


|   |                                     |                                 |                  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 1 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|

## Campo di BARBARA NW

Aggiornamento al 31/12/2019


Il campo di Barbara NW è situato nell'offshore Adriatico circa 55 km a NE di Ancona, a una profondità d'acqua di circa 70 m, nella concessione A.C7.AS evidenziata in Figura 1.

| CONCESSIONE | SCADENZA | OPERATORE | TITOLARI | QUOTA | REGIONE |
|-------------|----------|-----------|----------|-------|---------|
| A.C7.AS     | 12/11/19 | Eni       | Eni      | 100%  | Marche  |

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale asimmetrica orientata in direzione NW-SE, che si estende per circa 10 km<sup>2</sup>. La serie mineralizzata è compresa tra i 1000 e 1300 m slm e interessa i livelli della serie PLQ rappresentata dal Gruppo Asti, F.ne Carola (Figura 2). Il campo di Barbara NW è stato scoperto nel 1971 con il pozzo Barbara NW 1. Il ritrovamento è stato poi confermato nel periodo 1979÷1991 dalla perforazione dei pozzi Barbara NW 2 e 3. Nel 1992 è stato perforato il pozzo Barbara NW 4 risultato sterile. Nell'ottobre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Barbara NW con la perforazione di 4 pozzi e la posa del relativo sealine di collegamento.

Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse* 3D) del settembre 1995. Tale profilo prevedeva il recupero di 2100 MSm<sup>3</sup> di riserve in 18 anni con un picco di produzione giornaliera di 800 kSm<sup>3</sup>/g. La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico Geertsma cilindrico, è risultata pari a 18.6 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 20 anni dall'inizio della produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) era stimato estendersi per circa 3 km verso la costa. Per tale previsione si erano utilizzati i parametri geomeccanici che, con le informazioni disponibili a tale data, venivano considerati come più rappresentativi del comportamento della formazione, in particolare:

- compressibilità uniassiale  $C_m = 0.612 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$ ;
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0.33$ .

|   |                                     |                                 |                  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 2 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|

In seguito al Decreto VIA n° 3477 del 15/12/98 che approvava il programma lavori presentato, nel 1999 si è sviluppato campo con la perforazione dei 4 nuovi pozzi Barbara NW 5, 6, 7 e 8 da una piattaforma di tipo BEAF.

La piattaforma Barbara NW è entrata in produzione nel settembre del 1999 con una portata iniziale di circa 700 kSm<sup>3</sup>/g.

Il comportamento produttivo del campo durante i primi 5 anni è risultato, però, inferiore alle attese a causa dell'arrivo prematuro dell'acqua di formazione, il che ha reso necessaria una revisione dello studio statico e dinamico di giacimento.

Tale revisione, fatta nel maggio 2007, ha dato come risultati:


- 1) riduzione dell'11% del GOIP totale (*GOIP studio statico settembre 1995 pari a 3370 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del maggio 2007 pari a 2983 MSm<sup>3</sup>*);
- 2) riduzione del 49% delle riserve a vita intera del campo sia per effetto del calo del GOIP, sia, soprattutto, per una migliore taratura del contributo dell'acquifero che ha penalizzato il recupero finale di gas. Il nuovo profilo di produzione prevede, infatti, il recupero di 1080 MSm<sup>3</sup> entro il 2024 con graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale d'acqua prodotta.

Sulla base dei risultati dello studio di giacimento del maggio 2007 sono state a loro volta aggiornate le previsioni di subsidenza. A tale scopo si è utilizzato un modello geomeccanico del tipo Geertsma semianalitico con una legge costitutiva di tipo elasto-plastico *CCM (Cam Clay Modificato)* per la roccia serbatoio del giacimento e degli acquiferi idraulicamente connessi. La calibrazione di tale legge costitutiva è stata fatta con i valori compressibilità uniasiale  $C_m$  derivati dalle misure di compattazione in situ eseguite sino al giugno 2003 nei pozzi attrezzati con *marker* dei campi a gas del Nord Adriatico [*Hueckel et al.*<sup>1</sup>].

Dalle simulazioni con modello geomeccanico si è ottenuta una previsione di subsidenza massima di 15.5 cm dopo circa 10 anni dall'inizio produzione e un'estensione massima del cono di subsidenza di circa 12 km verso la costa, che è raggiunta al termine della vita produttiva del campo. La distanza minima della linea d'iso-subsidenza di 2 cm dalla costa è risultata, quindi, pari a 43 km.

---

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

|   |                                     |                                 |                  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 3 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|

Nel corso del 2010, a seguito della presentazione dell'istanza di sviluppo per il vicino campo di Fauzia, si sono di nuovo aggiornati sia il modello di giacimento, sia quello geomeccanico al fine di valutare la possibile subsidenza indotta dalla coltivazione dei due giacimenti, tenendo conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi (la struttura di Fauzia dista da quella di Barbara NW circa 10 km in direzione SW).

La previsione di subsidenza è stata fatta con un modello a elementi finiti (FEM) utilizzando il codice di calcolo Abaqus e considerando diversi scenari di pressione e compressibilità (*rel. Eni-TERA: Campi di Barbara NW e Fauzia – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary – agosto 2010*).


Per lo scenario di riferimento, ritenuto il più probabile, la subsidenza massima prevista è stata pari a 31 cm dopo circa 10 anni (al 2022); il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) a sua volta è risultato estendersi al massimo per 14 km verso la costa al termine della vita produttiva e fino a fine simulazione, esaurendosi a circa 41-42 km dalla linea di costa.

In base alle prime indicazioni ottenute dall'ultima revisione dello studio di giacimento (*rel. GIAC/CS n° 77-09 del 10/2009*), si sono pianificati nel 2010 alcuni interventi finalizzati a migliorare la produzione e il recupero di gas dal giacimento stesso. Il relativo programma operativo prevedeva sia l'esecuzione di un *side-track* del pozzo Barbara NW 8 dir, sia la perforazione di due nuovi pozzi da "slot" ancora disponibili sulla piattaforma di Barbara NW (Barbara NW 9 dir e Barbara NW 10 dir).

In seguito ai risultati positivi ottenuti con l'esecuzione dei tre pozzi di progetto e in considerazione del notevole interesse minerario dei livelli sottili profondi mineralizzati a gas, si è modificato il programma iniziale perforando nel settore orientale del campo altri due *side-track*: Barbara NW 7 dirB e Barbara NW 6 dirA.

L'intervento sulla piattaforma Barbara NW è terminato nel dicembre 2011.

Le nuove informazioni sul giacimento acquisite con gli interventi sopra menzionati e le migliori performance del campo hanno, inoltre, portato a un'ulteriore revisione/aggiornamento dello studio di giacimento, sia statico che dinamico (*rel. GISE 33/12 - Campo di Barbara NW - Studio di giacimento - dicembre 2012*) che ha prodotto i seguenti risultati:

|   |                                     |                                 |                  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 4 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|

1. rivalutazione del GOIP dei livelli sviluppati del campo pari al 175% (*GOIP studio statico maggio 2007 pari a 2983 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del dicembre 2012 pari a 8200 MSm<sup>3</sup>*);
2. conseguente incremento del 142% delle riserve a vita intera del campo. Il nuovo profilo di produzione prevede, infatti, il recupero di 2646 MSm<sup>3</sup> entro il 2029 con graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale d'acqua prodotta.

Sulla base dei risultati dello studio di giacimento sono state riviste le previsioni di subsidenza considerando ancora i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica tra il campo di Barbara NW e quello di Fauzia (*rel. Eni-TERA n° 04-13 dell'aprile 2013*).

Nel corso del 2016 è stato nuovamente aggiornato il modello di giacimento (*rel. GISE 04/16- Nota tecnica per proposta 2ST- febbraio 2016*) per valutare la fattibilità di un intervento di W.O. che prevedeva la perforazione di 2 *side-track*. Il primo *side-track*, BNW 5dirB, è stato perforato a dicembre 2017 mentre BNW 9dirA è stato perforato agli inizi del 2018 ed è entrato in produzione nel aprile 2018.

Nel 2017 un ultimo aggiornamento del modello di giacimento ha stimato le riserve a vita intera del campo in 2737 MSm<sup>3</sup> (*Campo di Barbara NW- relazione Eni-GISE 09/2017- Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico - Scheda Riassuntiva - settembre 2017*). In Figura 3 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g) e della produzione cumulativa di gas al 31/12/19 pari a 2168 MSm<sup>3</sup> (Figura 4, Figura 5 e Figura 6). La Figura 7 presenta, invece, il confronto tra il profilo di pressione calcolato dal modello *Eclipse* del settembre 2017 e le pressioni statiche misurate per i livelli più rappresentativi del campo (i.e. PLQ-B+C1, PLQ-C1+C2 e PLQ-B+C1+C2+C4). Tale confronto mostra come le previsioni sull'andamento futuro della pressione di giacimento si possano ritenere affidabili. Sulla base dei risultati di quest'ultimo studio di giacimento sono state anche aggiornate le previsioni di subsidenza, per le quali si è sempre tenuto conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica tra i campi di Barbara NW e di Fauzia (*Campi di Barbara NW e Fauzia – Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary – Relazione REIT 04/2017 del dicembre 2017*).

In questo aggiornamento si sono considerati due possibili scenari produttivi:

- caso DN: Barbara NW caso "Do Nothing" e Fauzia caso "Do Nothing";

- caso SVIL: Barbara NW caso “DN e 2 *side-track* (BNW9dirA e BNW5dirB)” e Fauzia caso “DN con stimolazione acida del pozzo Fauzia 3 dir e apertura completamenti esclusi string lunga di Fauzia 2”.

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

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

- DN\_MNO2: scenario di produzione DN e scenario di comprimibilità MNO2;
- SVIL\_MNO2: scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità MNO2;
- DN\_M2: scenario di produzione DN e scenario di comprimibilità M2;
- SVIL\_M2: scenario di produzione SVIL e scenario di comprimibilità M2.


Tutte le previsioni sono state protrate fino al 2068 onde considerare l’effetto dell’evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero anche dopo la fine della produzione. Le previsioni di massima subsidenza ed estensione del relativo cono sono riportate a quattro date significative nella Tabella 1 per i due scenari di compressibilità relativamente al caso produttivo SVIL.

**Tabella 1: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per lo scenario produttivo SVIL**

|           | 1-gen-2017   |                     | 1-gen-2029   |                     | 1-gen-2038   |                     | 1-gen-2068   |                     |
|-----------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
|           | Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) | Max sub (cm) | Max estensione (km) |
| SVIL_MNO2 | 34           | 7                   | 44           | 12                  | 44           | 12                  | 41           | 13                  |
| SVIL_M2   | 57           | 7                   | 73           | 12                  | 71           | 12                  | 67           | 13                  |

Si noti come in tutti i casi esaminati il cono di subsidenza si esaurisca sempre a una distanza di circa 42 km dalla linea di costa (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*

|   |                                     |                                 |                  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 6 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|

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

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

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

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

Tale rete è suddivisa nei seguenti tronchi di livellazione:

- dorsale Adriatica, da Treviso fino a Pesaro, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po, per un totale di circa 1200 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 210 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare.

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

Si ritiene opportuno sottolineare, inoltre, che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti, a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell’ente certificatore è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra Pineto e P.to Sant’Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d’ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara. Nel tratto di costa da Pesaro a P.to San Giorgio, antistante alla piattaforma di Barbara NW, con l’acquisizione della campagna 2017 sono in totale disponibili 7 campagne di livellazione fatte negli anni 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2014 e 2017. In Figura A viene rappresentato l’andamento altimetrico lungo la tratta Pesaro – P.to Sant’Elpidio durante il periodo 2006-2017. Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura (il prossimo rilievo è previsto nel 2020) e con il consolidamento dei dati CGPS e dei rilievi SAR, sarà possibile fare interpretazioni più puntuali dei dati di livellazione anche per il tratto a sud di Pesaro. Si deve notare,

inoltre, che i dati di livellazione, misurati sul singolo caposaldo, non sono di solito sufficienti per caratterizzare la distribuzione areale della subsidenza. Tali misure, infatti, possono essere talvolta alterate da “disturbi” accidentali intervenuti nel tempo sui manufatti su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati. Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori, come di seguito specificato. A questo proposito si sono stimate con regressione lineare le velocità medie annue d’abbassamento del suolo  $V_a^2$  dei singoli capisaldi della tratta Pesaro - P.to Sant’Elpidio, raggruppandole poi nelle seguenti 5 classi:

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


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



L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 2006-2017 mostra per l’area in esame, pur nell’ambito di un quadro di generale ma leggero abbassamento

<sup>2</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, come pure nei due paragrafi successivi, le velocità di subsidenza sono state rappresentate con valori positivi.



|   |                                     |                                 |                  |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 8 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|

(Figura A), una marcata stabilità altimetrica a partire da Fano fino a P.to S. Giorgio: si consideri che il 93% dei punti analizzati ricade nella classe 1 con una media pari a 1.6 mm/a.

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

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

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

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2019) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 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 (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016).

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una trave di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice B); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione



superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

Inoltre, come detto in precedenza, sono state monumentate altre 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, il cui completamento è avvenuto nel dicembre 2009, tutte equipaggiate con 2 bersagli radar e con un caposaldo di livellazione.

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è, però, più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, infine, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico (completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017) che, una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, entrerà a fare parte delle stazioni utilizzate per il monitoraggio della stabilità della costa.


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

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma di Barbara-NW, certificati fino al 2017 e in fase di certificazione per gli anni successivi, sono stati elaborati con il software scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2019 (Figura 11), si sono utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati come mostrato in Tabella 2.

**Tabella2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2017**

| Stazione      | Dati Non Certificati |               |               | Dati Certificati |               |               | Delta<br>(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/<br>a |
| Barbara<br>NW | 6.16                 | 32.82         | -29.11        | 5.91             | 33.06         | -29.73        | 0.25                       | -0.24       | 0.62            |

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.


|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 10 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

L'Ente certificatore, infatti, verifica e valida i dati registrati al fine di poter disporre di un numero sufficiente di osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e per poter filtrare il "rumore" che, per piccole velocità di subsidenza, è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico 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 < 12mesi: solo *follow up* per monitoraggio dei dati acquisiti;
- dataset di 12 ÷ 36 mesi e
  - piccoli valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
  - grandi valori di subsidenza attesi: analisi tendenziale del fenomeno per calibrazione del modello previsionale;
- dataset > 36 mesi: analisi di trend e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

Le elaborazioni sono state fatte con *software* scientifico Bernese, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). 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.

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 11 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|


Per il campo di Barbara-NW, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi - anche se parzialmente incompleta a causa delle operazioni di *work-over* in piattaforma da agosto 2010 a luglio 2011 - è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>3</sup> pari a -26.87 mm/a (Figura 11 e Figura 13), senza variazioni significative rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-27.85 mm/a nel 2018). 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).

In particolare:

- periodo che va dall'installazione del CGPS al gennaio 2011, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -5.35 mm/a;
- periodo gennaio 2011 - gennaio 2015, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -47.63 mm/a;
- periodo gennaio 2015 – gennaio 2018, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -8.22 mm/a;
- periodo gennaio 2018 – dicembre 2019, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -20.72 mm/a.

Si segnala altresì che eventuali piccole differenze nelle stime delle velocità, che si possono verificare rielaborando in epoche successive i dati CGPS, dipendono anche dal fatto che l'aggiornamento delle serie storiche comporta sia l'elaborazione di un modello periodico più attendibile, sia la ridefinizione degli outliers, che sono determinati mediante il test a tre sigma su tutta la serie storica esistente. Le elaborazioni delle nuove serie storiche sono state influenzate sia dal cambio del sistema di riferimento (da ITRF2008Igb08 a ITRF2014) sia dall'utilizzo della nuova release del software scientifico Bernese (da 5.0 a 5.2). Entrambe le condizioni hanno introdotto modeste variazioni nelle velocità medie pregresse, dovute anche al ricalcolo delle serie storiche delle stazioni di riferimento. In particolare, le verifiche effettuate hanno mostrato che tali condizioni possono determinare un aumento

<sup>3</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 S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 12 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

della velocità di subsidenza dell'ordine di 0.5 mm/anno, anche sulle serie storiche delle stazioni di riferimento. Tenuto conto di quanto sopra detto si sono confrontati i valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del dicembre 2017 con quelli misurati dalla stazione CGPS, senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale. Come mostrato dalla Figura 14, tale confronto conferma l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza e le previsioni fornite relativamente allo scenario di riferimento.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza, la notevole distanza del campo dalla costa (55km) e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dal campo di Barbara NW possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala infine che:

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



Figura 1 - Ubicazione del campo di Barbara NW

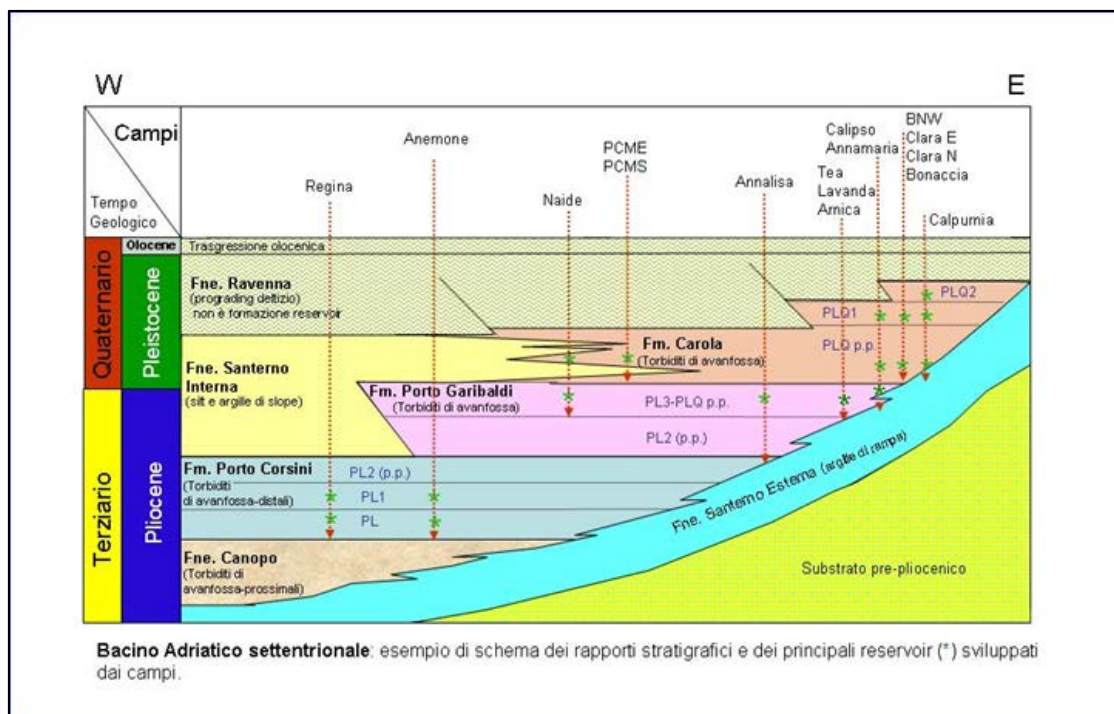


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

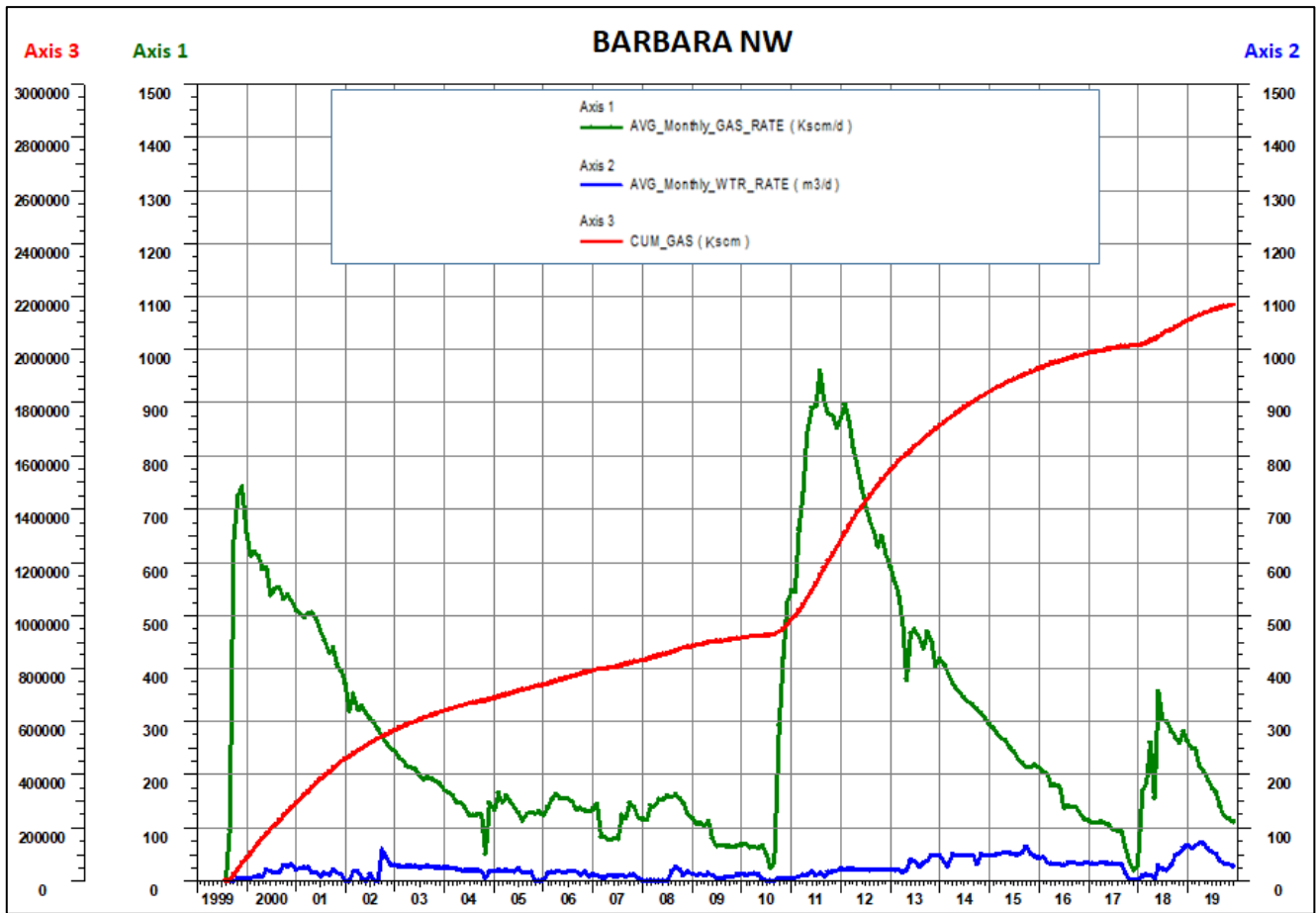


Figura 3 - Campo di Barbara NW: grafico della produzione storica



| CAMPO DI BARBARA NW |  |                    |   |                    |  |
|---------------------|--|--------------------|---|--------------------|--|
| 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 |  |
| 1999                | 67                                     | 67                 | 67  | 67                 | 2%   |
| 2000                | 211                                    | 211                | 278                                       | 278                | 10%  |
| 2001                | 170                                    | 170                | 449                                       | 449                | 16%  |
| 2002                | 112                                    | 112                | 560                                       | 560                | 20%  |
| 2003                | 76                                     | 76                 | 636                                       | 636                | 23%  |
| 2004                | 49                                     | 49                 | 686                                       | 686                | 25%  |
| 2005                | 50                                     | 50                 | 736                                       | 736                | 27%  |
| 2006                | 53                                     | 53                 | 788                                       | 788                | 29%  |
| 2007                | 40                                     | 40                 | 829                                       | 829                | 30%  |
| 2008                | 53                                     | 53                 | 881                                       | 881                | 32%  |
| 2009                | 31                                     | 31                 | 912                                       | 912                | 33%  |
| 2010                | 53                                     | 53                 | 966                                       | 966                | 35%  |
| 2011                | 292                                    | 292                | 1258                                      | 1258               | 46%  |
| 2012                | 272                                    | 272                | 1529                                      | 1529               | 56%  |
| 2013                | 174                                    | 174                | 1703                                      | 1703               | 62%  |
| 2014                | 130                                    | 130                | 1832                                      | 1832               | 67%  |
| 2015                | 91                                     | 91                 | 1923                                      | 1923               | 70%  |
| 2016                | 60                                     | 60                 | 1983                                      | 1983               | 72%  |
| 2017                | 32                                     | 36                 | 2015                                      | 2019               | 74%  |
| 2018                | 87                                     | 113                | 2102                                      | 2131               | 77%  |
| 2019                | 67                                     | 108                | 2168                                      | 2240               | 79%  |
| 2020                |  | 96                 |   | 2336               |  |
| 2021                |  | 88                 |   | 2424               |  |
| 2022                |  | 79                 |   | 2503               |  |
| 2023                |  | 60                 |   | 2563               |  |
| 2024                |  | 46                 |   | 2609               |  |
| 2025                |  | 35                 |   | 2644               |  |
| 2026                |  | 27                 |   | 2671               |  |
| 2027                |  | 19                 |   | 2689               |  |
| 2028                |  | 14                 |   | 2703               |  |
| 2029                |  | 10                 |   | 2714               |  |
| 2030                |  | 8                  |   | 2721               |  |
| 2031                |  | 6                  |   | 2727               |  |
| 2032                |  | 4                  |   | 2731               |  |
| 2033                |  | 3                  |   | 2734               |  |
| 2034                |  | 2                  |   | 2736               |  |
| 2035                |  | 1                  |   | 2737               |  |

Figura 4 - Campo di Barbara NW: produzione reale e da modello Eclipse 2017

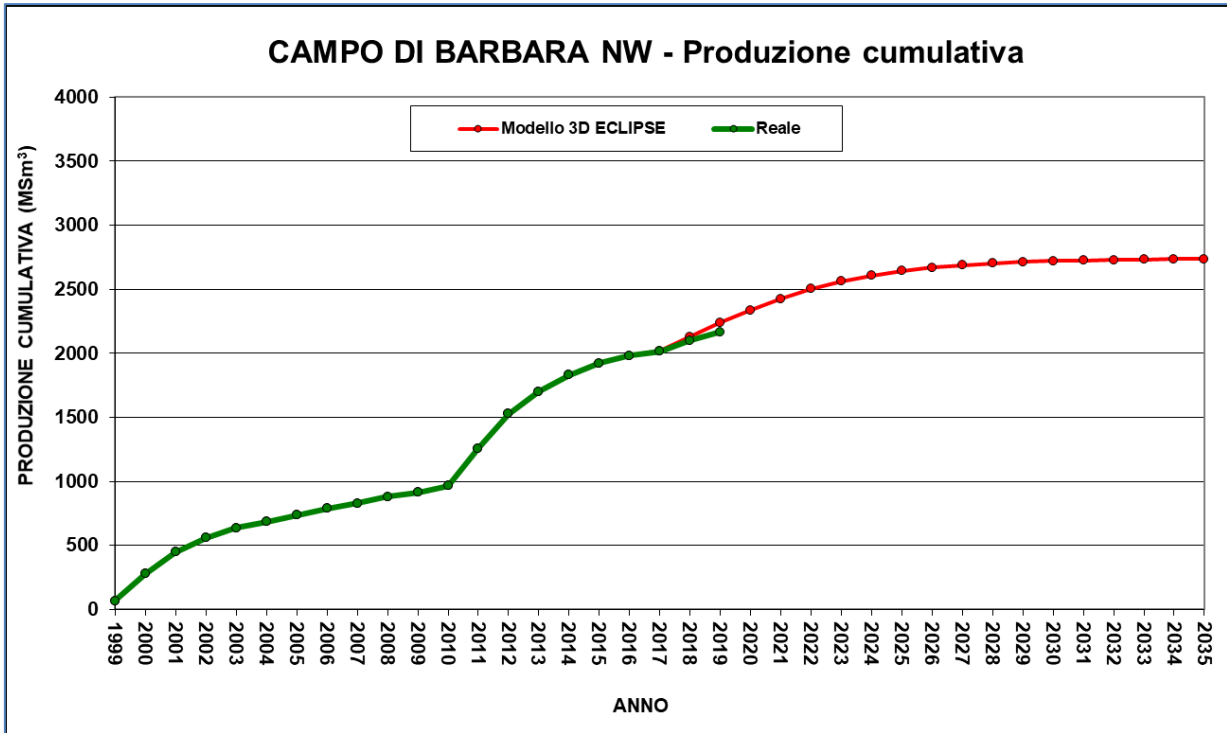


Figura 5 - Campo di Barbara NW: grafico di produzione reale e da modello Eclipse 2017

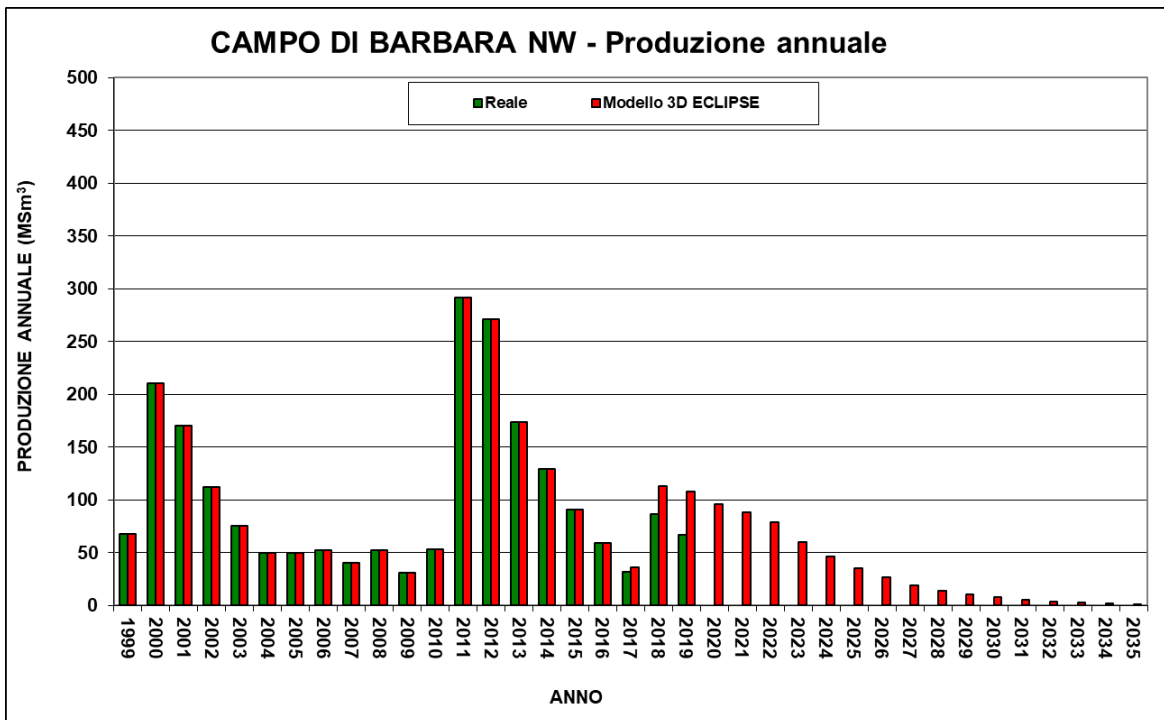


Figura 6 - Campo di Barbara NW: produzioni (annuale) reale e da modello Eclipse 2017

| CAMPO DI BARBARA NW |                   |              |                   |                  |              |                   |                         |              |                   |
|---------------------|-------------------|--------------|-------------------|------------------|--------------|-------------------|-------------------------|--------------|-------------------|
| Data                | Livelli PLQ-C1+C2 |              |                   | Livelli PLQ-B+C1 |              |                   | Livelli PLQ-B1+C1+C2+C4 |              |                   |
|                     | Pressione (bara)  | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara) | RFT in pozzo | Profilo in string | Pressione (bara)        | RFT in pozzo | Profilo in string |
| 14/03/1999          | 112               | 6 Dir        |                   | 111              | 6 Dir        |                   |                         |              |                   |
| 25/11/2004          | 99                |              | 6 C               | 92               |              | 7 C               |                         |              |                   |
| 31/01/2008          |                   |              |                   | 101              |              | 7 C               |                         |              |                   |
| 15/02/2010          | 102               |              | 6 C               | 97               |              | 7 C               |                         |              |                   |
| 02/09/2010          | 104               | 10 Dir       |                   | 104              | 10 Dir       |                   |                         |              |                   |
| 19/05/2011          | 101               | 5 Dir A      |                   |                  |              |                   |                         |              |                   |
| 23/10/2013          | 100               |              | 9 L               |                  |              |                   |                         |              |                   |
| 02/12/2014          | 99                |              | 9 L               |                  |              |                   |                         |              |                   |
| 10/08/2015          | 100               |              | 9 L               |                  |              |                   |                         |              |                   |
| 06/10/2016          | 101               |              | 9 L               |                  |              |                   |                         |              |                   |
| 06/07/2017          | 100               |              | 9 L               |                  |              |                   |                         |              |                   |
| 04/06/2018          |                   |              |                   |                  |              |                   | 100                     |              | 9 C               |
| 14/11/2019          |                   |              |                   |                  |              |                   | 98                      |              | 9 C               |

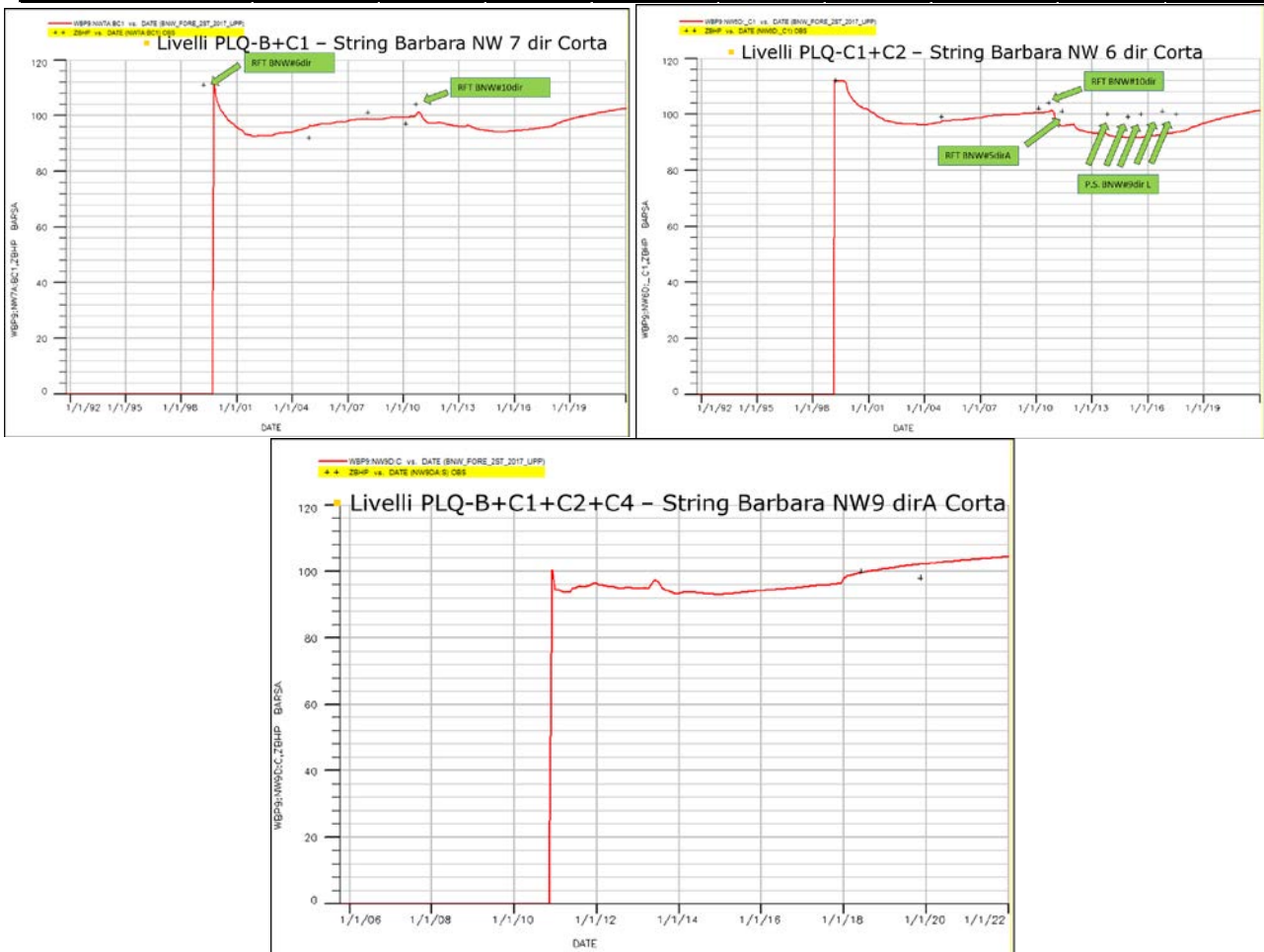


Figura 7 - Campo di Barbara NW: confronto tra i dati di pressione misurati e modello Eclipse (livelli PLQ-B+C1, PLQ-C1+C2, PLQ-B+C1+C2+C4)

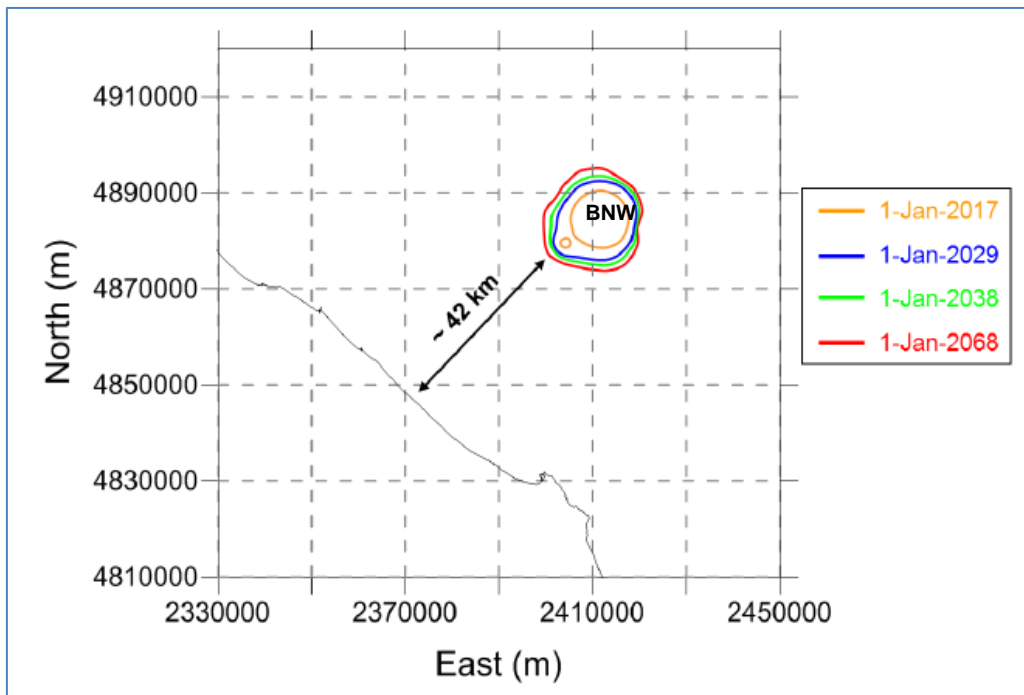


Figura 8 - Campo di Barbara NW e Fauzia: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario SVIL\_MNO2

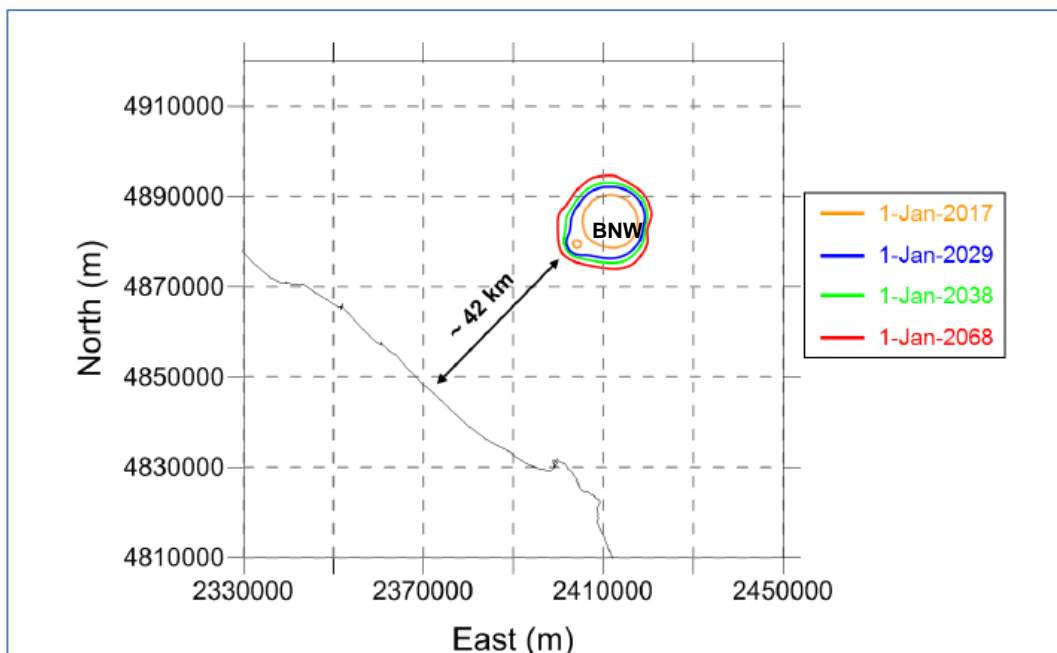


Figura 9 - Campo di Barbara NW e Fauzia: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario SVIL\_M2

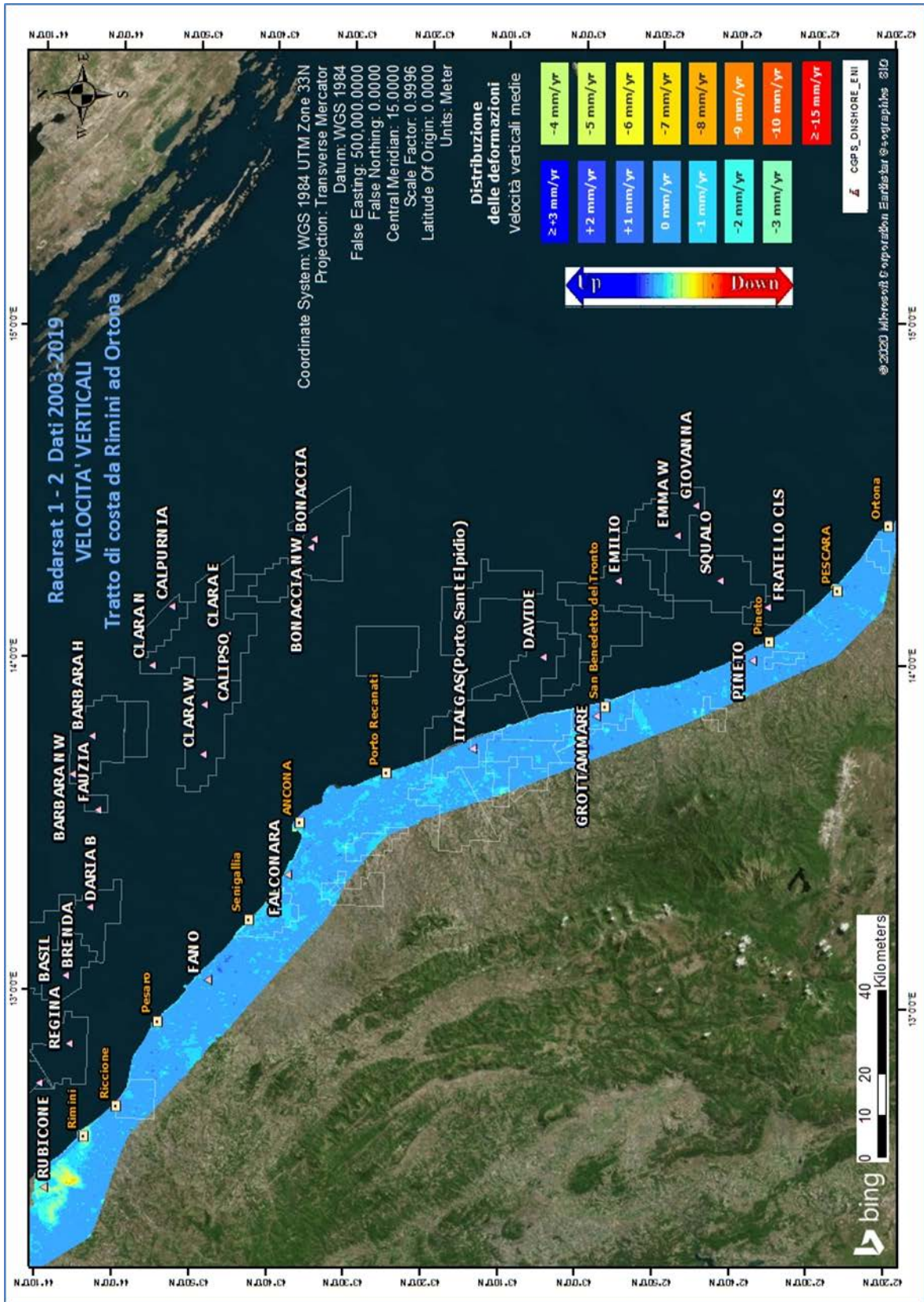
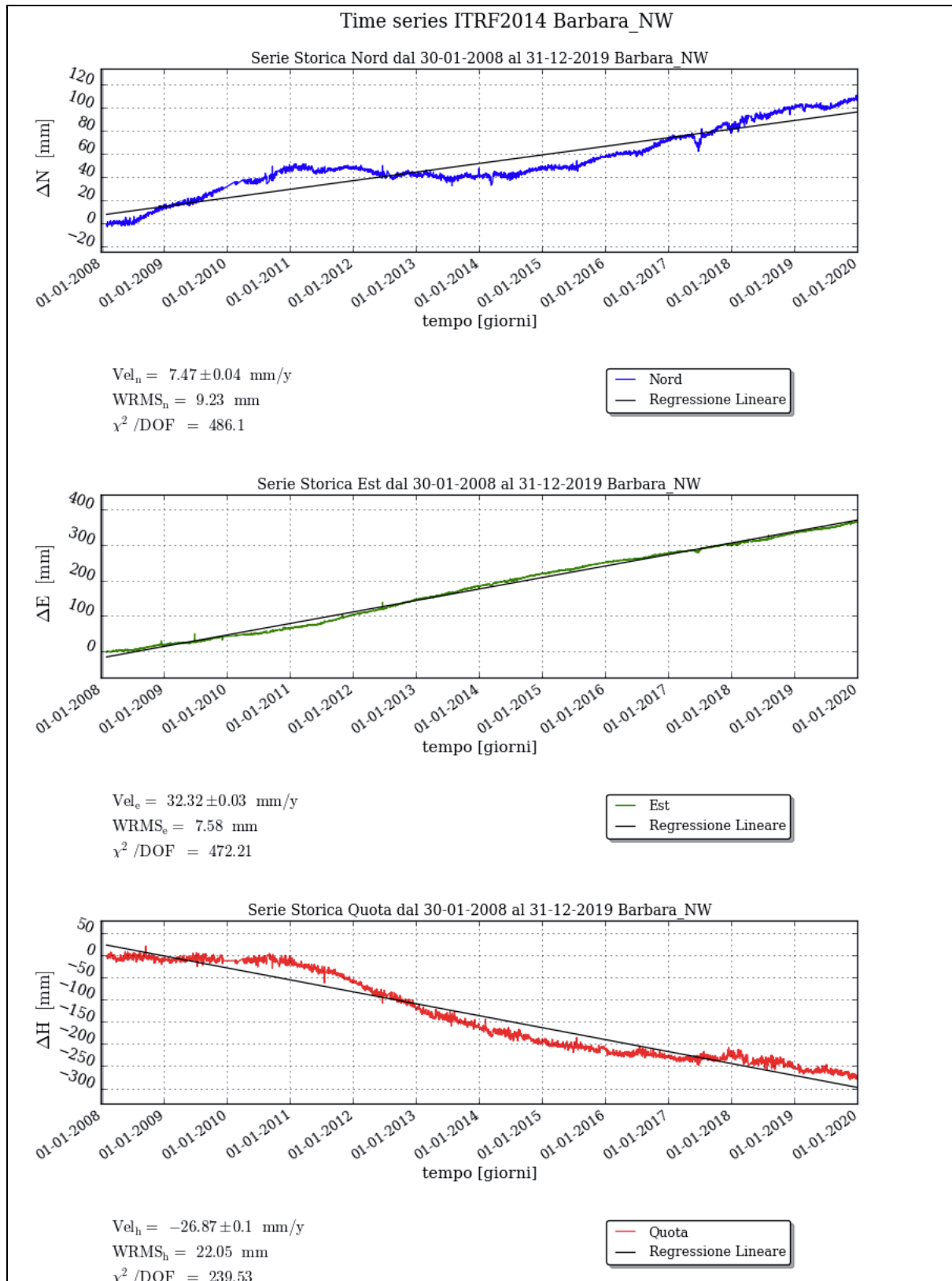


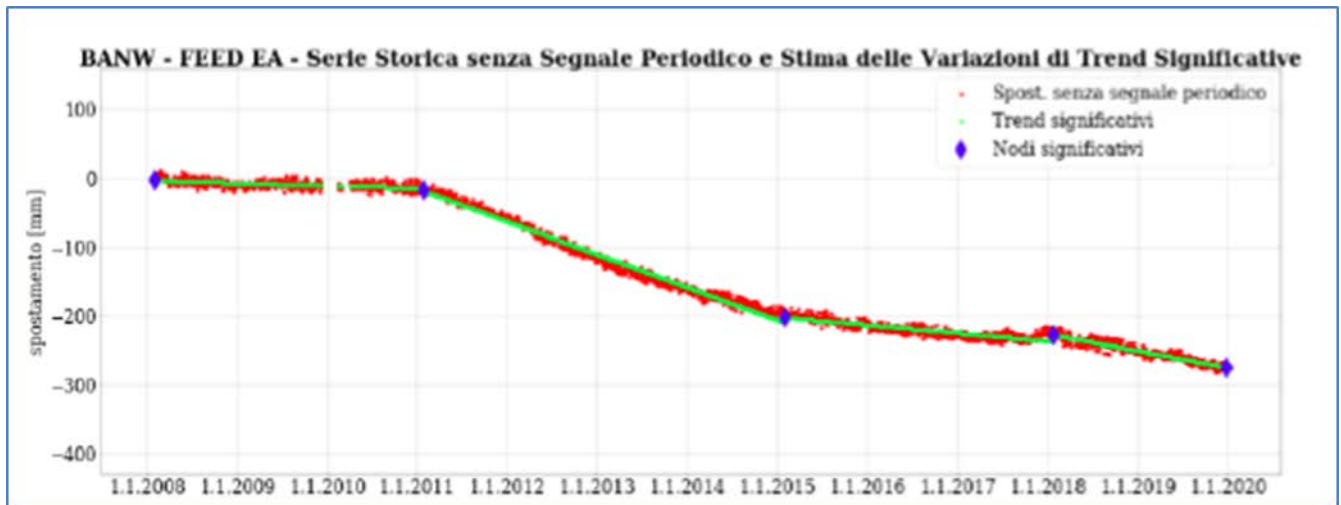
Figura 10 - Campo di Barbara NW: analisi dati SAR dal 2003 al 2019





**Figura 11 - Campo di Barbara NW: serie storica di misure CGPS**



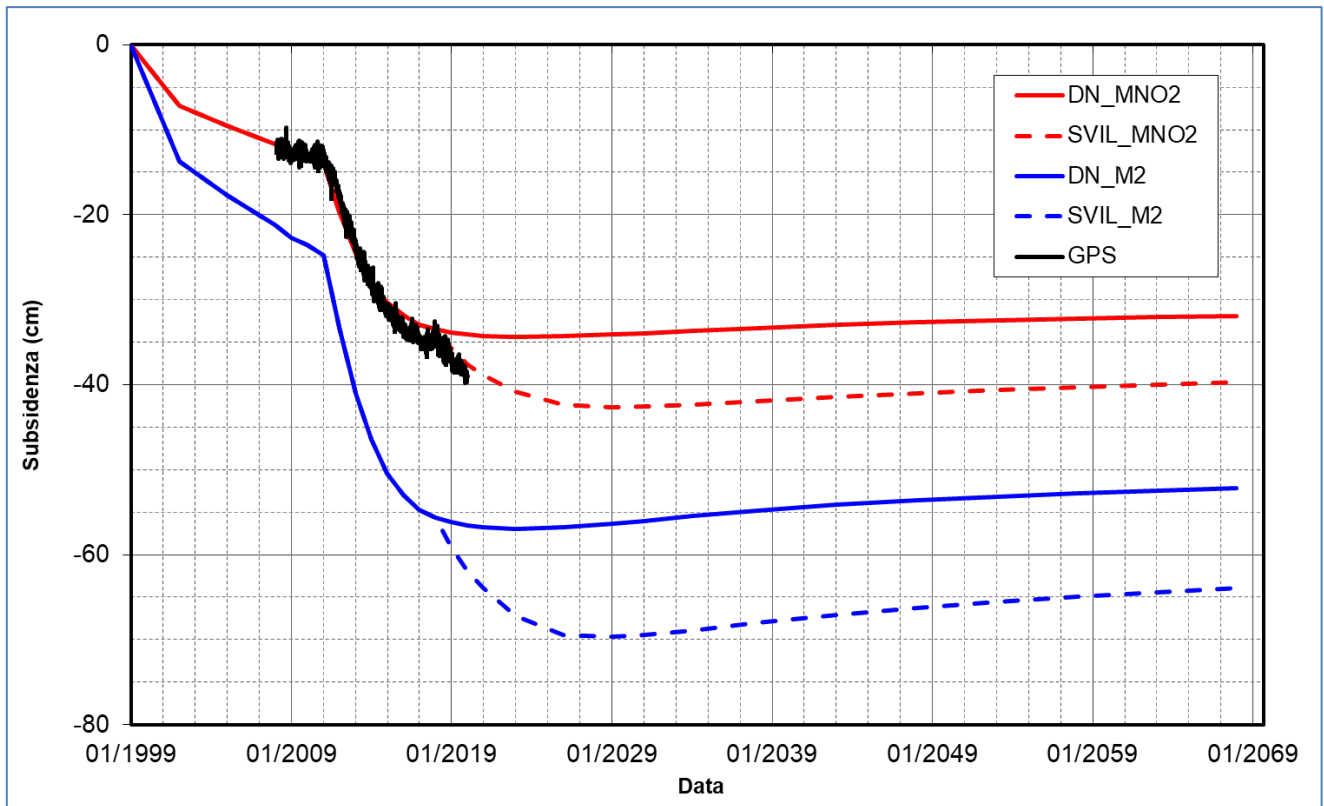


| FEED PP - MODELLO EMPIRICO |                    |                 |  |
|----------------------------|--------------------|-----------------|--|
| Periodo                    | velocità<br>[mm/y] | sigma<br>[mm/y] |  |
| 30/01/2008 - 29/01/2011    | -5.35              | 0.23            |  |
| 29/01/2011 - 28/01/2015    | -47.63             | 0.10            |  |
| 28/01/2015 - 27/01/2018    | -8.22              | 0.14            |  |
| 27/01/2018 - 31/12/2019    | -20.72             | 0.31            |  |

Figura 12 - Campo di Barbara NW: analisi della serie storica di misure CGPS

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

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



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

| campo BARBARA NW (Eni 100%)                        |   |  |  |
|--|---|--|--|
| DATI DI CAMPO                                      |   | DECRETO VIA n. 3477 del 15 DICEMBRE 1998 |  |
| UBICAZIONE   | AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (BARBARA NW)   |  |  |
| PROFONDITA' FONDALE                                | STUDIO DI GIACIMENTO  |  |  |
| LITOLOGIA  | SIA   |  | ULTIMO AGGIORNAMENTO   |
| FORMAZIONE RESERVOIR                               | MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "SETT. 95"   |  | Agg. studio giac. per studio geomecc. Doc. GSE-09/17 (sett 2017) |
| ZONA MINERARIA                                     | RISERVE (MSm <sup>3</sup> )   |  | 2737   |
| PROFONDITA' RESERVOIR                              | MOD. GEOMECCANICO   |  | ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ DIC. 2017                             |
| TIPO DI PIATTAFORMA                                | MAX. SUBS. AL CENTRO (cm)   |  | 44 cm nel 2029 - scenario SVL_MNO2                               |
| CARATTERISTICHE GEOLOGICHE                         | MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)  |  | 42 km @ 2068   |
| STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI                     |   |  |  |
| CONCESSIONE  | LIVELLAZIONI  |  |  |
| DATA SCADENZA CONCESSIONE                          | ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014 e 2017.   |  |  |
| N. POZZI   | MARKERS   |  |  |
| RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm <sup>3</sup> ) | NON PRESCRITTI  |  |  |
| START UP PRODUZIONE                                | CGPS  |  |  |
| FINE PRODUZIONE PREVISTA                           | NEL CORSO DEL 2007 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 SONO STATI INSTALLATI 2 CGPS NELLE CENTRALI ENI DI FANO E FALCONARA (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA   |  |  |
| GA S PRODOTTO (MSm <sup>3</sup> )                  | SAR   |  |  |
| % RISERVE PRODOTTE                                 | ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC. 2019 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI PER L'INSERIMENTO DELLA P.M.A BARBARA NW NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO |  |  |

**Figura 15 - Campo di Barbara NW: scheda di sintesi dati campo**

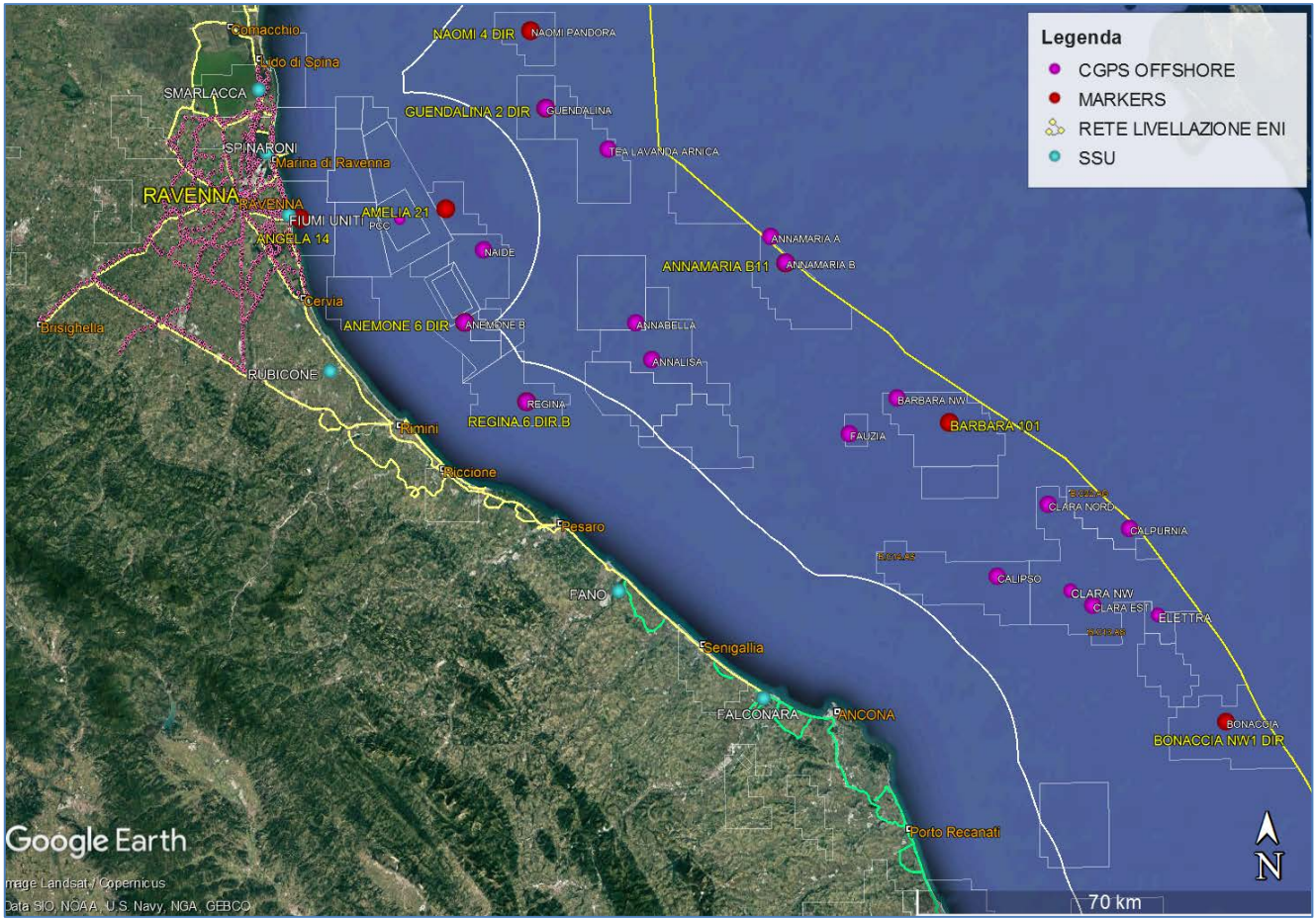


Figura 16 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2019

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

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

### Analisi dati InSAR 2003 – 2019

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

Da un'analisi delle differenze tra le velocità medie annuali misurate dai CGPS presenti nell'area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer) presenti in un intorno di circa 300 m centrato nel corrispondente CGPS (Tab. 1), si è scelto di 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  $sqm\_CGPS$ ; la media delle velocità verticali dei permanent scatterers nell'intorno avente come centro il CGPS corrispondente  $Media\_V\_SAR$ , e il corrispondente scarto quadratico medio  $sqm\_SAR$ ; la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio. Tutte le misure sono in millimetri/anno.

|                 | CGPS        | $V_{vert\_CGPS}$<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   | -6,16                       | 0,01                   | -3,39                      | 1,21                  | -2,77                                | 1,22                   |
|                 | SPINARONI   | -7,80                       | 0,01                   | -3,97                      | 0,91                  | -3,83                                | 0,92                   |
|                 | FIUMI UNITI | -13,73                      | 0,02                   | -11,19                     | 3,35                  | -2,54                                | 3,37                   |
| FANO-<br>ANCONA | RUBICONE    | -2,64                       | 0,03                   | -2,93                      | 1,81                  | 0,29                                 | 1,84                   |
|                 | FANO        | 0,1                         | 0,02                   | 0,13                       | 0,82                  | -0,03                                | 0,84                   |
|                 | FALCONARA   | -0,31                       | 0,02                   | -0,22                      | 1,50                  | -0,09                                | 1,52                   |
|                 | ITALGAS     | -0,06                       | 0,02                   | 0,46                       | 0,72                  | -0,52                                | 0,74                   |

Tab. 1. Taratura dato InSAR con misure CGPS



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

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

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

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

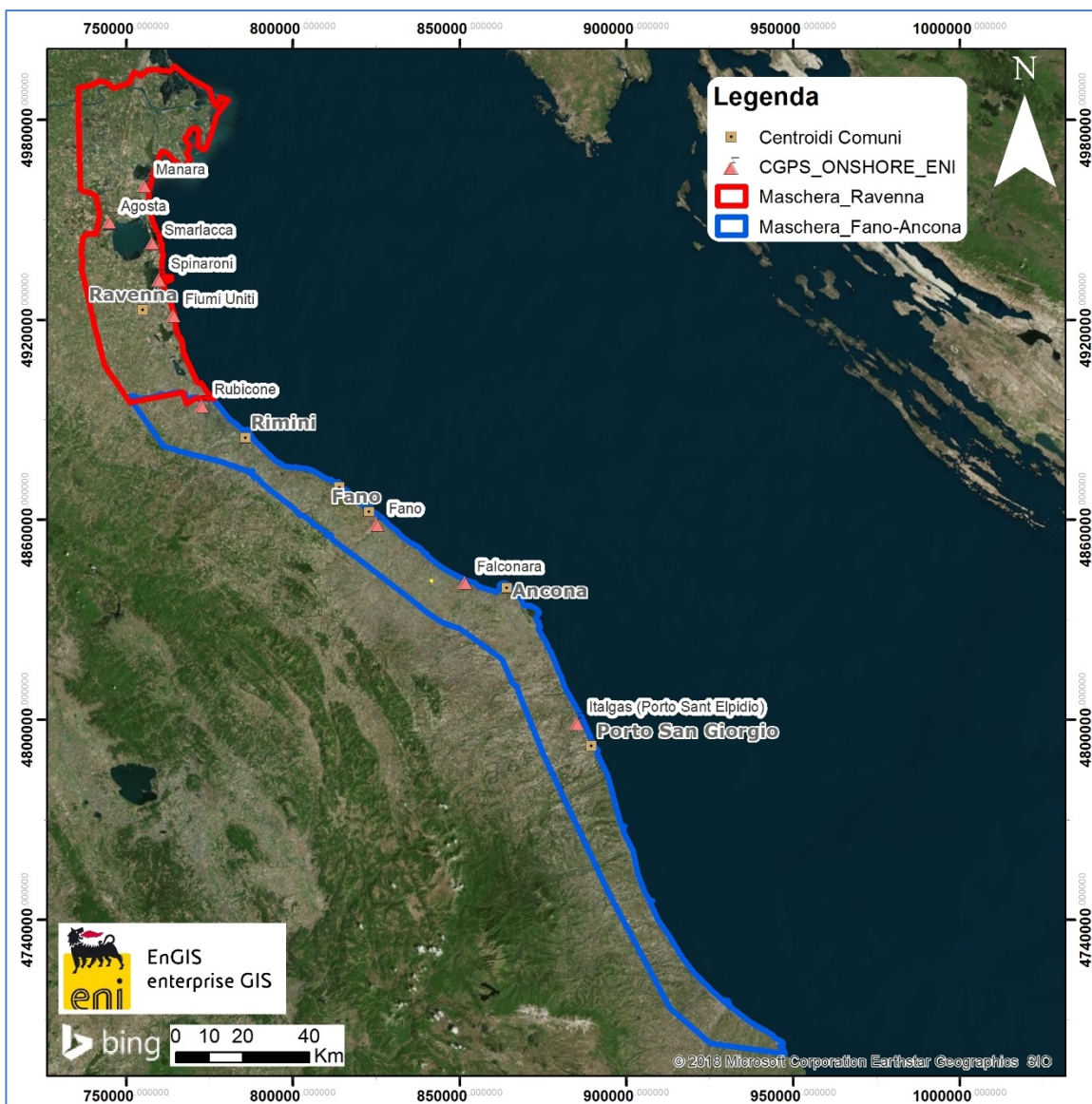



Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 26 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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

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

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

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

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

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

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



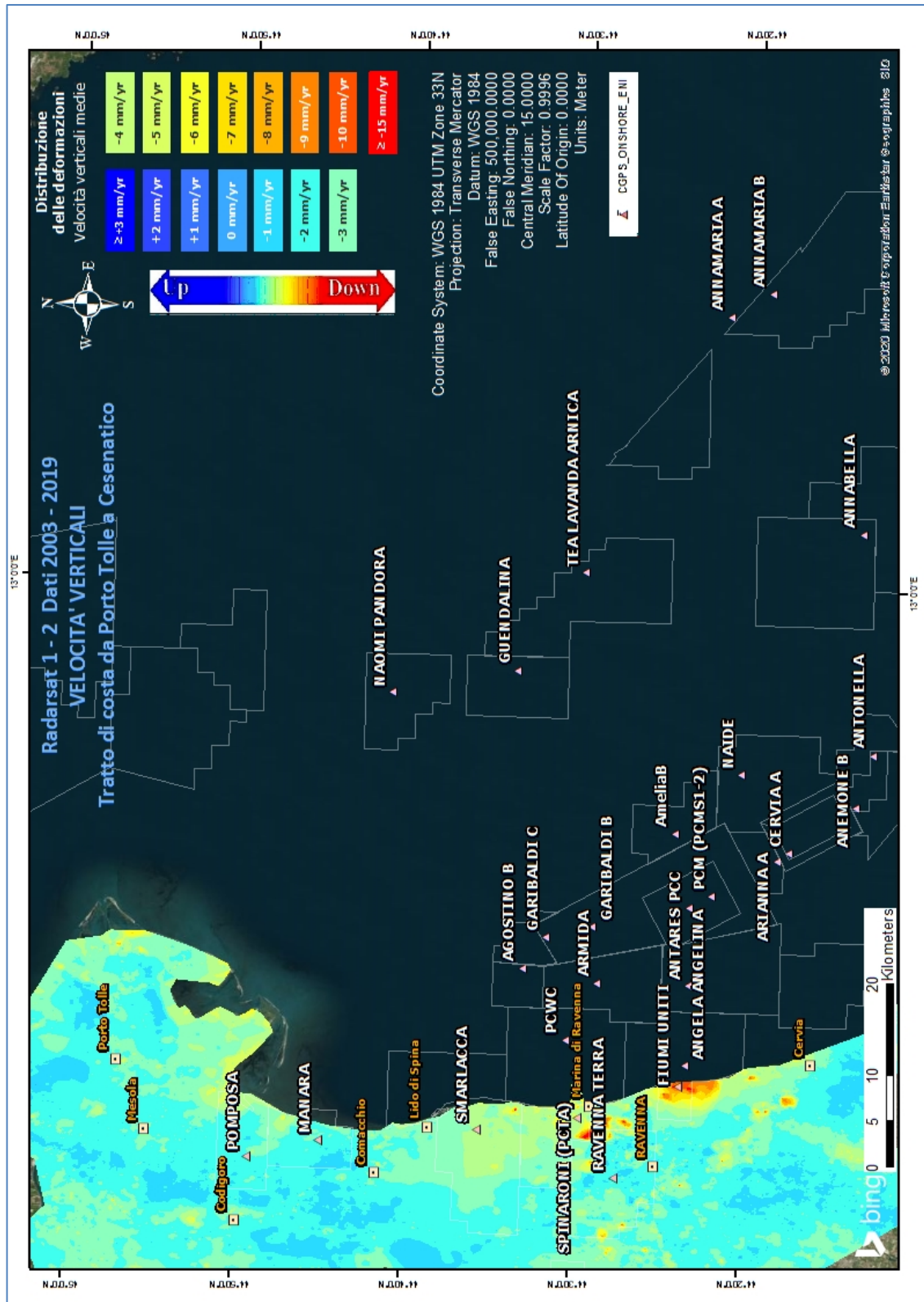



Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 28 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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

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

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

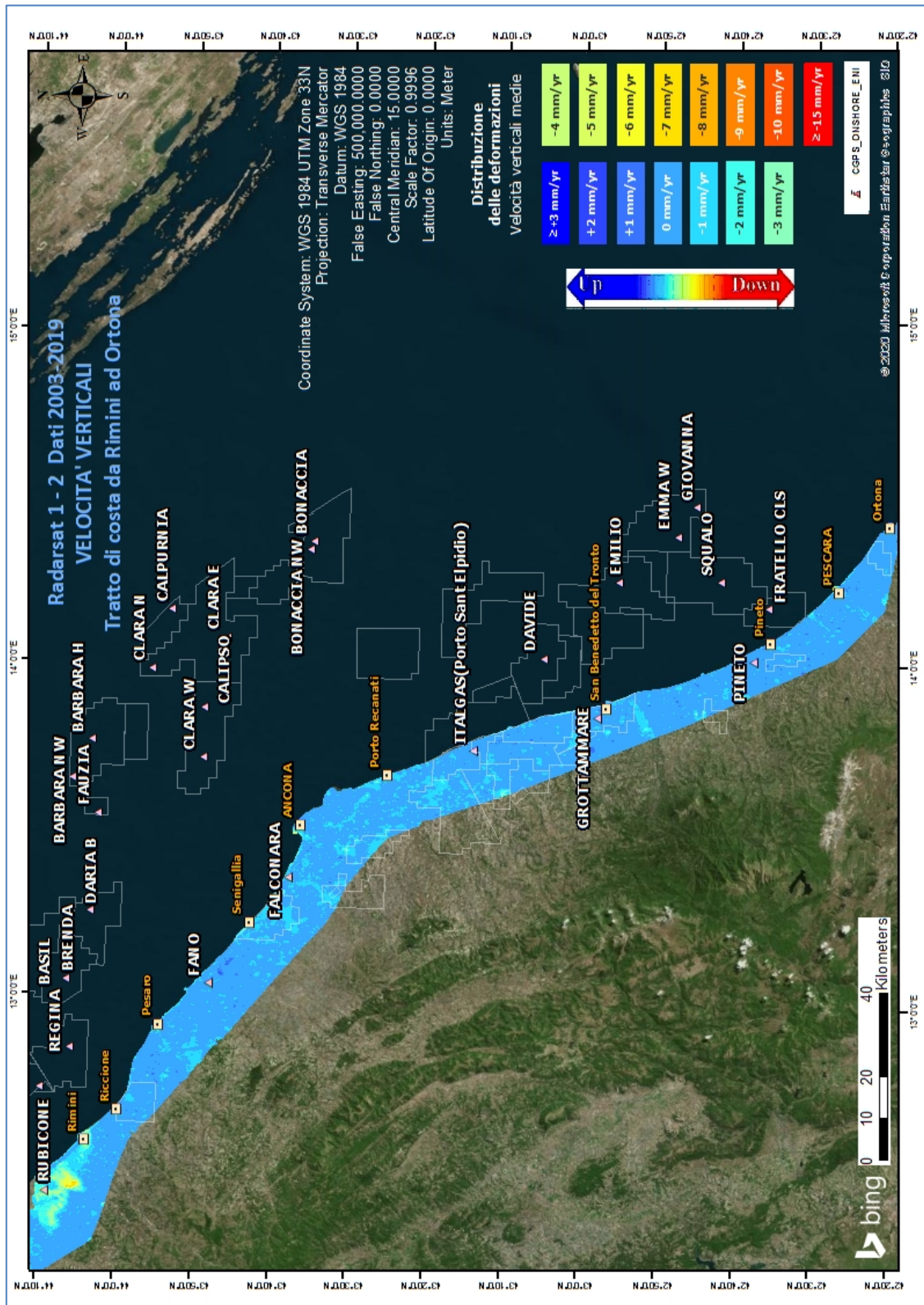


Fig. 3 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1-2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.



### Confronto dati SAR 2003 – 2018 vs 2003 – 2019

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

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

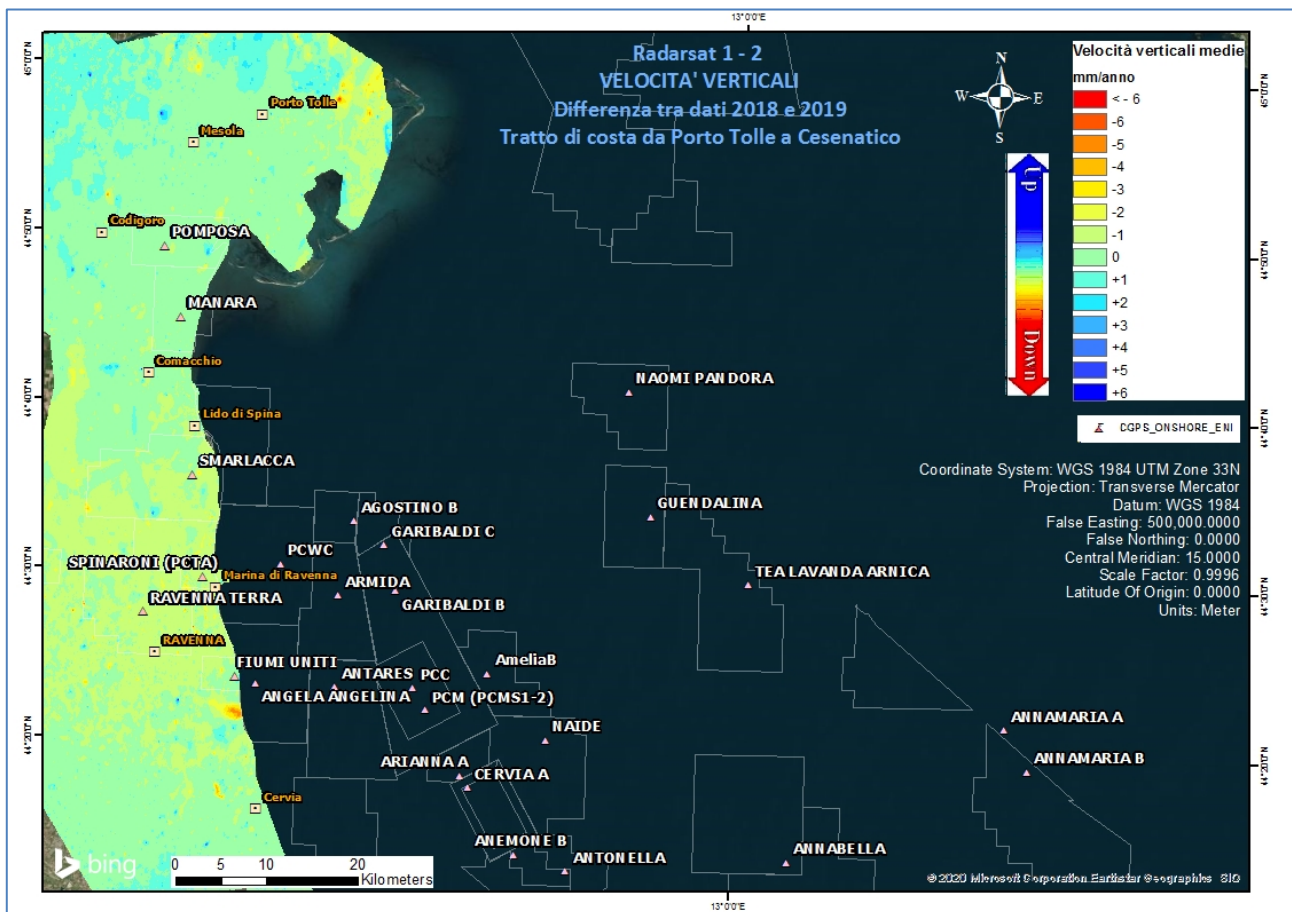


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

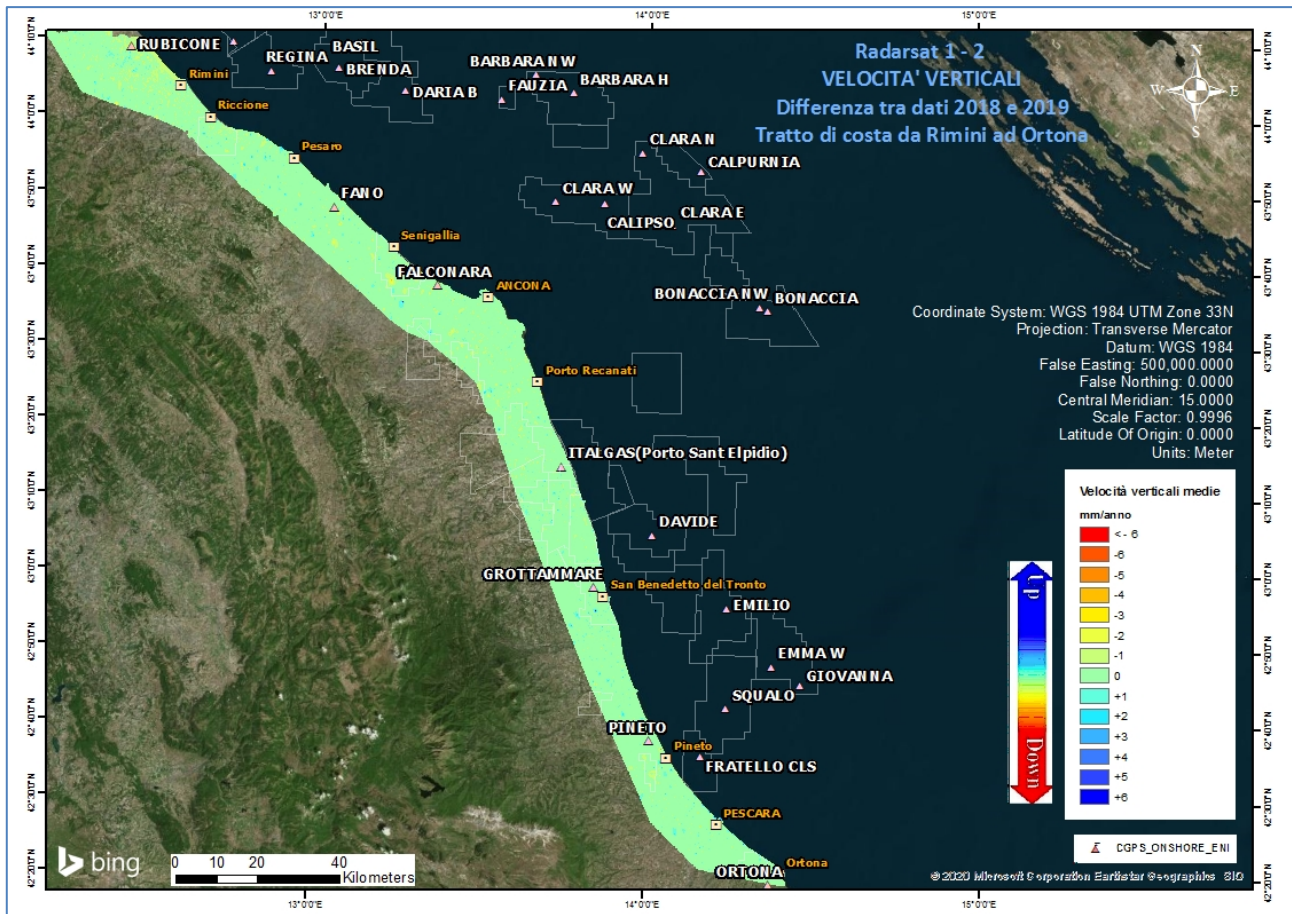



Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

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

La tecnologia interferometrica PSP-DIFSAR sviluppata da Telespazio/e-GEOS (<http://www.telespazio.it> / <http://www.e-geos.it>) è una tecnica d'interferometria differenziale SAR di tipo Persistent Scatterer Interferometry (PSI) che utilizza una procedura algoritmica proprietaria per l'individuazione e l'analisi dei Persistent Scatterers (PS) su lunghe serie di immagini SAR (radar ad apertura sintetica), allo scopo di misurare movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni vulcanici e sismici (Costantini et al., 2005). I PS corrispondono generalmente ad elementi al suolo, come manufatti (ad esempio, parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici in genere) oppure corpi naturali (ad esempio, rocce esposte) che si distinguono dagli altri, presenti nell'area esaminata, per il fatto di possedere un'elevata stabilità nel tempo della cosiddetta "firma radar". Questi punti presentano caratte-

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 32 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

ristiche 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 movimenti non lineari nel tempo;
- in aggiunta è computazionalmente efficiente ed altamente parallelizzabile.

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

## Appendice B: Stazioni *EPSU* lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento a dicembre 2019

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

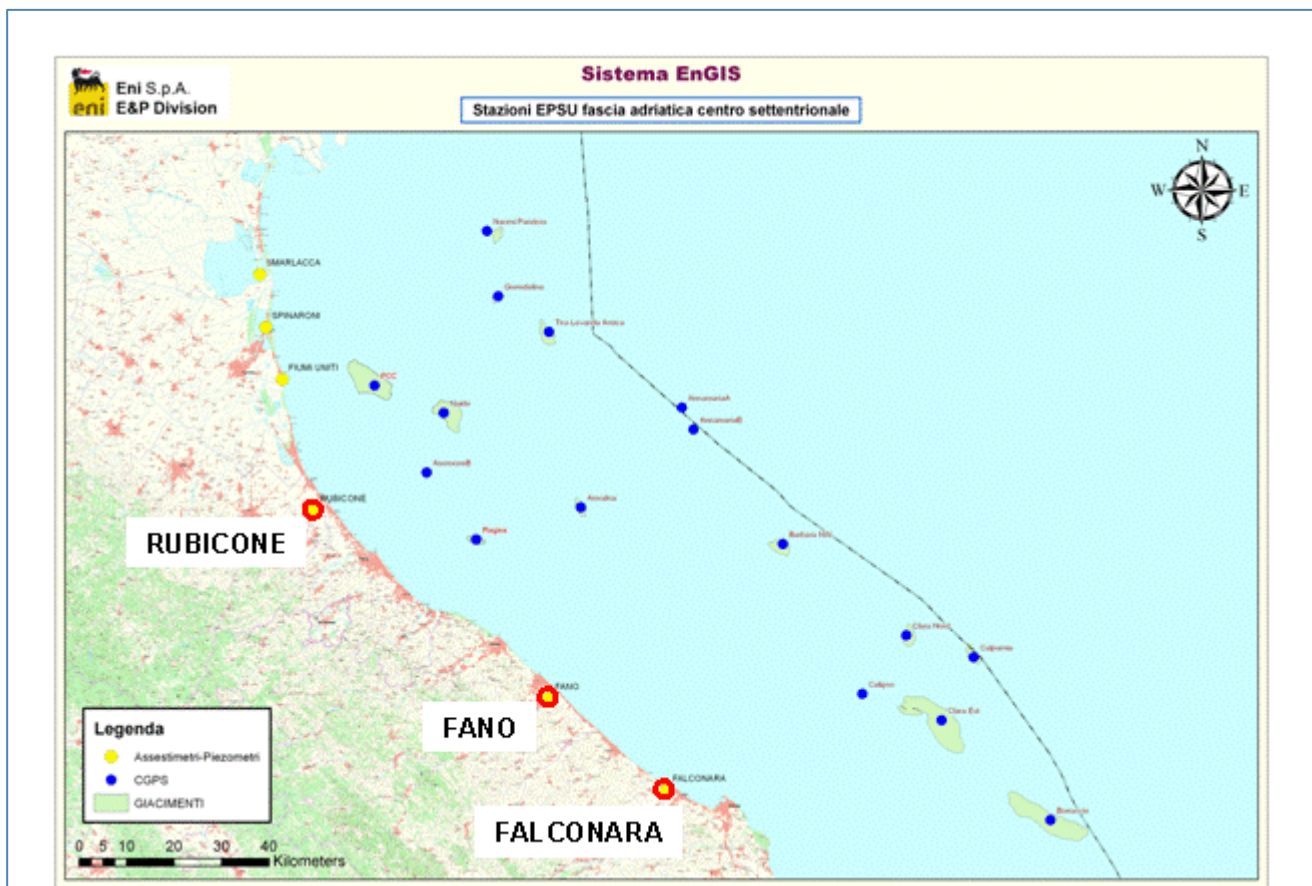


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

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



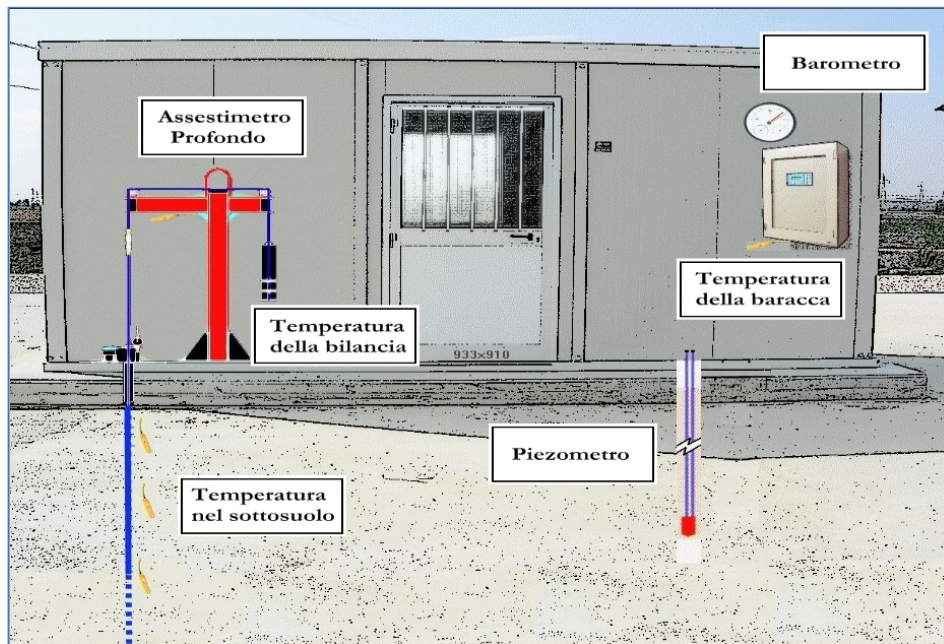


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU


Più in dettaglio, nelle 3 stazioni *EPSU* sono stati installati i seguenti dispositivi di misura:

| Località  | Pozzo   | Strumentazione            | Profondità (da P.C.) | Data d'installazione |
|-----------|---------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Rubicone  | CGRA-1  | Assestimetro profondo     | 320 m                | Gen. 2009            |
|           | CGRP-1  | Piezometro cella singola  | 178 m                | Gen. 2009            |
|           | CGRP-2  | Piezometro cella doppia   | 146 m e 70 m         | Gen. 2009            |
| Fano      | CGFNA-1 | Assestimetro superficiale | 40,8 m               | Lug. 2008            |
|           | CGFNP-1 | Piezometro superficiale   | 6,1 m                | Lug. 2008            |
| Falconara | CGFLA-1 | Assestimetro superficiale | 40,3 m               | Lug. 2008            |
|           | CGFLP-1 | Piezometro cella singola  | 22 m                 | Lug. 2008            |

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 35 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

## **Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata dicembre 2009)**

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

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

### **Strumentazione:**

- 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

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 36 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

attendibili presentando per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1 cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati integri e affidabili per restituzione dei dati. A giugno 2018 è stato sostituito un trasduttore di pressione del piezometro a 178m. Per tutto il 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in giugno, agosto e dicembre 2019.

### **Analisi dei dati assestimetrici**


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

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 37 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

Nella stessa area della stazione assestimerica 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 assestimeriche (Figura 9B). Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012. La velocità media annua, calcolata con regressione lineare, della serie storica di misure CGPS è di -2.64 mm/a, abbastanza prossima a quella ottenuta, in modo analogo, dalle misure assestimeriche, che è pari a -2.77 mm/a (Figure 6B e 7B)

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

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

- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimerica 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 cau-

sano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1). Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento. Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014 e si può osservare dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua.

A dicembre 2017, come già detto, è stata fatta una manutenzione straordinaria con spurgo e lavaggio dei tre piezometri. Sono stati controllati anche tutti i trasduttori di pressione. L'affidabilità di questi ultimi, in particolare, è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatimetro. Queste sono risultate del tutto in linea con le misure automatiche, consentendo di concludere che tutti i trasduttori erano perfettamente funzionanti e affidabili. Nella stessa occasione sono state fatte misure di fondo foro.

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

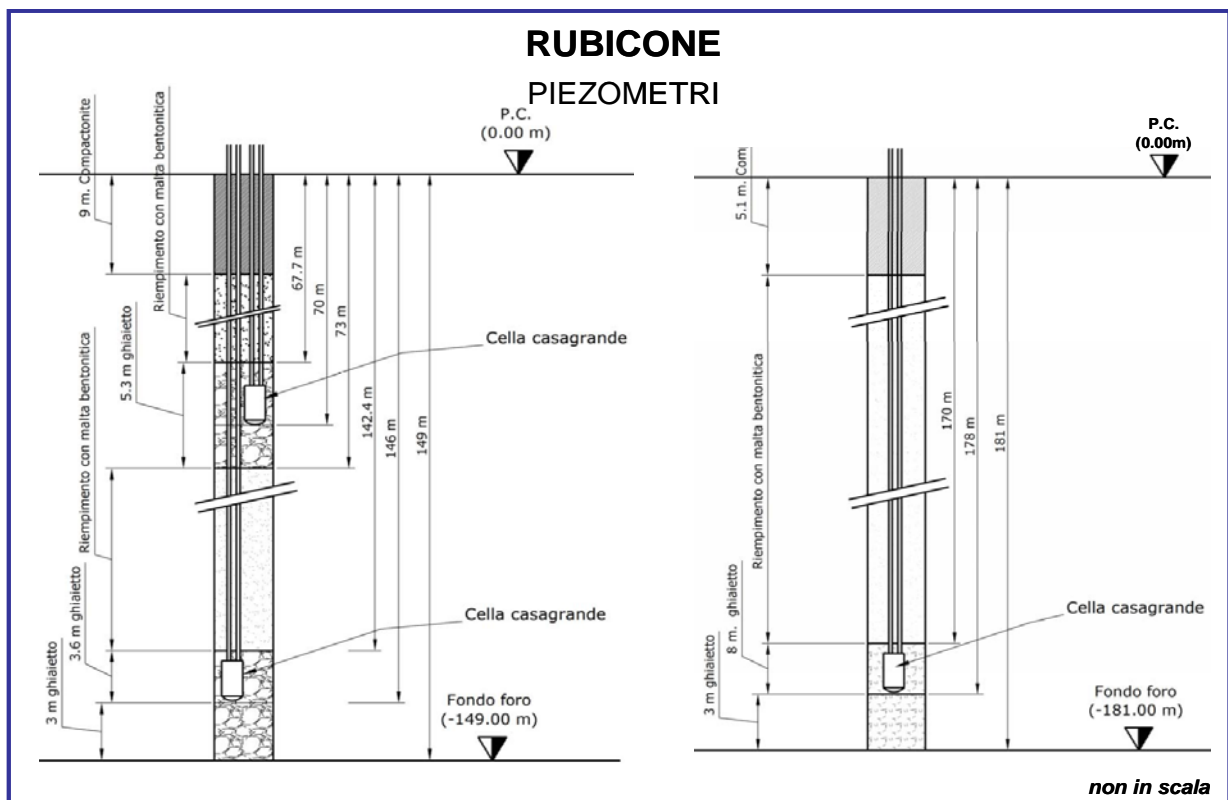
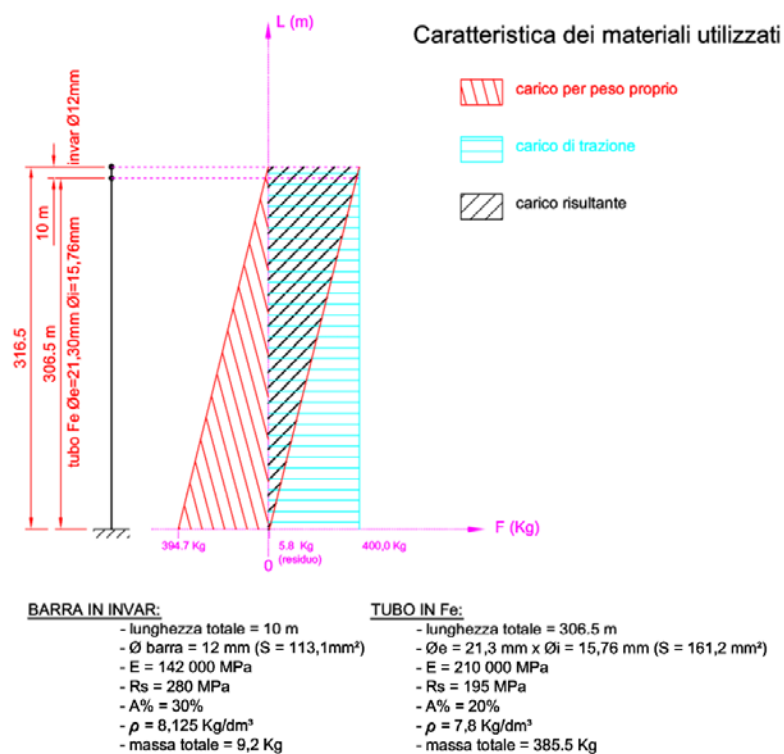


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone



## RUBICONE ASSESTIMETRO

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



**Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone**

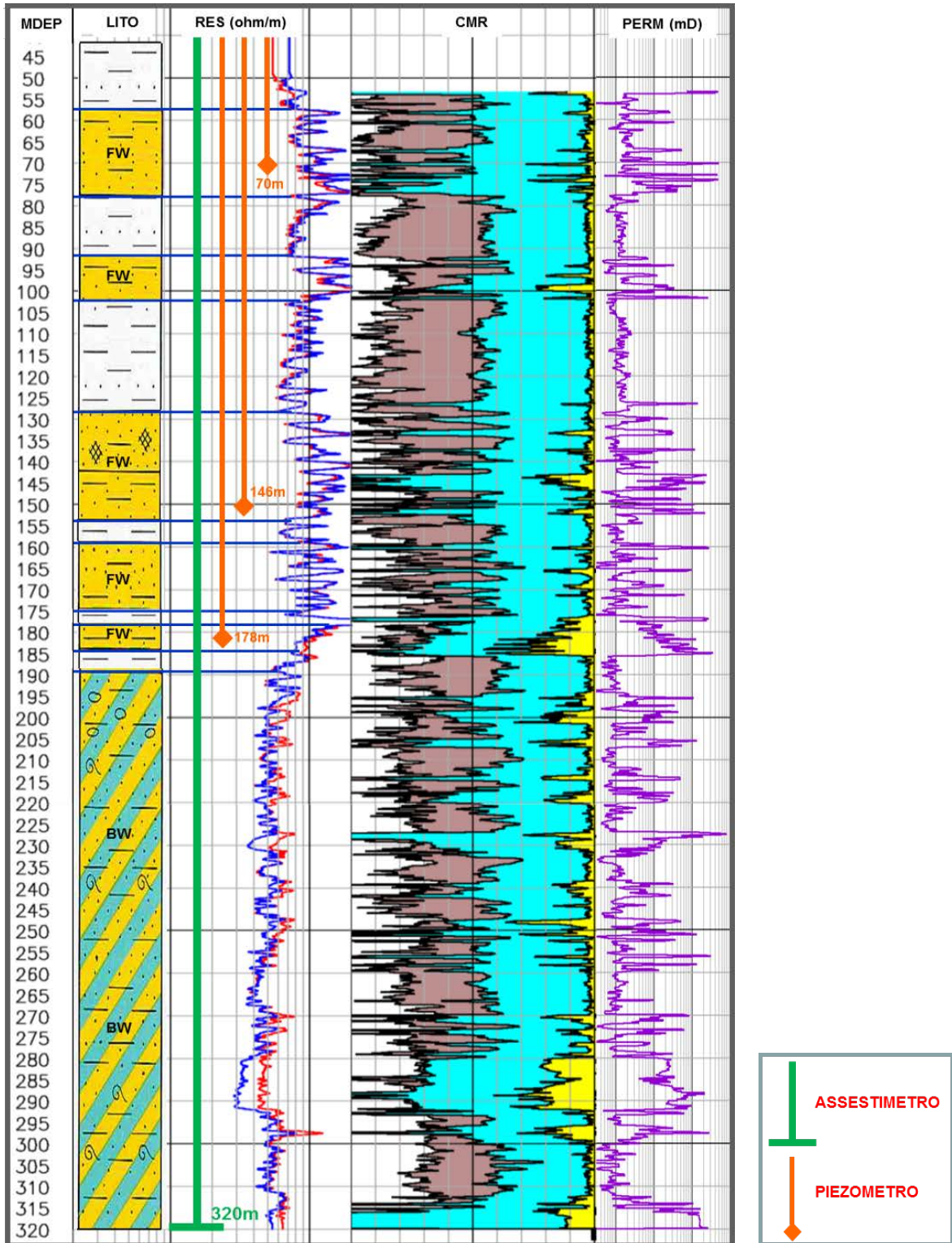
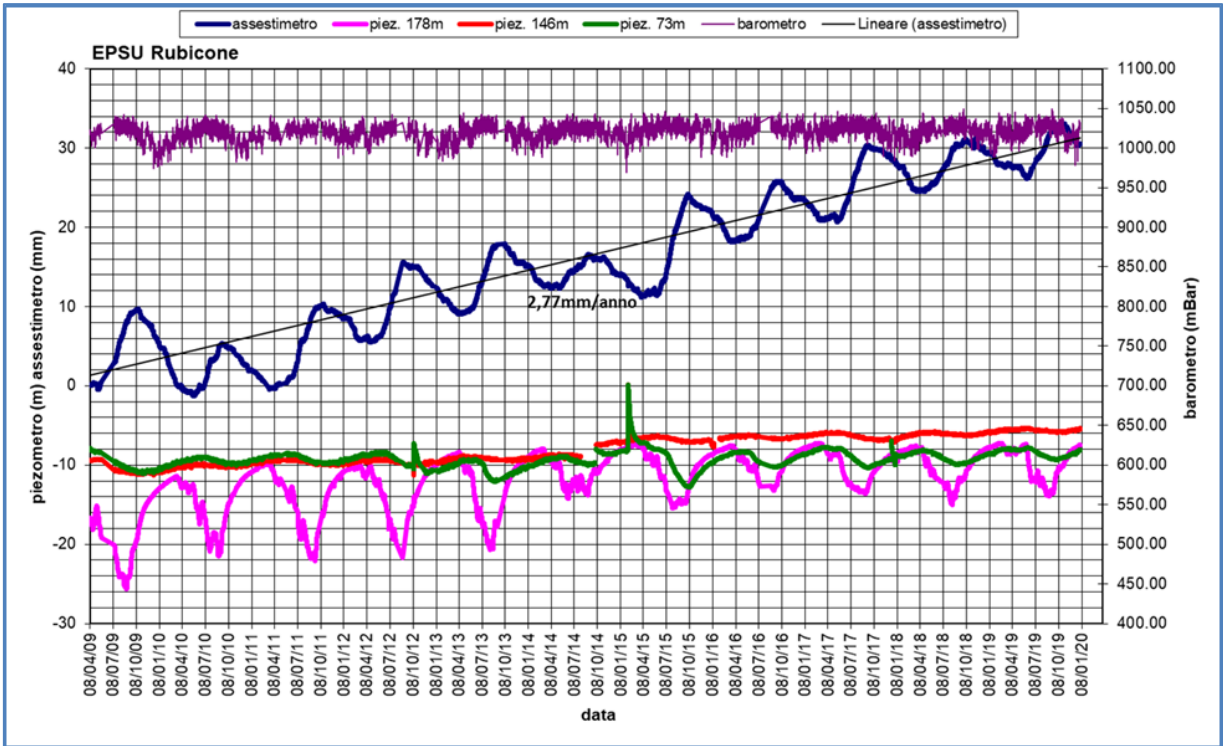
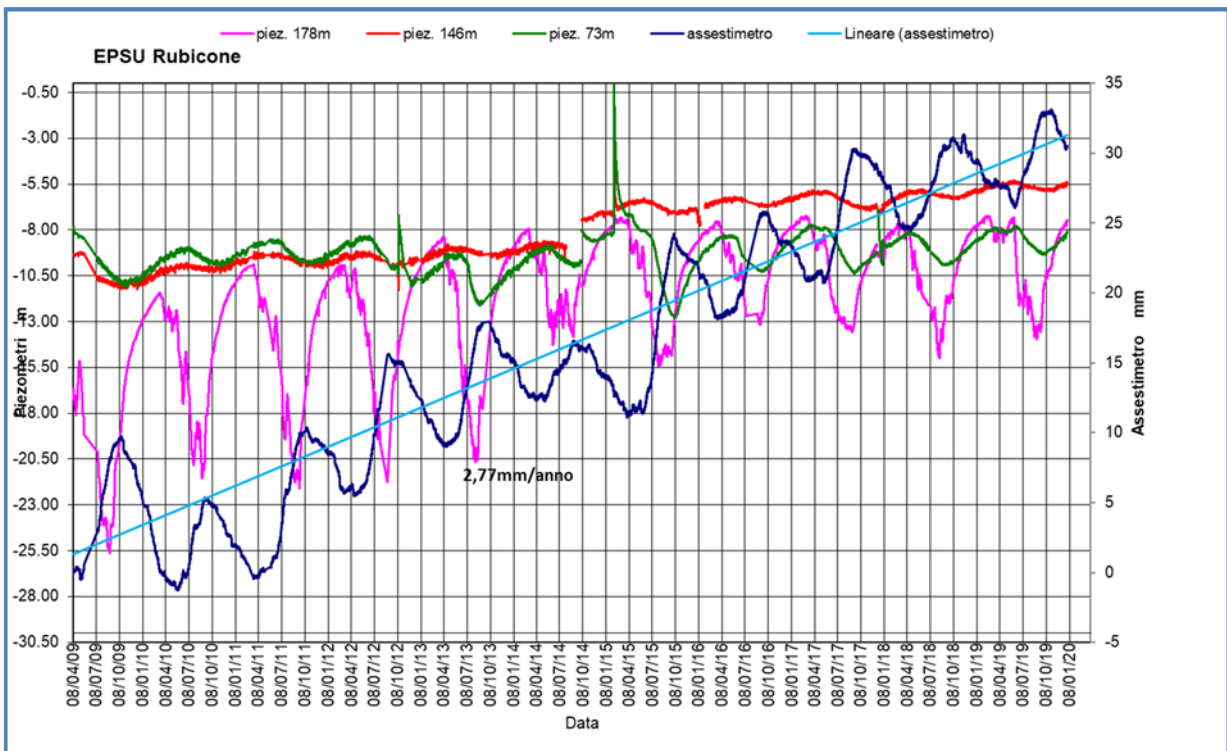


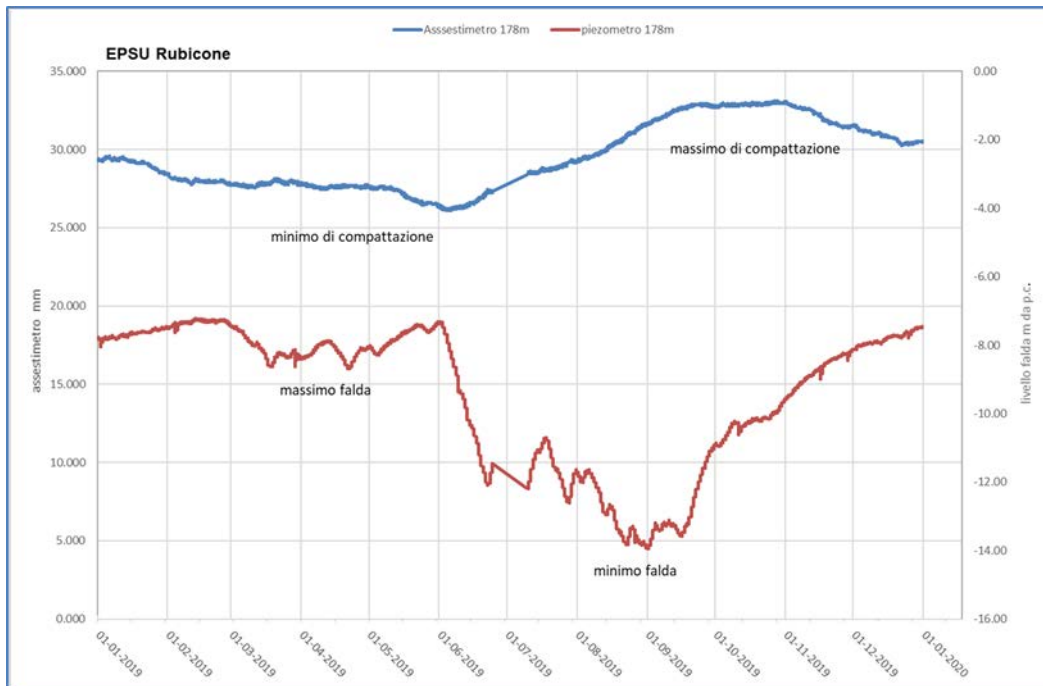
Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone



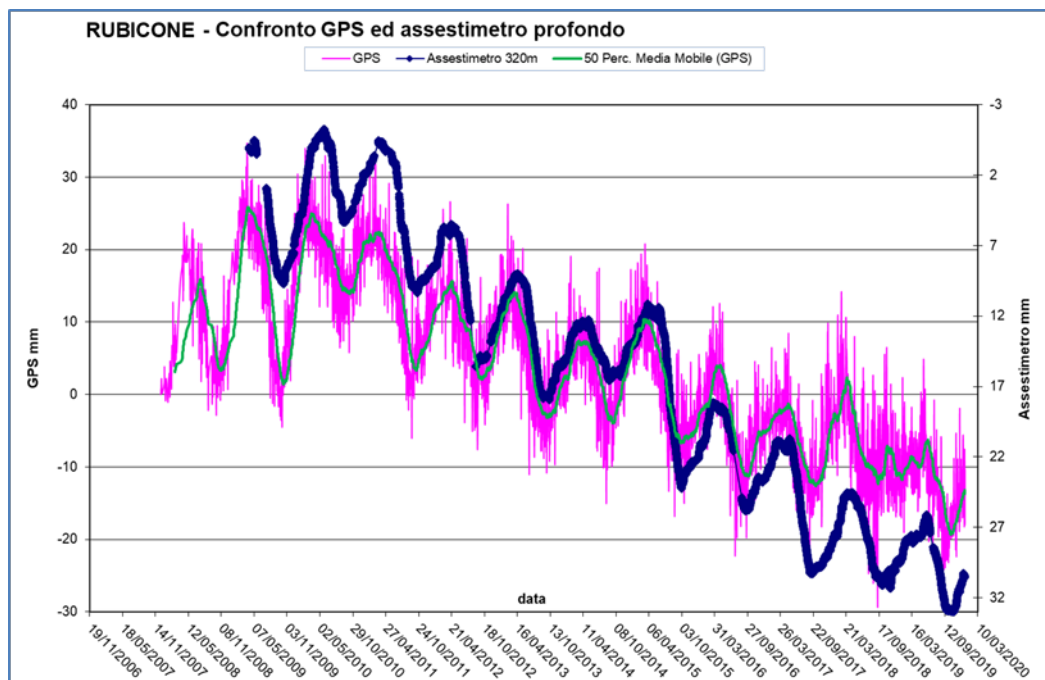
**Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche**



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




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



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

*N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assestimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).*



|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 43 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

## **Stazione *EPSU* di FANO (installata ottobre 2008)**

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

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

### **Strumentazione:**

- assestimetro - quota bottom: 40.8 m da p.c.
- piezometro a cella singola: quota cella 6.1 m da p.c.

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 10B mentre la Figura 11B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

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

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

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


Nel periodo monitorato (10/2008 - 12/2019) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati, per tutto il 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in agosto e dicembre 2019.

### **Analisi dei dati assestimetrici**

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

Nei grafici allegati (Figura 12B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici, nello stesso grafico è presente anche l'andamento della pressione atmosferica. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli sposta-



|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 44 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

menti misurati rispetto a un valore base iniziale (“misura di zero”). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell’assestometro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi (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 assestimetrica, inoltre, si correla bene con l’andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro posto a circa 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo dell’assestometro nel misurare le compattazioni, rispetto ai minimi piezometrici) di qualche mese. Si osservano, infatti, quasi regolarmente i massimi di compattazione all’incirca a metà gennaio di ogni anno, mentre invece i minimi livelli della falda acquifera si verificano, quasi sempre, circa nei quattro/cinque mesi prima dell’anno precedente, ovvero intorno a metà settembre/ottobre.

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

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

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

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione *EPSU*. Le misure CGPS danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento, con velocità media di ca. 0.1 mm/a. A sua volta la velocità media di compattazione stimata con regressione lineare dei dati della serie assestimetrica è praticamente nulla (0,01 mm/a). L’esame comparato delle due serie di misure assestimetriche e da

CGPS (Figura 14B) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare, la curva assestimetrica sembra essere ritardata di ca. 4-5 mesi rispetto a quella del CGPS. È bene osservare, però, che si tratta di movimenti del suolo di bassissima entità, per cui si è al limite del potere risolutivo delle due tecniche di misura.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che entrambe le curve assestimetrica e CGPS mostrano una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta, però, sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 12B e Figura 13B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 11B) quando varia la sua saturazione in acqua. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico. La curva dei dati CGPS sembra invece più in fase nel registrare in superficie i movimenti d'espansione o contrazione degli strati di terreno causati dalle variazioni del livello d'acqua nella falda (sollevamento del terreno in coincidenza dei massimi della falda). Va però notato che l'ubicazione dell'antenna CGPS (stazione SSU) dista circa 150-200 m dalla stazione *EPSU*, e probabilmente il terreno su cui è stata installata ha una stratigrafia caratterizzata da una minore presenza di livelli argillosi.

Si segnala, inoltre, che per comodità di lettura del grafico (Figura 14B):

- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva 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 2019 nei mesi di agosto e dicembre.

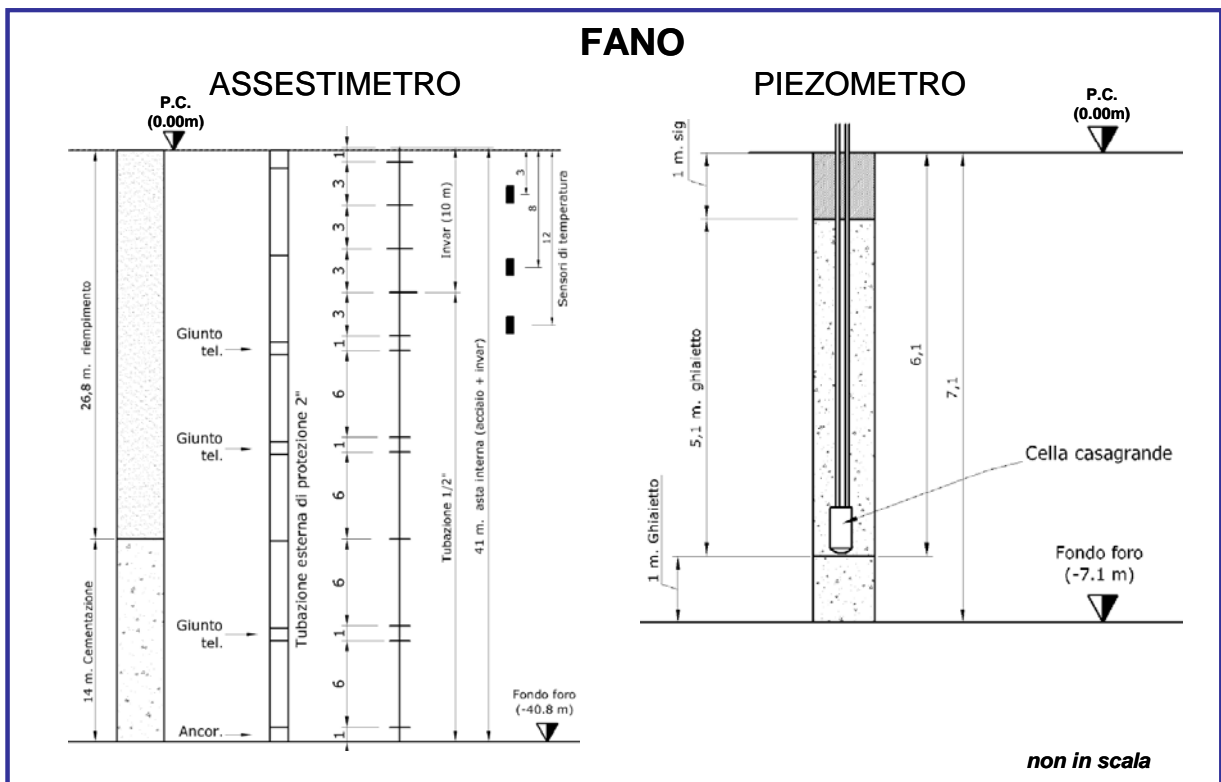


Figura 10B - Stazione EPSU di Fano

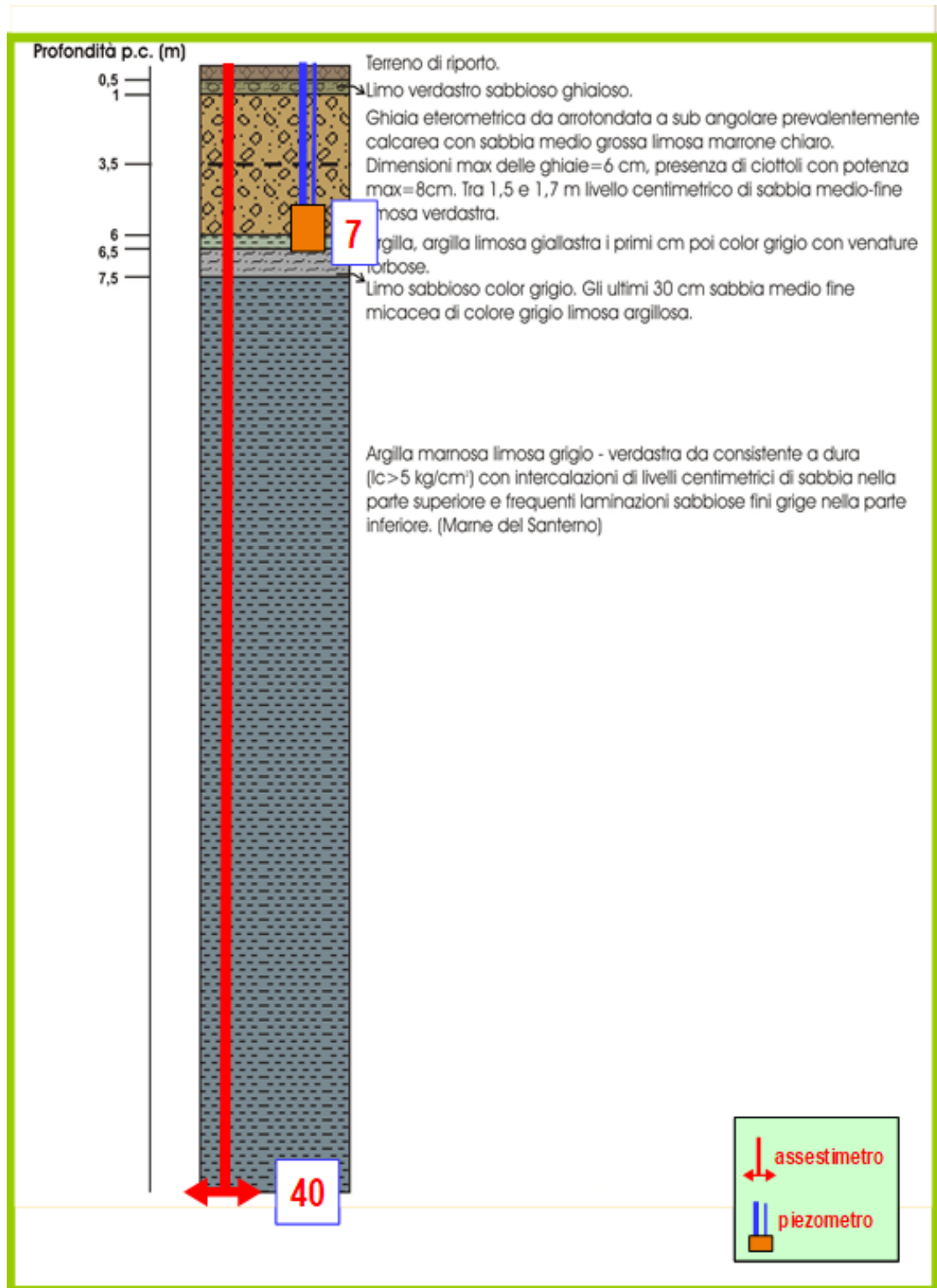
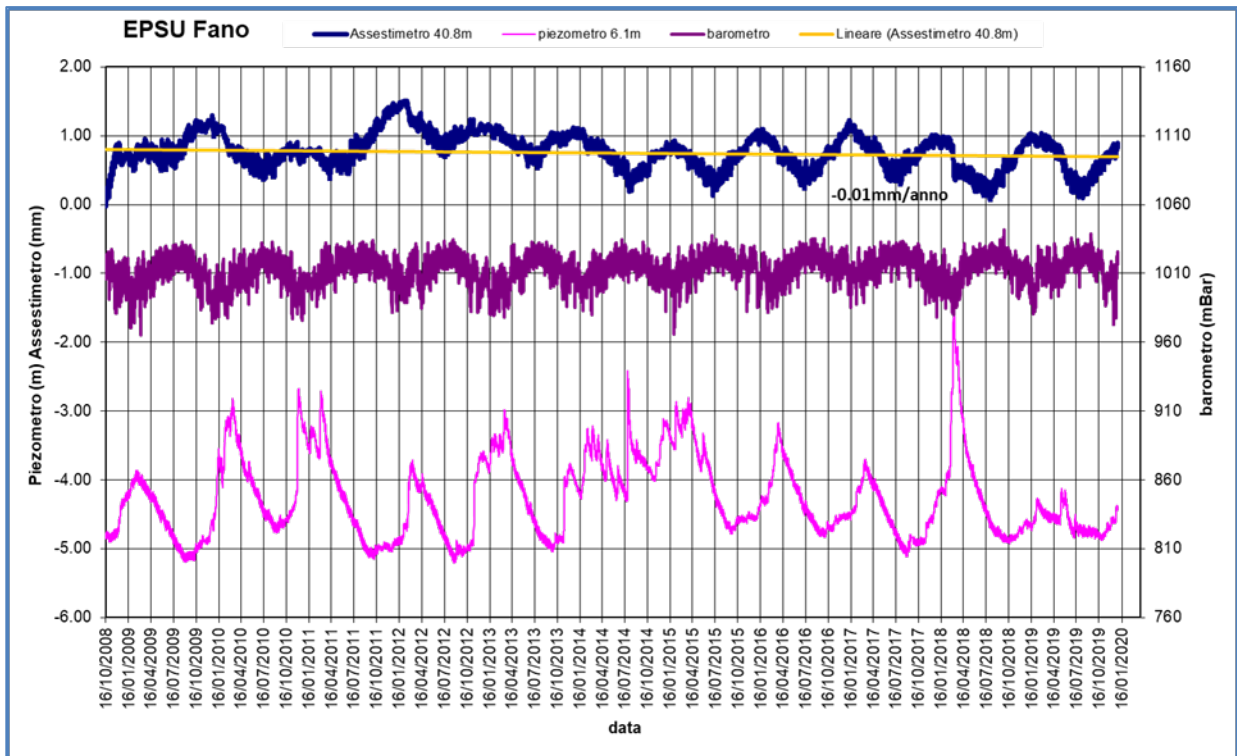
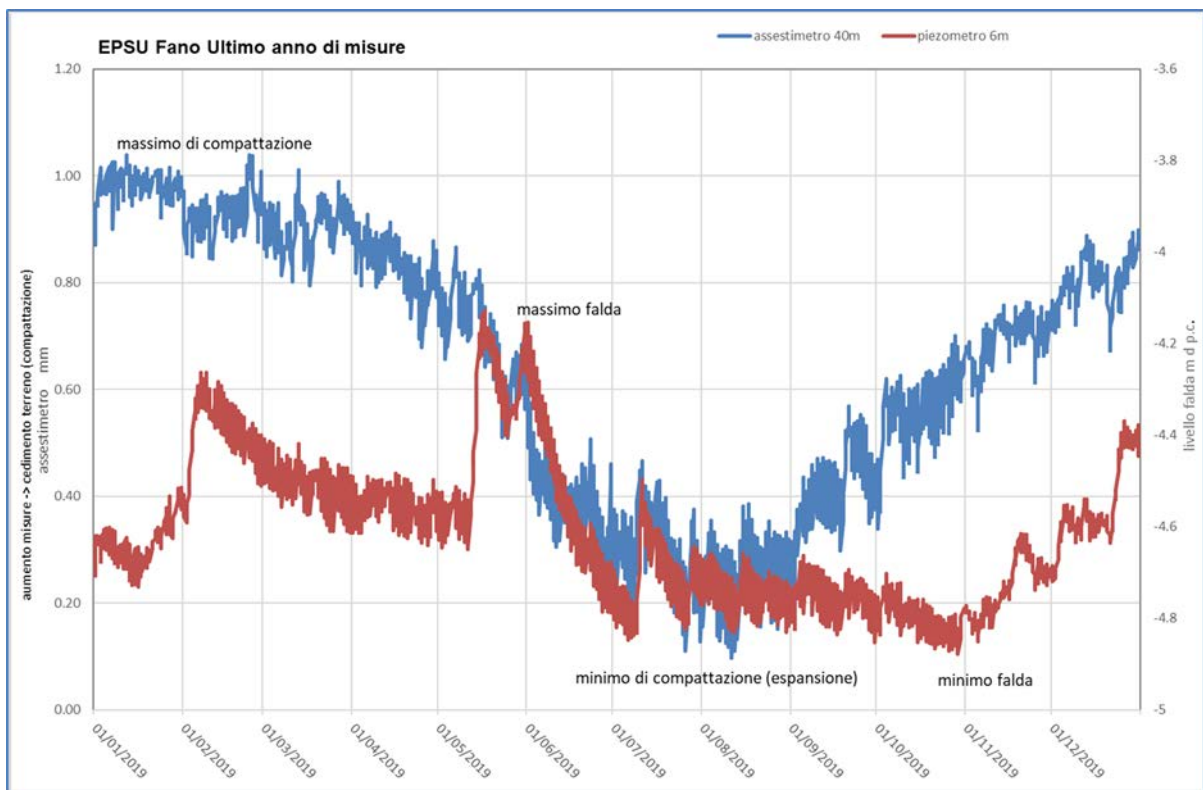


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

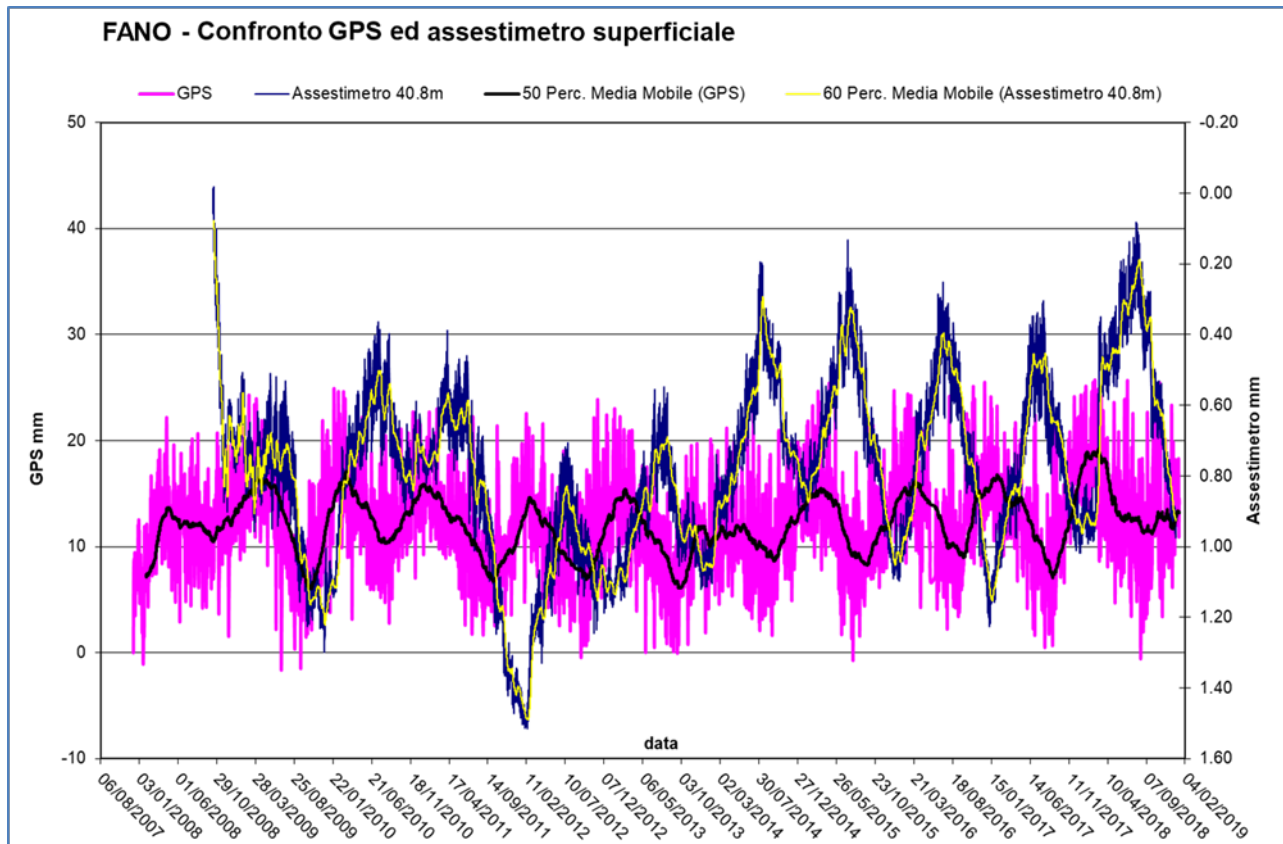


**Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.**




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





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

*N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assestimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).*

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 50 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

## **Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata ottobre 2008)**

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

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

### **Strumentazione:**

- assestimetro - quota bottom: 40.3 m da p.c.
- piezometro a cella singola - quota cella: 21 m da p.c.

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 15B, mentre la Figura 16B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008.

A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" dei sensori di misura.

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

- 16 ottobre 2008 -18 maggio 2009: una misura ogni ora;
- 08 maggio 2009 - 31 dicembre 2014: una misura ogni 6 ore.


Nei periodi 07 ottobre 2011- 02 novembre 2011 e 03 dicembre - 13 dicembre 2011 si è avuto un problema d'alimentazione all'apparecchiatura d'acquisizione automatica dei dati, con conseguente mancata registrazione degli stessi. Identico problema si è verificato tra febbraio e aprile 2012; si è perciò sostituito parte dell'hardware del sistema d'acquisizione.

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

### **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 assestime-

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 51 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

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

L'assestometro, che reagisce quasi immediatamente, senza ritardi, all'escursione massima e minima annuale di tale falda, mostra, inoltre, uno stato del terreno assolutamente stabile nel tempo, cioè senza apprezzabile compattazione. La velocità media annua calcolata con regressione lineare delle misure assestimetriche risulta, infatti, pari a ca. -0.1 mm/a (ovvero minima compattazione dello spessore di terreno monitorato).

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. La correlazione tra le due curve, assestimetrica e CGPS (Figura 19B), è estremamente elevata, il loro sfasamento temporale è pressoché nullo e le "pulsazioni" (espansioni e compattazioni) del terreno (tutte di piccolissima entità) sono correlate alle variazioni di livello della falda acquifera. La velocità media annua calcolata con regressione lineare dei dati CGPS risulta pari a -0.3 mm/a (ovvero leggerissimo abbassamento della superficie del suolo).

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

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



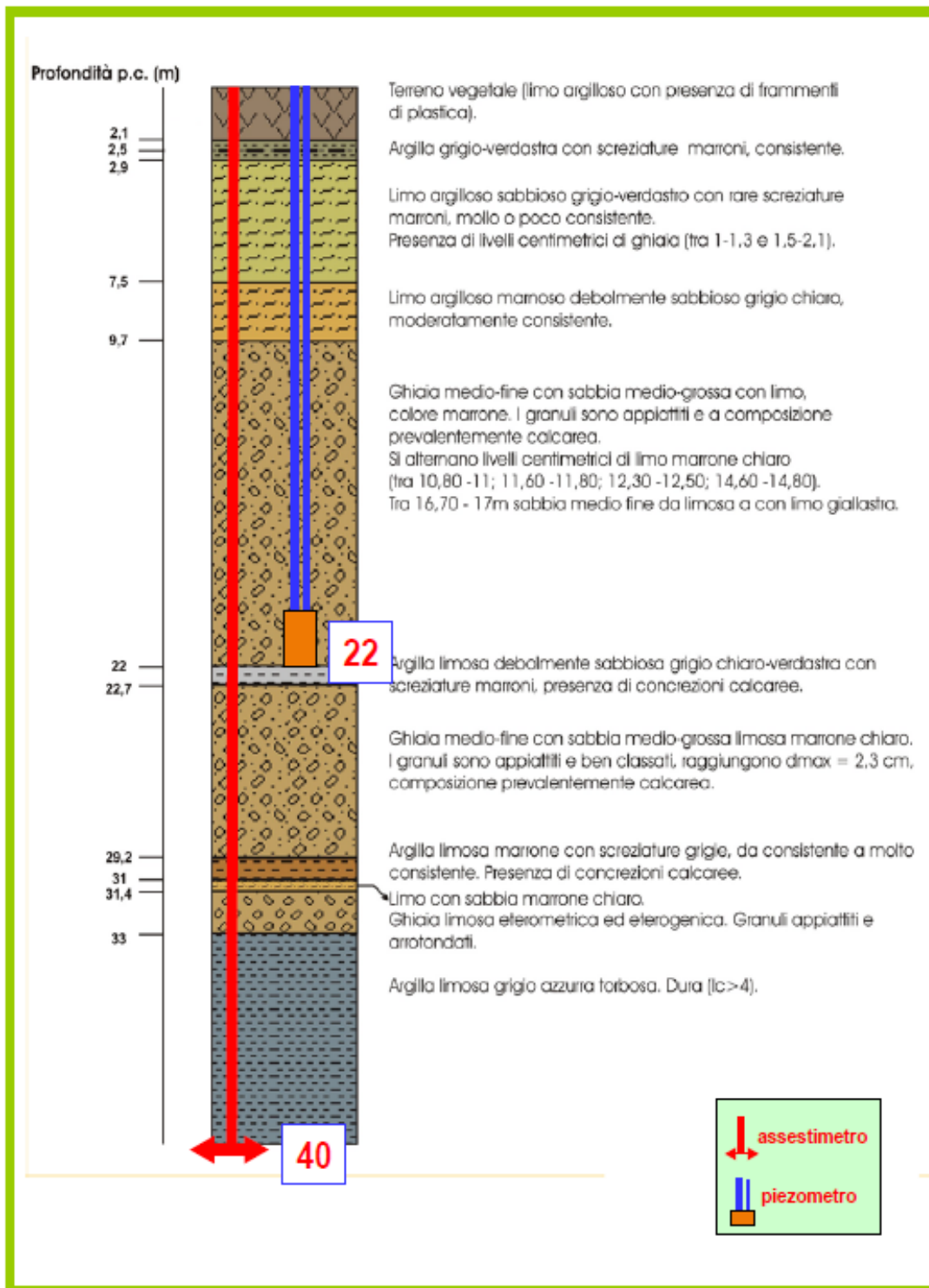


Figura 16B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara



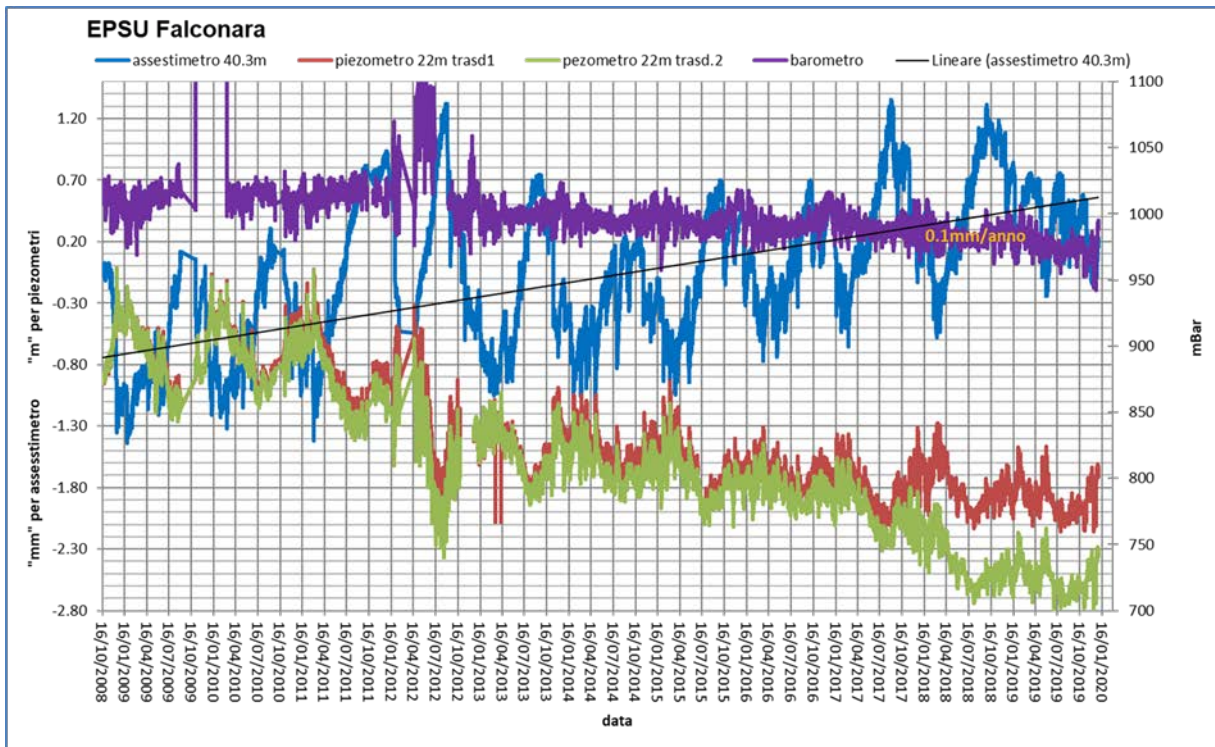


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

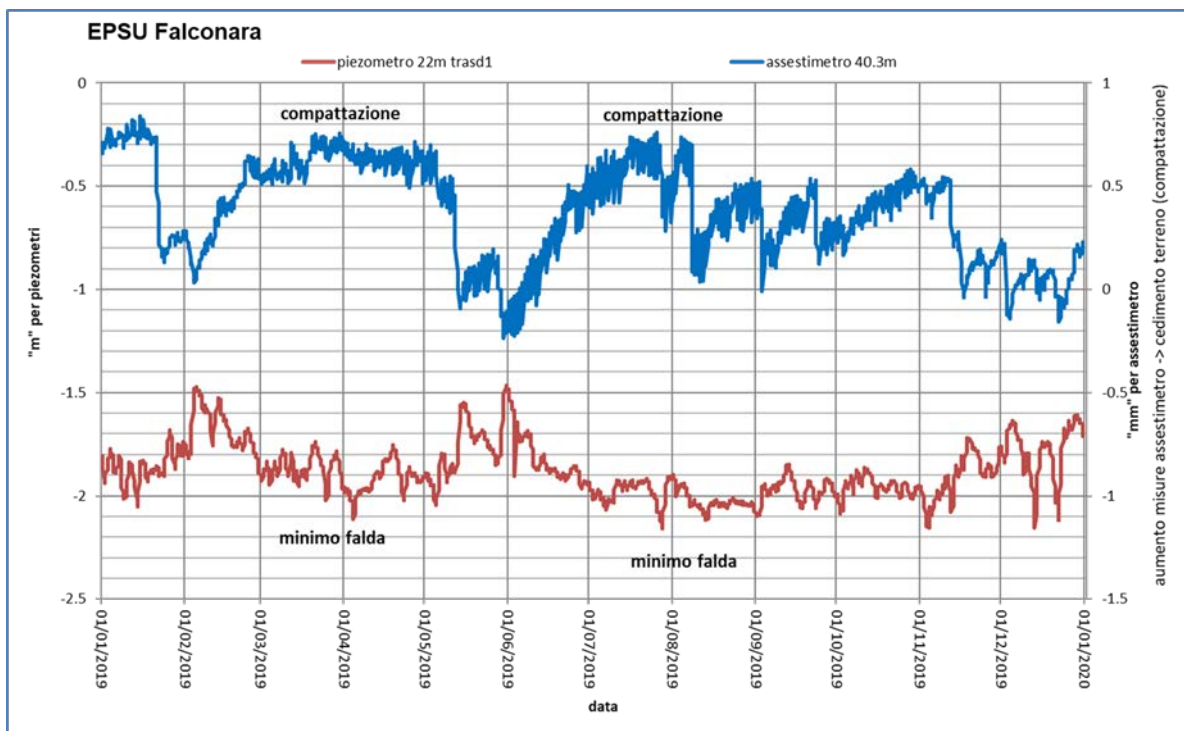
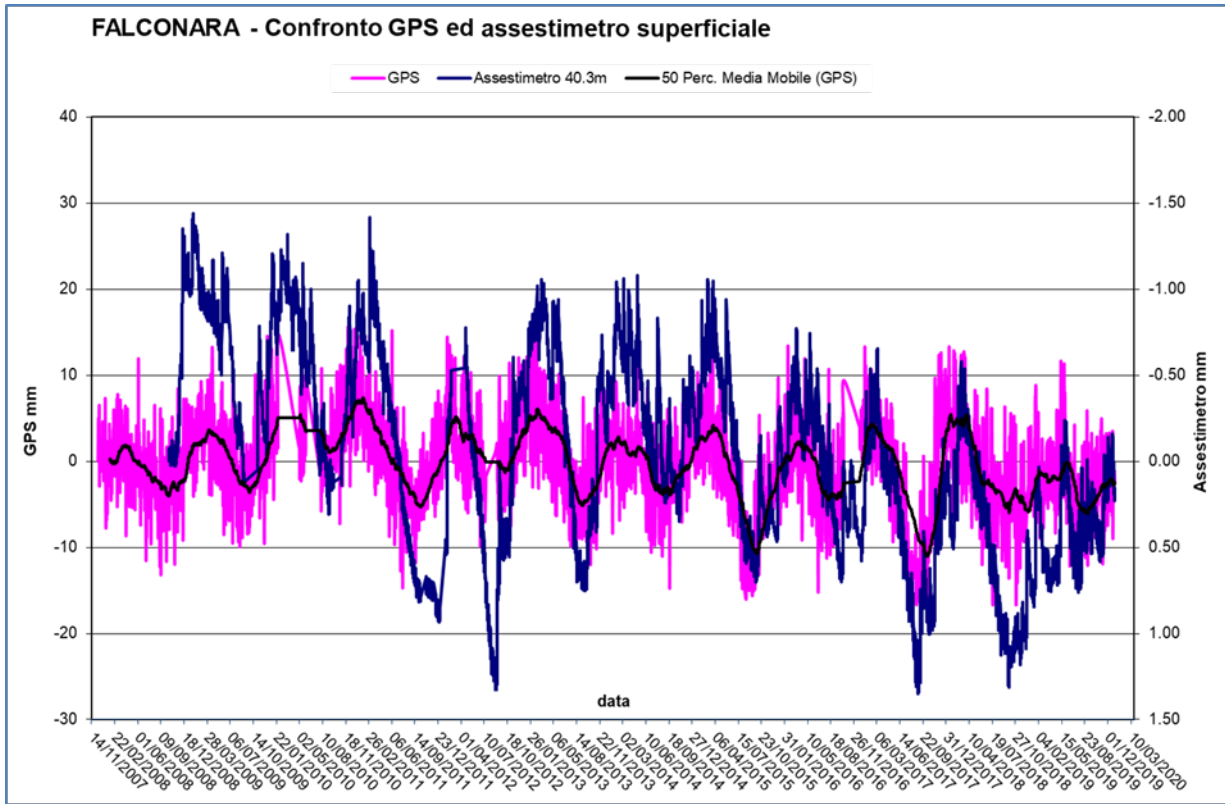



Figura 18B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati



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

*N.B.: nel grafico per meglio apprezzare le modulazioni della curva CGPS questa è stata filtrata con una media mobile su 50 campioni. Per comodità la curva assestimetrica è stata graficata con i valori in ordine inverso, in modo da renderla coerente con le modulazioni del CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).*

|   |                                     |                                 |                   |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|
|  Eni S.p.A. | Campo di BARBARA NW<br>ottobre 2020 | Documento<br>GEODCS_REL2020_BNW | Page - 56 - of 57 |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|

## Conclusioni

Dall'insieme dei dati sino ad ora raccolti nelle 3 stazioni *EPSU* si nota, in generale, una buona correlazione diretta tra l'andamento stagionale della piezometrica ed i cicli di compattazione ed espansione del terreno misurati dagli assestimetri.

Tale correlazione è più evidente nel caso di Falconara, dove il piezometro monitora le falde superficiali più sensibili a tutte le variazioni stagionali di piovosità.

Anche nel caso di Rubicone c'è un'ottima correlazione tra i cicli stagionali di compattazione/espansione del terreno monitorati dall'assestimetro e le corrispondenti variazioni di livello delle tre falde registrate dai piezometri. Le compattazioni massime (contrazioni del terreno), infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno dopo circa 1 / 1.5 mesi dai minimi livelli di falda; le espansioni massime si verificano, invece, mediamente verso aprile/maggio di ogni anno e a loro volta sono in buona correlazione con i livelli piezometrici massimi delle stesse falde avvenuti nei mesi precedenti. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo di quelli installati nelle 3 *EPSU*, è anche quello che registra nel tempo un aumento progressivo della compattazione del terreno monitorato (spessore 320 m). Lo strumento a dicembre 2019, dopo 10.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 30.5 mm, che con un semplice calcolo equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 2.8 mm/a. Tale valore resta più o meno uguale, circa 2.77 mm/a, se si elaborano i dati delle misure assestimetriche con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato all'interno di uno strato argilloso spesso circa 32 m e scarsamente comprimibile. Lo strumento, infatti, nei circa 11 e più anni (11.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.86mm). A tale spessore di litologia argillosa si potrebbero imputare i ritardi nella compattazione espansione del terreno rispetto all'escursione della falda freatica monitorata.

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

reno al 31/12/2019 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2019 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. Questo procedimento potrebbe pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici. Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di compattazione del terreno (valori piccolissimi). In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

| Sito             | Anni di osservazione | Assestimetro profondo        |                 | Assestimetro superficiale    |                 |
|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
|                  |                      | Spostamento complessivo (mm) | Velocità (mm/a) | Spostamento complessivo (mm) | Velocità (mm/a) |
| <b>Rubicone</b>  | 10.73                | 30.5                         | 2.84            | n.i.                         | -               |
| <b>Fano</b>      | 11.21                | n.i.                         | -               | 0.86                         | n.v.            |
| <b>Falconara</b> | 11.21                | n.i.                         | -               | 0.18                         | n.v.            |

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile