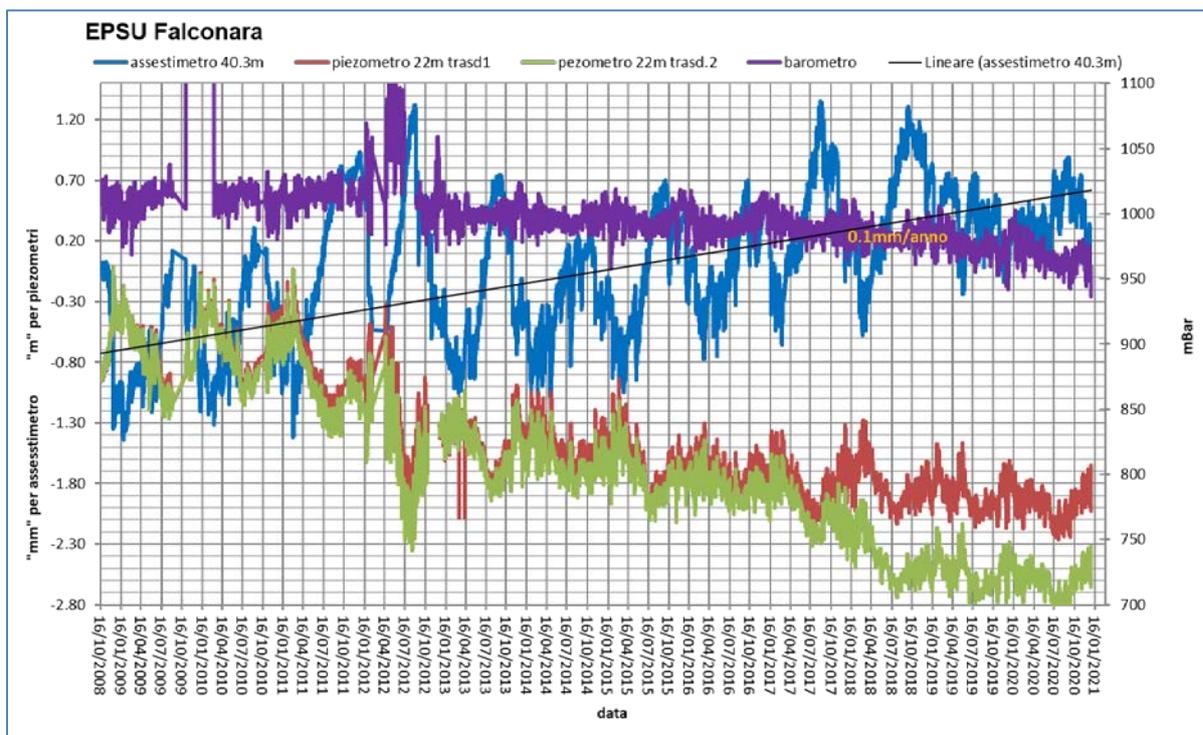


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

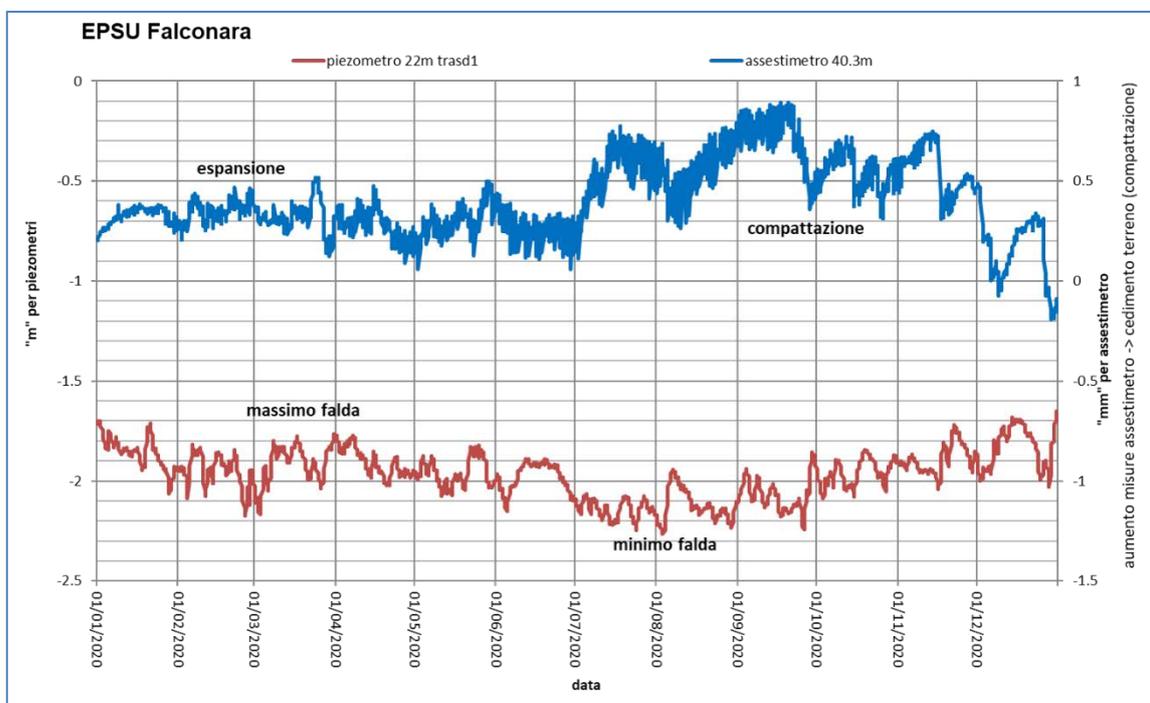


Figura 18B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

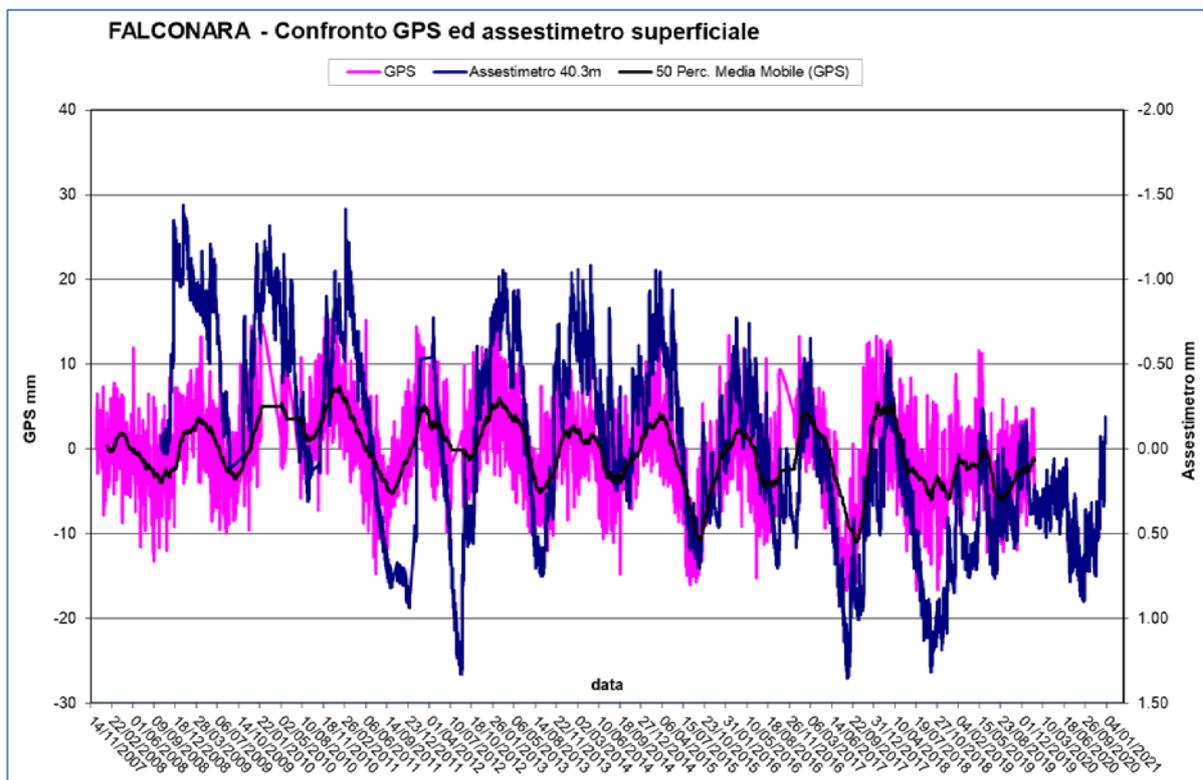


Figura 19B - Stazione EPSU di Falconara: confronto misure CGPS vs. misure assestmetriche

*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 assestmetrica 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).*

|   |  |   |                          |
|---|--|---|--------------------------|
|  <p>Eni spa</p> | <p>Campo di ANNALISA<br/>novembre 2021</p> | <p>Documento<br/>GEODCS_REL2021_ALS</p> | <p>Page - 61 - of 62</p> |
|---|--|---|--------------------------|

## 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 2020, dopo 11.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 33.5 mm, che con un semplice calcolo equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 2.8 mm/a. Tale valore resta uguale, circa 2.8 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 12 e più anni (12.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.96mm). 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 31/12/2020 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2020 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) |
| <b>Rubicone</b>  | 11.73                | 33.5                    | 2.85            | n.i.                      | -               |
| <b>Fano</b>      | 12.21                | n.i.                    | -               | 0.96                      | n.v.            |
| <b>Falconara</b> | 12.21                | n.i.                    | -               | 0.11                      | n.v.            |

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile