
 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 1 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

Campo di BONACCIA-BONACCIA EST e NW


Aggiornamento al 31/12/2022



 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 2 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

Sommario

1	Introduzione	- 3 -
2	Assetto geologico - minerario	- 3 -
3	Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento	- 3 -
4	Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva	- 6 -
5	Modellistica previsionale di subsidenza	- 7 -
6	Survey Batimetrici	- 9 -
7	Monitoraggi altimetrici onshore e offshore	- 10 -
7.1	Livellazione	- 10 -
7.2	CGPS (Continuous GPS)	- 13 -
8	SAR (cfr. Appendice A)	- 17 -
9	SSU / EPSU (cfr. Appendice B)	- 17 -
10	Misura della compattazione profonda - survey log con tool FSMT – Formation Subsidence Monitoring Tool)	- 17 -
11	Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio (CGPS e FSMT)	- 18 -
12	Conclusioni	- 19 -
13	Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE)	- 36 -
14	Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - giacimenti di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW.	- 42 -

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 3 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

1 Introduzione

Il campo di Bonaccia è ubicato nell'offshore adriatico in prossimità della linea mediana a 60 km dalla costa (Figura 1), a Est del promontorio del Monte Conero. Il fondale marino in tale zona è di circa 87 metri. Il campo ricade nella concessione B.C17.TO (scadenza il 18/10/2028) inizialmente rilasciata alla joint venture TMF (Total operatore, Merloni, Foster Wheeler), acquisita poi interamente da Eni nel 1997.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
B.C17.TO	18/10/28	Eni	Eni	100%	Marche

2 Assetto geologico - minerario


Da un punto di vista geologico l'area di Bonaccia si trova sul margine più esterno del bacino di avanfossa appenninica plio-pleistocenico che ricopre la parte più esterna della rampa di avanpaese. L'elemento tettonico principale è il fronte del *thrust* Dinarico, con orientazione NW-SE, di età tardo Cretacica-Eocenica. I livelli mineralizzati a gas sono stati rinvenuti a una profondità compresa tra 750 e 1060 m slm e appartengono alla formazione Carola, costituita da depositi torbiditici di età Pleistocenica, in particolare dalle sequenze stratigrafiche denominate PLQ1 e PLQ (Figura 2).

La struttura del giacimento è rappresentata da tre culminazioni:

- la zona centrale, interessata dallo sviluppo dei pozzi della piattaforma Bonaccia;
- la parte orientale che è stata confermata dai pozzi Bonaccia Est 1, Est 2dir ed Est 3dir;
- la parte occidentale (Bonaccia NW), oggetto dello sviluppo del campo del 2015.

3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

Il giacimento è stato scoperto nel periodo 1981-1985 con la perforazione da parte di Total del pozzo esplorativo Bonaccia 1. I successivi tre pozzi *appraisal* (Bonaccia 2, 3 e 4) hanno confermato la mineralizzazione e delineato l'estensione del campo. Il pozzo Bonaccia Sud 1, perforato nel 1981 per verificare l'estensione della struttura nella zona a SE, è risultato sterile. Nel 2002 è stato perforato il pozzo esplorativo Bonaccia Est 1 che ha invece confermato l'estensione della mineralizzazione sulla culminazione della struttura di Bonaccia Est.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 4 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------


I livelli mineralizzati di Bonaccia Est sono parzialmente separati da quelli di Bonaccia sia per una sella fra le 2 strutture, sia per la presenza di “*slump*” o altro tipo di barriera non rilevabile dall’interpretazione sismica.

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

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

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

Nel documento SIA, Eni ha presentato i risultati di uno studio modellistico geomeccanico a elementi finiti (*rel. Eni-INPE: Campo di Bonaccia Est - Modello predittivo di subsidenza del settembre 2007*) per valutare la possibile subsidenza indotta dalla produzione di gas dei sopraccitati pozzi Bonaccia Est 2dir e Bonaccia Est 3dir; tale studio è stato basato sui risultati della revisione degli studi statico e dinamico di giacimento (Bonaccia-Bonaccia Est), riportati nella nota integrativa “*Eni-INPE: Relazione Tecnica per perforazione e allacciamento alla produzione - 98/2007 del luglio 2007*”. Le previsioni del modello geomeccanico hanno stimato, nel caso dello sviluppo di Bonaccia Est, una subsidenza massima pari a 22 cm al 2015 che si assesta a circa 20 cm al 2042 (fine simulazione). Riguardo all’estensione del cono di

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 5 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

subsidenza, la distanza della linea d'iso-subsidenza dei 2 cm dalla costa è risultata pari a circa 49 Km.

Il modello dinamico di giacimento (*Eclipse 3D*) del luglio 2007 era stato esteso a tutta l'area interessata dal complesso dei livelli mineralizzati di Bonaccia-Bonaccia Est e all'acquifero circostante con riserve totali del campo che ammontavano a 6305 MSm³.

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

- di progettare lo sviluppo dell'area NW del campo con l'installazione di una nuova piattaforma da cui perforare 4 pozzi: Bonaccia NW 1dir, Bonaccia NW 2dir, Bonaccia NW 3dir e Bonaccia NW 4dir;
- di massimizzare i recuperi di gas sia dall'area "principale" che da quella "Est".

Le riserve totali calcolate con questa revisione sono risultate di 9083 MSm³ recuperabili al 2038, di cui 1999 MSm³ associati allo sviluppo dell'area NW del campo.


Tali riserve si sono, quindi, incrementate del 44% rispetto a quelle dello studio del luglio 2007 (6305 MSm³ producibili al 2029).

La successiva revisione del modello *Eclipse* di giacimento (*rel. GISE 09-14 del luglio 2014 "Aggiornamento studio di giacimento per modello geomeccanico"*) ha aggiornato l'*history match* sulla base di produzioni mensili storiche sino al giugno 2014 e ha permesso di verificare le valutazioni fatte con lo studio 2011 per lo sviluppo delle aree NW ed Est del campo (sviluppo dell'area NW con la perforazione di 4 pozzi e *infilling* dell'area Est con la perforazione di un pozzo). Nel caso *Do Nothing* + Sviluppo Area NW + *Infilling* Area Est, la produzione di gas per il periodo 01/06/2014 – 01/01/2036 è stata prevista pari a 4018 MSm³, di cui:

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

Complessivamente il nuovo modello di giacimento ha valutato le riserve complessive di tutta l'area in 9160 MSm³ al 2035.

A seguito dei risultati dello studio, nel corso del 2015 è stato avviato il nuovo progetto di sviluppo che ha interessato la culminazione NW del campo di Bonaccia e per cui sono stati perforati 3 pozzi, Bonaccia NW 1dir, Bonaccia NW 2dir e Bonaccia NW 3dir, a partire

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 6 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

dalla nuova p.ma di Bonaccia NW, che è stata allacciata alla piattaforma preesistente di Bonaccia e avviata alla produzione a ottobre 2015. Su questa piattaforma è stato installato un CGPS per il monitoraggio della subsidenza in aggiunta a quello già messo in opera nel 2008 sulla p.ma Bonaccia. Il pozzo Bonaccia NW 1dir è stato poi equipaggiato con *marker* per il controllo *in-situ* della compattazione profonda. Dopo l'installazione dei *marker*, nel tratto di foro compreso tra 709 m e 1092 m (MD) circa, si è acquisito nell'agosto 2015 il rilievo base.


4 Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva

Nel corso del 2018 è stato nuovamente rivisto il modello *Eclipse* del giacimento (*rel. GEUR-GISE - DA691600-0 del dicembre 2018 "Campo di Bonaccia-Studio integrato di giacimento per studio geomeccanico"*) con l'obiettivo di aggiornare il modello dinamico del 2014 per il successivo aggiornamento del modello geomeccanico, includendo sia i livelli produttivi del campo sia la nuova interpretazione sismica dell'area NW a seguito della perforazione dei pozzi BNW1, BNW2 e BNW3. Lo studio si è proposto, inoltre, di rivedere la valutazione del potenziale produttivo residuo con l'assetto attuale di produzione.

Il nuovo modello di giacimento ha ridotto le riserve complessive di tutto il campo, precedentemente stimate in 9160 MSm³ al 2035 con il modello *Eclipse* 2014. Sono stati considerati due nuovi scenari di sviluppo:

- **caso DN** (*Do Nothing*) che prevede il mantenimento dei completamenti già aperti senza ulteriori interventi di sviluppo. Per questo scenario la fine produzione è prevista a fine dicembre 2026 quando la produzione cumulativa avrà raggiunto i 6948 MSm³.
- **caso DN+2DW** (*Do Nothing + Sviluppo area NW + Sviluppo area Est*) che prevede sia un nuovo pozzo dalla piattaforma NW che un nuovo pozzo con testa pozzo sottomarina in Bonaccia Est. Per questo scenario la fine produzione è prevista a gennaio 2040 quando la produzione cumulativa avrà raggiunto 7910 MSm³.

Un successivo aggiornamento è stato, prodotto nel corso del 2022 (*Campo di Bonaccia Studio Integrato di Giacimento Aggiornamento Post Revisione 3D Adria 2019 e pozzo Bonaccia NW 3DIRA. Rel. STEORG 12/2022 - UID: REVAL-54D0A013-0*) al fine di riprodurre correttamente sia la storia produttiva che le pressioni statiche dei livelli del reservoir con una rivalutazione complessiva delle riserve del campo a 7297 MSm³ al 2029.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 7 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

In Figura 3 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm^3/g), d'acqua (m^3/g) e della produzione cumulativa di gas pari a 6977 MSm^3 al 31/12/22.

Nella Figura 4, Figura 5 e Figura 6 sono riportate le produzioni reali e da modello.

La Figura 7 (a,b) mostra, inoltre, il buon accordo tra le pressioni calcolate da modello *Eclipse* del dicembre 2022 e le pressioni misurate in due livelli rappresentativi del giacimento (livello PLQ-B e PLQ2-Ca2). A seguito dell'aggiornamento del modello di giacimento del 2022 si è nuovamente aggiornato anche il modello geomeccanico del campo.

5 Modellistica previsionale di subsidenza

Sulla base degli studi di giacimento del 2018 e del 2022 (*Campo di Bonaccia Studio Integrato di Giacimento Aggiornamento Post Revisione 3D Adria 2019 e pozzo Bonaccia NW 3DIRA. Rel. STEORG 12/2022 - UID: REVAL-54D0A013-0*) si sono aggiornate, via via, anche le previsioni modellistiche della subsidenza.

Nel modello di subsidenza del 2022 (*Campo di Bonaccia – Modello geomeccanico di subsidenza – Management Summary, Rel. REVAL-16D4FDAC-0, dicembre 2022*), il coefficiente di compressibilità uniassiale della roccia serbatoio è stato calibrato sulla base delle misure CGPS e nel modello si è tenuto conto della stima della subsidenza indotta dalla produzione di Bonaccia, Bonaccia Est e Bonaccia NW e delle possibili interferenze - idraulica e meccanica – tra le diverse aree del campo.

Il comportamento meccanico delle rocce è stato descritto, invece, secondo la legge costitutiva elasto-viscoplastica “*Soft Soil Creep*” (VNM) che è stata formulata arricchendo il classico modello elasto-plastico “*Modified Cam-Clay Model*” (MCCM) con la componente viscosa della deformazione. L'affidabilità del modello è stata, inoltre, verificata confrontando i risultati ottenuti con le misure di compattazione registrate *in-situ* a partire dal 2015, lungo il pozzo Bonaccia NW1 dir. Per entrambi gli scenari produttivi analizzati (**DN**–fine produzione febbraio 2030 e **4EST**-fine produzione dicembre 2040), le simulazioni sono state protrate per oltre 30 anni dopo la chiusura del campo in modo da considerare l'effetto dell'evoluzione della pressione nelle regioni mineralizzate e in acquifero dopo la fine della produzione.

Nello scenario **4EST** che prevede lo sviluppo del giacimento con un pozzo nella zona Est del campo, la subsidenza massima si raggiunge a fine produzione (2040) ed è pari a 144 cm.

Tale valore si mantiene costante fino a fine simulazione (2070) in corrispondenza della piattaforma Bonaccia. La distanza minima del bordo del cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) dalla costa risulta, in entrambi i casi, superiore ai 40 Km (Figura 8).

In Figura 9 è mostrata l'evoluzione temporale della subsidenza, nel punto di massimo, per il campo di Bonaccia. I risultati per i due scenari esaminati sono riassunti nella seguente Tabella 1:

Data	Scenario di Sviluppo	Subsidenza Punto di Max (cm)	Estensione Max (km)	Distanza Min da Costa (km)
31-ago-22	\	133	14	45
01-feb-30	DN	141	16	44
01-gen-43		142	17	43
01-gen-70		141	21	41
01-gen-32	4EST	142	17	44
01-dic-40		144	18	43
01-gen-70		144	23	41


Tabella 1: massima subsidenza (in cm), estensione e minima distanza dalla costa del fenomeno come previsto dal modello geomeccanico

Il fatto che tutti gli studi geomeccanici, sino a ora eseguiti, tenendo conto dei possibili fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra i campi dell'area in esame, concordino nel prevedere che il fenomeno della subsidenza si esaurisca a grande distanza dalla costa (> 40 km), ha una spiegazione nel particolare assetto geologico dell'area stessa.

Tale assetto è ricostruito nella sezione stratigrafico-strutturale di Figura 10, che è stata interpretata su base sismica e controllata con dati di pozzo e nella quale sono evidenziati i rapporti verticali e laterali tra le formazioni (reservoir e copertura) e il substrato.

Lungo la direttrice esaminata (WSW – ENE) in direzione della costa, i livelli mineralizzati si chiudono per limite deposizionale in onlap sui livelli argillosi della F.ne Santerno, che è un'importante barriera idraulica verso costa. La successione terrigena di copertura è, inoltre, relativa a intervalli stratigrafici differenti dalle zone reservoir di Bonaccia-Bonaccia NW.

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


 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 9 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

Il modello geomeccanico tiene conto della presenza di tale barriera idraulica di tipo sedimentologico-strutturale e, coerentemente, prevede l'esaurimento del fenomeno subsidenziale a grande distanza (> 40 km) dalla costa.

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

6 Survey Batimetrici

In ottemperanza alle prescrizioni contenute nel DEC/VIA 2009-0000582 del 15/06/2009 è stato acquisito un rilievo batimetrico nell'area di Bonaccia-Bonaccia Est tra il 29 novembre 2009 e il 2 marzo 2010. L'area investigata è situata nel Mare Adriatico Centrale a circa 65 Km a Est da Ancona (Figura 11a). Il rilievo batimetrico di precisione è stato eseguito mediante ecoscandaglio *multi-beam* su un'ampia area di 410 Km² comprendente i campi di Bonaccia, Bonaccia Est e l'area di Bonaccia NW. La carta batimetrica che ne deriva evidenzia una topografia alquanto accidentata, caratterizzata da una sorta di depressione centrale (profondità massima rilevata -91.4 m) limitata verso NW e verso SE da due superfici più alte e regolari in lieve pendenza (profondità minima di circa -79.3 m nella parte nord). La rappresentazione 3D (Figura 11b) mostra chiaramente l'andamento generale e le strutture sedimentarie dei fondali, mentre il dettaglio delle isobate è riportato in Figura 11c. L'area del rilievo si può idealmente dividere in tre zone, separate all'incirca dalle batimetriche di -83/-84 m: due zone laterali, una a nord-ovest e l'altra a sud-est dell'area, dal fondale piuttosto regolare con basse

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 10 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

pendenze e una zona centrale più profonda e articolata. In particolare, si può notare come questa zona centrale sia la più irregolare e presenti diffuse emanazioni di gas, accompagnate da ampie depressioni, affioramenti di rocce e qualche vulcano di fango. Canali e molte strutture tipo *pockmark* e depressioni accompagnate da qualche concrezione sono, tuttavia, presenti anche nella zona di Nord-Ovest. Più regolare appare invece il dolce pendio della zona di Sud-Est, il quale è tuttavia interrotto verso Est da una netta rottura di pendenza, con un gradino da -83 a -87 m di profondità, causato dalla nicchia di distacco di una frana sottomarina.

7 Monitoraggi altimetrici onshore e offshore

7.1 Livellazione

A partire dai primi anni '70, Eni ha realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, a partire dal 2011, è rilevata con cadenza triennale e secondo specifiche tecniche raccomandate nelle "*Linee Guida per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell'ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas*" emesse dal Dip. DMMMSA dell'Università di Padova nel 2007.


Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della metodologia utilizzata e dei dati acquisiti all'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

La rete di livellazione rilevata nel 2020 (ultimo rilievo eseguito) è suddivisa nei seguenti tratti:

- da Treviso a Pesaro (dorsale Adriatica), per un totale di circa 1230 km di sviluppo lineare, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po;
- da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 230 km di sviluppo lineare;
- da P.to San Giorgio a Pescara (Marche-Abruzzo), per un totale di circa 200 km di sviluppo lineare.

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

Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisori e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 11 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

I parametri della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura sia per i valori legati alla propagazione dell'errore.

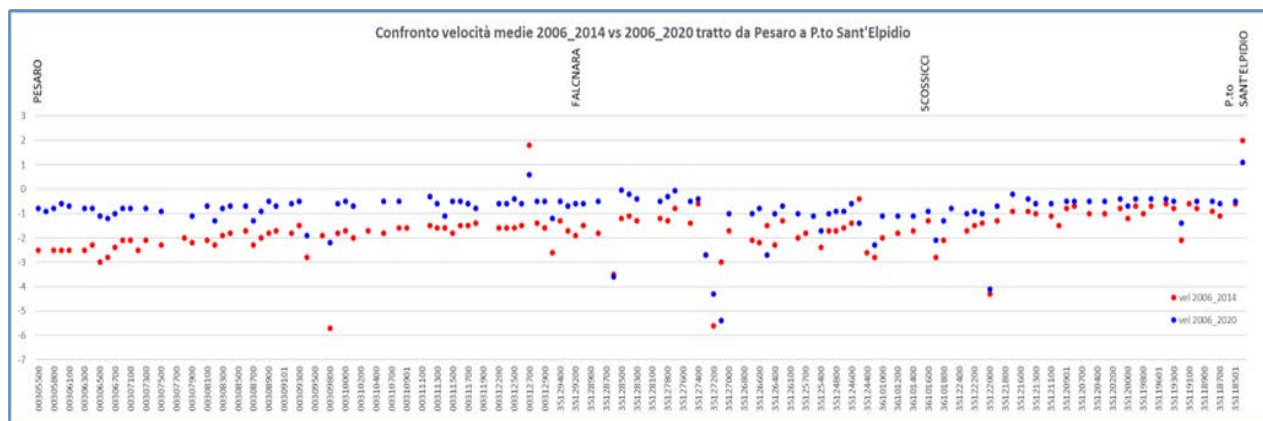
In passato, sebbene vi fossero punti di contatto, non era possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sui singoli tratti di livellazione a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore è stata predisposta sperimentalmente una rete di 6 stazioni permanenti CGPS nel tratto della Dorsale Adriatica (Treviso, Pomposa, Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti e Rubicone). Tali stazioni costituiscono una serie di capisaldi origine omogenei, che consentono di ottenere misure di quota fra loro consistenti.

I positivi risultati della sperimentazione, come è stato verificato nell'elaborazione dei dati della campagna di livellazione del 2020 permetteranno di estendere l'utilizzo delle stazioni CGPS onshore anche al tratto Pesaro - Porto Sant'Elpidio/Porto S.Giorgio e Marche-Abruzzi.

Nel tratto di costa da Pesaro a P.to San Giorgio, antistante alla piattaforma di Bonaccia- Bonaccia NW, con l'acquisizione della campagna 2020 sono in totale disponibili 8 campagne di livellazione fatte negli anni 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. I dati rilevati rappresentano, sebbene per valori molto bassi, un trend di generale abbassamento della zona analizzata.

Il grafico che segue (Figura A), riporta per confronto le serie storiche 2006-2014 e 2006-2020 elaborate nel tratto da Pesaro a Porto Sant'Elpidio - Porto S. Giorgio e consente di apprezzare graficamente come, nel corso degli anni, si sia registrata una generale diminuzione delle velocità di subsidenza che, mediamente, salvo punte localizzate di valore diverso, si attesta intorno ai 2 mm/anno nella zona tra Pesaro e Scossicci e intorno ai 0,5 mm/anno nella zona tra Scossicci e Porto Sant'Elpidio.

Figura A – Tratto Pesaro – Porto S. Elpidio: velocità medie di subsidenza nei periodi 2006-2014 e 2006-2020. L'andamento altimetrico rappresentato si riferisce al tratto di costa antistante i campi di Barbara, Bonaccia, Calipso, Calpurnia, Clara, Elettra e Fauzia.



Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura 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 osservare, 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 di realizzare un’analisi della velocità media di subsidenza V_a^1 dell’area monitorata è possibile realizzare una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

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

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 2006-2014, mostra un trend di generale abbassamento di questo tratto di costa, per valori di velocità media come detto molto contenuti: il 2% dei punti ricade nella classe “0”, il 93% nella classe 1, il 4% nella classe 2 e, infine, meno dell’1% nella classe 3.

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 13 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Nel periodo 2006-2020, la distribuzione delle velocità secondo la classificazione proposta, mostra, per quanto possibile dati i valori molto piccoli, il rallentamento delle velocità di subsidenza. Infatti: il 2% dei punti ricade nella classe "0", il 94% nella classe 1, il 3% nella classe 2 e meno dell'1% nella classe 3.

I capisaldi per i quali si osservano alte velocità d'abbassamento (es. 5.4 mm/a sul CS 35127100 nell'entroterra 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 a priori 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 dei capisaldi prossimi ad essi, mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, sono assolutamente compatibili. Le campagne future (il prossimo rilievo, originariamente previsto nel 2023, è stato posticipato al 2024 a seguito degli eventi alluvionali verificatisi in Romagna e nella zona nord della Regione Marche nel maggio-giugno 2023), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

7.2 CGPS (Continuous GPS)

Come già precedentemente accennato, le attività di monitoraggio altimetrico onshore e offshore, sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sia sulle piattaforme offshore operate da Eni sia in specifici siti minerari Eni onshore. La postazione CGPS di Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002 mentre le stazioni CGPS di Naide e PCC sono operative dal luglio 2005. Nel 2007 sono stati installati i CGPS 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).

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). A terra, nel tratto di costa compreso tra Comacchio e Ortona sono state installate nel 2002 alcune stazioni CGPS quali Smarlacca (Valli di Comacchio), Spinaroni (Lidi Nord di Ravenna) e Fiumi Uniti (Lidi Sud di Ravenna).


Successivamente nel corso del 2007 si è completata la stazione di Rubicone e quindi nel corso del 2009 si sono installate 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, quest'ultime tutte equipaggiate con 2 bersagli *radar* e con un caposaldo di livellazione. Allo stato attuale, tuttavia, la stazione di Ortona non è più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016 è stata, quindi, messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017. Nel corso del 2018, sono state, infine, installate due ulteriori nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. (Satellite Survey Unit) di Pomposa (ACPO) a settembre 2018 e di Po di Tolle (POTO) a luglio 2018.

Analogamente a quanto avviene per le livellazioni, anche i dati del monitoraggio CGPS sono validati da un ente esterno. Attualmente questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

I dati CGPS, acquisiti sulle piattaforme Bonaccia e Bonaccia NW e nel tratto di costa anti-stante il giacimento (CGPS di Fano a nord e Falconara a sud), elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS, sono certificati fino al 2021 e in fase di certificazione per gli anni successivi. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici le serie storiche più complete di misure, ovvero quelle estese al 31/12/2022 (Figura 12 e Figura 13), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato in Tabella 2 per il CGPS di Bonaccia NW.

Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2021

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/a	D-H mm/a
Bonaccia NW	11.80	31.34	-35.18	11.89	31.62	-35.40	-0.09	-0.28	-0.22


 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 15 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 i dati. L'Ente certificatore, infatti, verifica e valida i dati registrati al fine di poter disporre di un numero sufficiente d'osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e per poter filtrare il "rumore" che per piccole velocità di subsidenza è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico 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 vers.5.2, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service) e il sistema di riferimento ITRF2014.

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 spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 16 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Per il campo di Bonaccia sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi e nell'ipotesi di linearità del fenomeno deformativo è possibile stimare:

- per la piattaforma Bonaccia una velocità media di subsidenza totale pari a -61.7 mm/a (Figura 12 e Figura 16), in diminuzione rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-63.09 mm/a al 2021);
- per la piattaforma Bonaccia NW, una velocità media di subsidenza totale² pari a -32.25 mm/a (Figura 13 e Figura 16), in diminuzione rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-35.18 mm/a al 2021).


Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED – Fast Elbow Effect Detector), creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche GNSS per rilevare variazioni di velocità, nell'ambito della serie storica dei dati CGPS disponibile è, inoltre, possibile individuare per il CGPS di Bonaccia NW alcune variazioni di velocità correlabili con la storia produttiva del campo (Figura 14).

In particolare:

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -50.40 mm/a nel periodo settembre 2015 (installazione del CGPS) - settembre 2018;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -19.70 mm/a nel periodo settembre 2018 - dicembre 2022.

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.

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 17 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

8 SAR (cfr. Appendice A)


Il monitoraggio altimetrico del tratto di costa viene integrato con un'analisi della serie storica dei dati InSAR. In Figura 15 è rappresentata la velocità media calcolata come regressione lineare degli spostamenti misurati nel periodo 2012-2022. Inoltre, considerando i punti ricadenti all'interno del poligono rosso (Figura 15), è rappresentato il grafico dello spostamento medio nel periodo analizzato. Il tasso annuale di velocità verticale media del suolo calcolato come regressione lineare è di -0.09 ± 1.00 mm/a. Il campo ricade nella maschera Fano-Ancona, per cui non è stato necessario calibrare il dato InSAR con il dato CGPS (vedi Appendice A).

9 SSU / EPSU (cfr. Appendice B)

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW 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 platea di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007; negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrico-piezometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni (EPSU) si sono aggiunte a quelle pre-esistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

10 Misura della compattazione profonda - survey log con tool FSMT – Formation Subsidence Monitoring Tool)

In ottemperanza alle prescrizioni ministeriali del progetto di sviluppo di Bonaccia NW, a settembre 2022 si è proceduto al rilievo dei *marker* installati nel pozzo Bonaccia NW1dir. Dopo il rilievo base, acquisito nell'agosto 2015, il successivo *survey* di controllo, inizialmente programmato per la fine del 2016, è stato posticipato ai primi giorni del 2017 a causa di condizioni meteo avverse. I successivi *survey* di controllo sono stati effettuati, rispettivamente: 12/2017, 11/2018, 09/2019, 11/2020 e 09/2022 (Figura 19).

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 18 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Nel caso di Bonaccia NW1dir, la spaziatura dei *marker* non è regolare (per alcuni è di 10.5 m mentre per altri è di 5.25 m): di ciò si è tenuto conto nel calcolo della compattazione totale pesando diversamente il contributo dei singoli spacing e conseguentemente nei totali rappresentati nella Figura 19. Le misure eseguite registrano una compattazione dell'intero intervallo monitorato (709 m - 1092 m MD) di circa 67 mm per il periodo agosto 2015-gennaio 2017, di circa 61 mm per il periodo gennaio-dicembre 2017, un'espansione di 80 mm per il periodo dicembre 2017-novembre 2018, un'espansione di 1 mm per il periodo novembre 2018-settembre 2019 e una compattazione di 78 mm per il periodo settembre 2019-novembre 2020 e una compattazione di 59 mm per il periodo novembre 2020- settembre 2022.


11 Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio (CGPS e FSMT)

- Modello geomeccanico vs. dati altimetrici da CGPS

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del 2022 sono stati confrontati con quelli acquisiti dalle stazioni CGPS senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale. Come si vede dalle Figura 17 e Figura 18, l'andamento del modello è in linea rispetto alle misure CGPS sia per Bonaccia che per Bonaccia NW.

- Modello geomeccanico vs. dati di compattazione da FSMT

In Figura 20 viene rappresentato il confronto tra le misure acquisite e le stime fornite dal modello per la variazione di ampiezza dei marker spacing, rispetto al primo sondaggio del 2015. Per le misure viene mostrata anche la barra di confidenza o errore (in rosso), la cui ampiezza è pari a 3 volte la deviazione standard, tale da includere il 99,7% delle misure disponibili. Si nota un buon accordo con le misure di compattazione disponibili.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 19 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

12 Conclusioni

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza, la notevole distanza del campo dalla costa (60 km) e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che la subsidenza indotta dalla produzione di gas dal campo di Bonaccia possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala infine che:

- a) in Figura 21 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 22 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

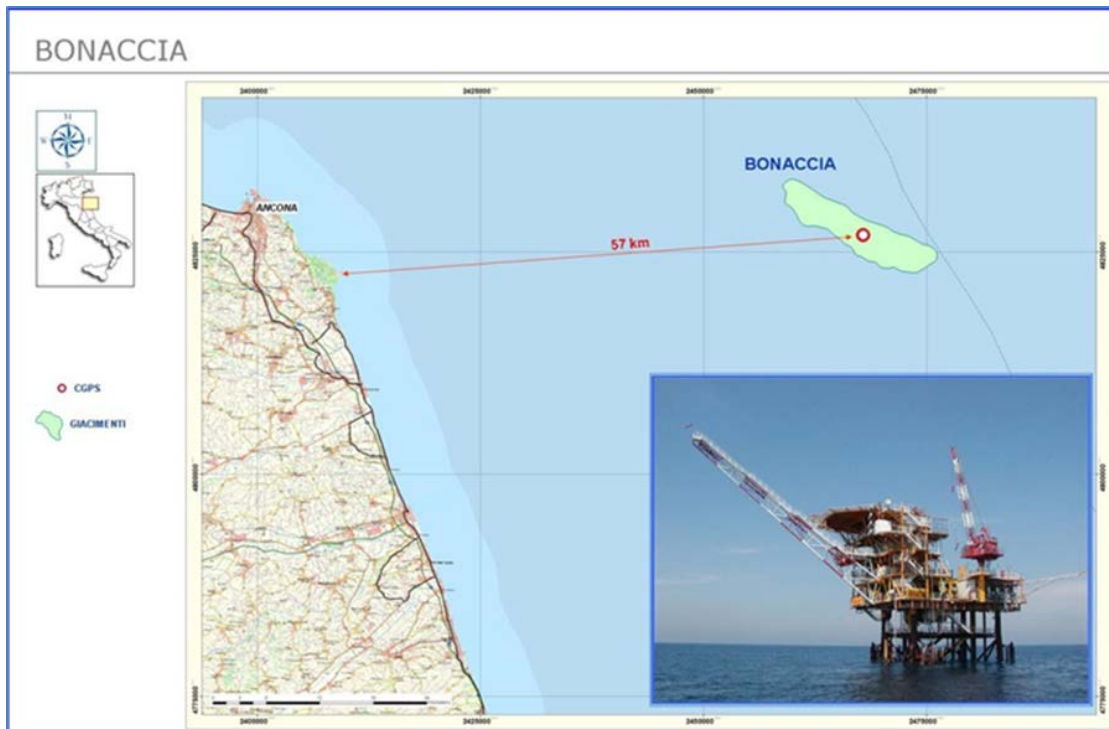


Figura 1 - Ubicazione del campo di Bonaccia

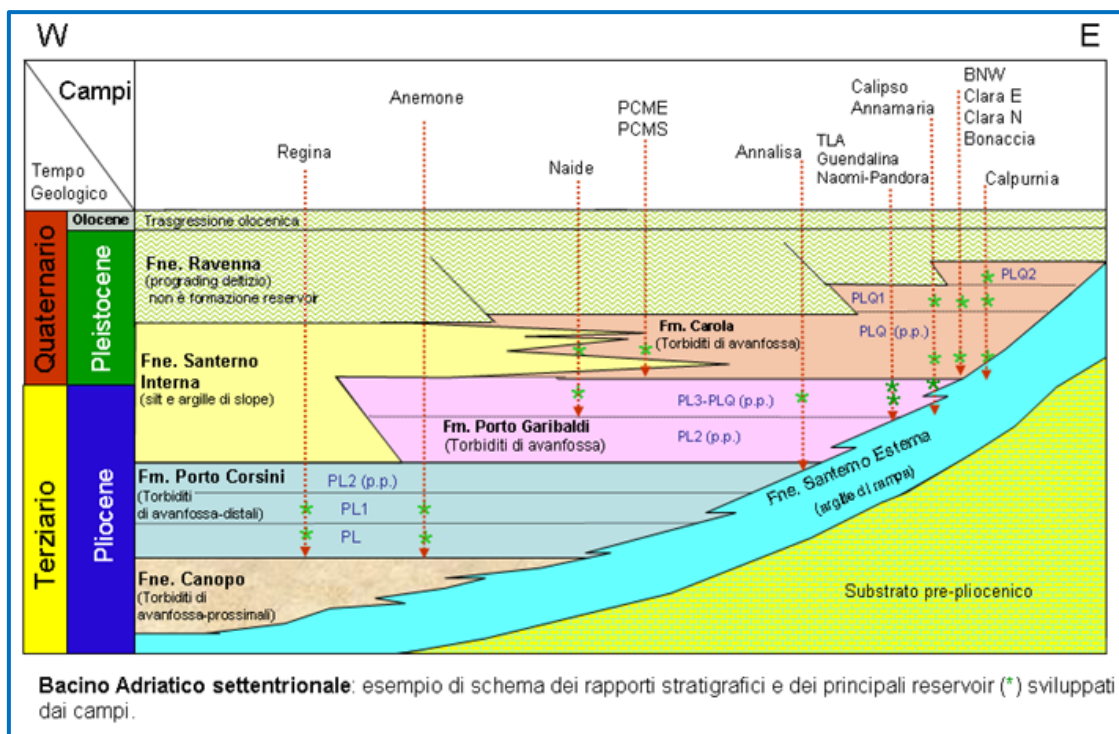


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

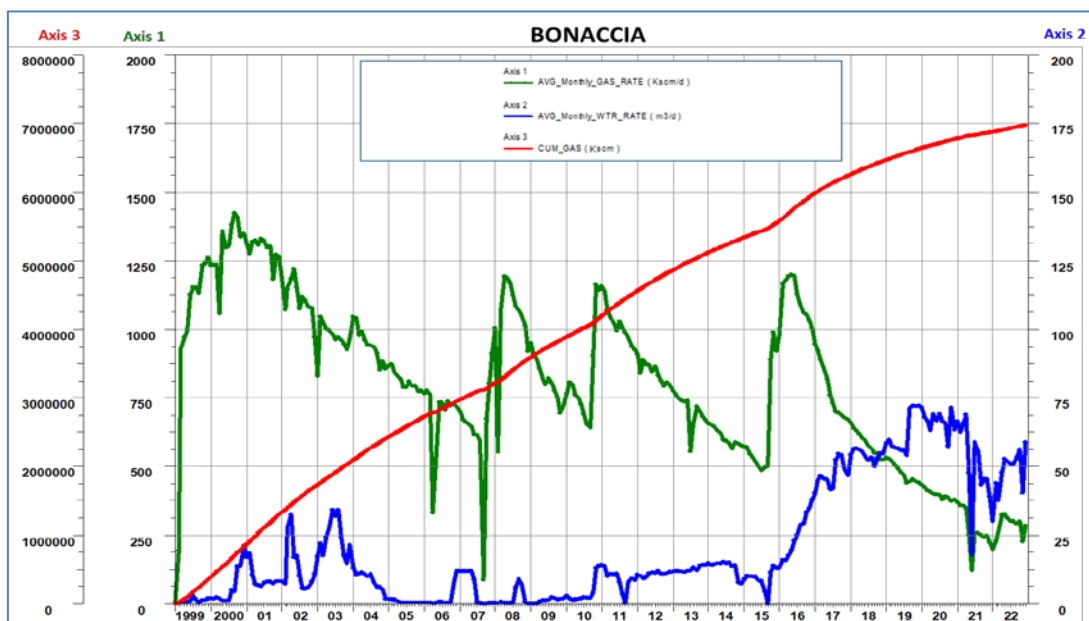


Figura 3 - Campo di Bonaccia: grafico della produzione storica

CAMPO DI BONACCIA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
1999	348	348	348	348	5%
2000	477	477	825	825	11%
2001	472	472	1297	1297	18%
2002	408	408	1704	1704	23%
2003	353	353	2058	2058	28%
2004	346	346	2404	2404	33%
2005	297	297	2700	2700	37%
2006	250	250	2950	2950	40%
2007	233	233	3183	3183	44%
2008	380	380	3563	3563	49%
2009	298	298	3861	3861	53%
2010	298	298	4159	4159	57%
2011	374	374	4533	4533	62%
2012	309	309	4842	4842	66%
2013	258	258	5100	5100	70%
2014	222	222	5322	5322	73%
2015	229	229	5551	5551	76%
2016	405	405	5956	5956	82%
2017	285	285	6240	6240	86%
2018	214	214	6454	6454	88%
2019	175	175	6629	6629	91%
2020	146	146	6775	6775	93%
2021	100	100	6875	6875	94%
2022	102	102	6977	6977	96%
2023		103		7080	
2024		86		7166	
2025		62		7228	
2026		35		7263	
2027		20		7283	
2028		11		7294	
2029		3		7297	

Figura 4 - Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse 2022

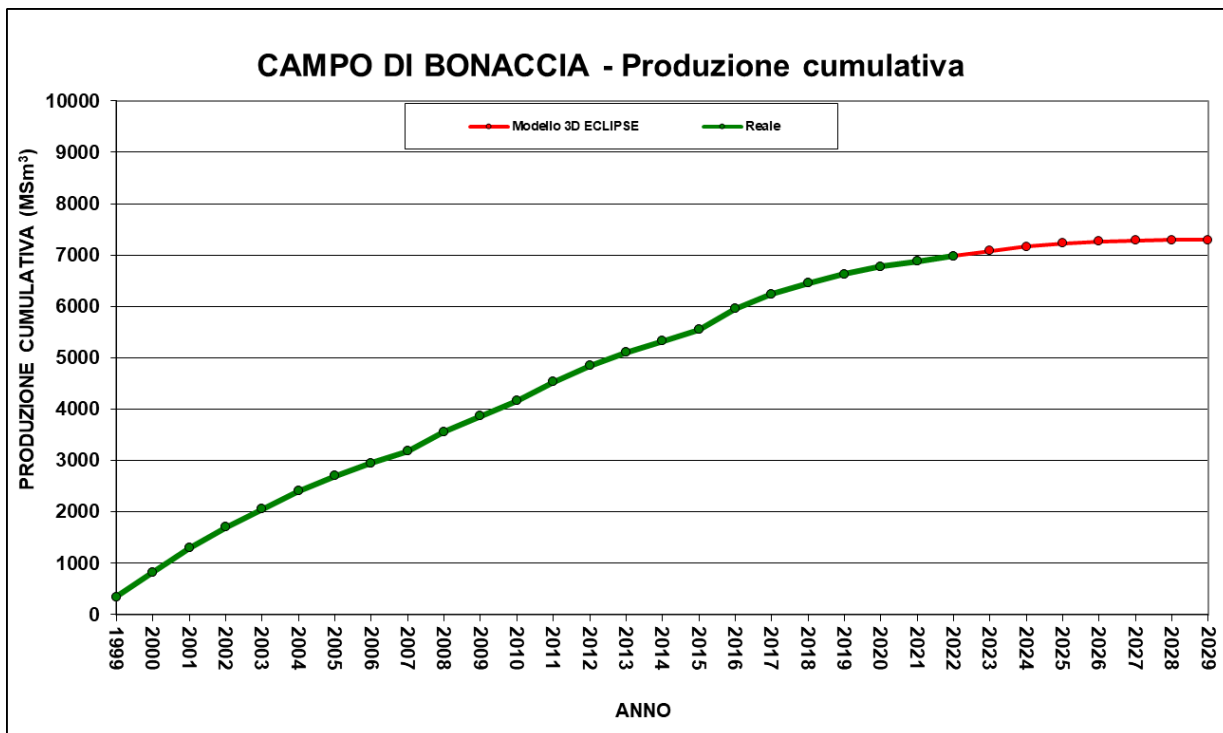


Figura 5 - Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse 2022

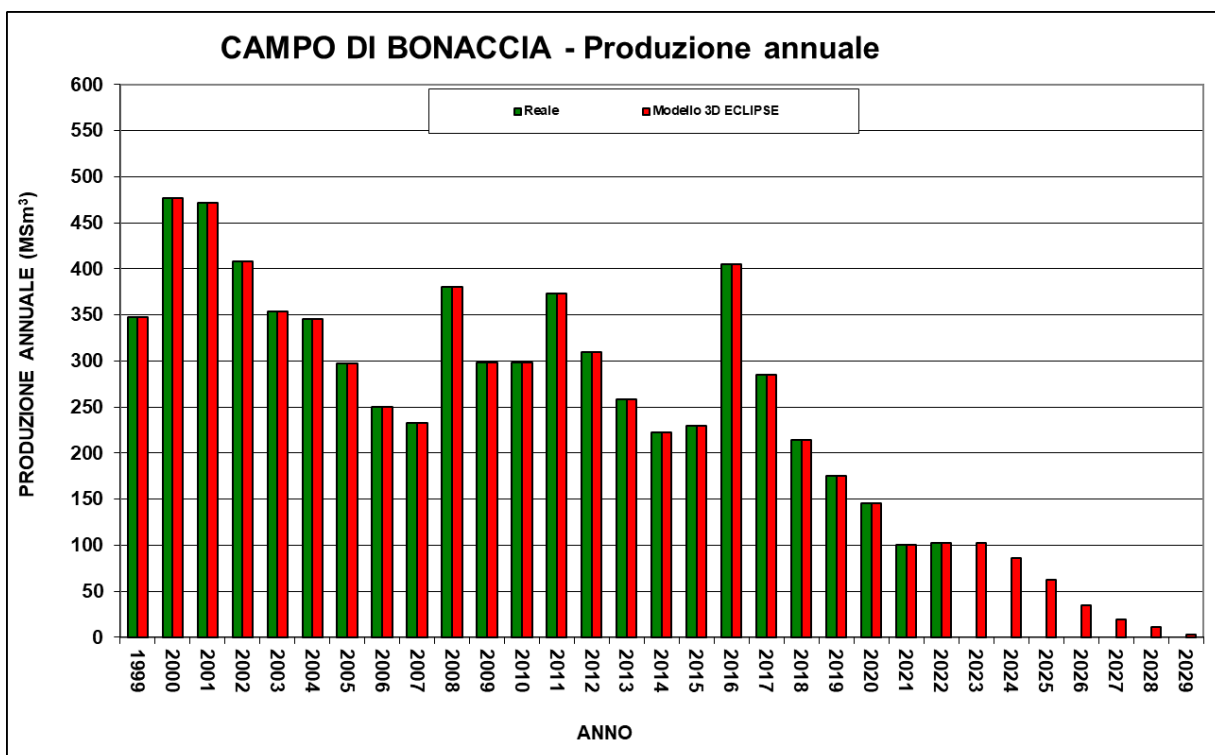


Figura 6 - Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse 2022

CAMPO DI BONACCIA						
Data	Livello PLQ-B			Livello PLQ2-Ca2 sup.		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/01/1998	103.9		7 L			
01/02/2000	97.9		7 L			
06/10/2007	67.1	12 Dir				
26/12/2007	63.9	11 Dir A				
01/05/2004	76.8		8 L			
01/04/2011	39.0		8 L			
21/05/2011	36.0		7 L			
14/12/2013	32.0		7 L			
06/12/2014	36.0		7 L			
27/05/2015				73.8	NW 1 Dir	
11/07/2015	30.0	NW 3 Dir				
24/04/2016	37.3		7 L			
22/01/2017				68.9		NW 2 C
28/11/2017	38.5		7 L	69.3		NW 2 C
01/12/2018	43.6		7 L	68.4		NW 2 C
15/09/2019	44.7		7 L	69.4		NW 2 C
19/11/2020				73.4		NW 2 C
27/07/2021				73.5		NW 2 C
13/09/2021	47.2		7 L			
28/09/2022				73.9		NW 2 C
11/10/2022	48.6		7 L			

Figura 7a - Campo di Bonaccia: dati di pressione da profili statici e RFT in pozzo

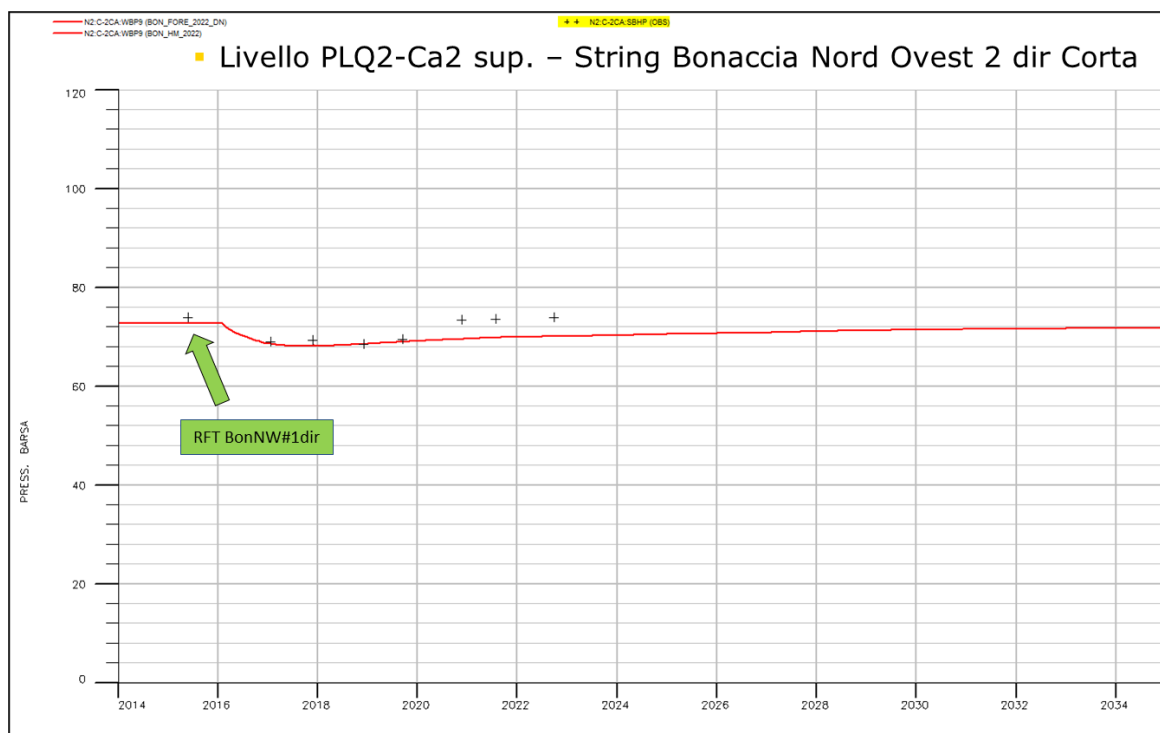
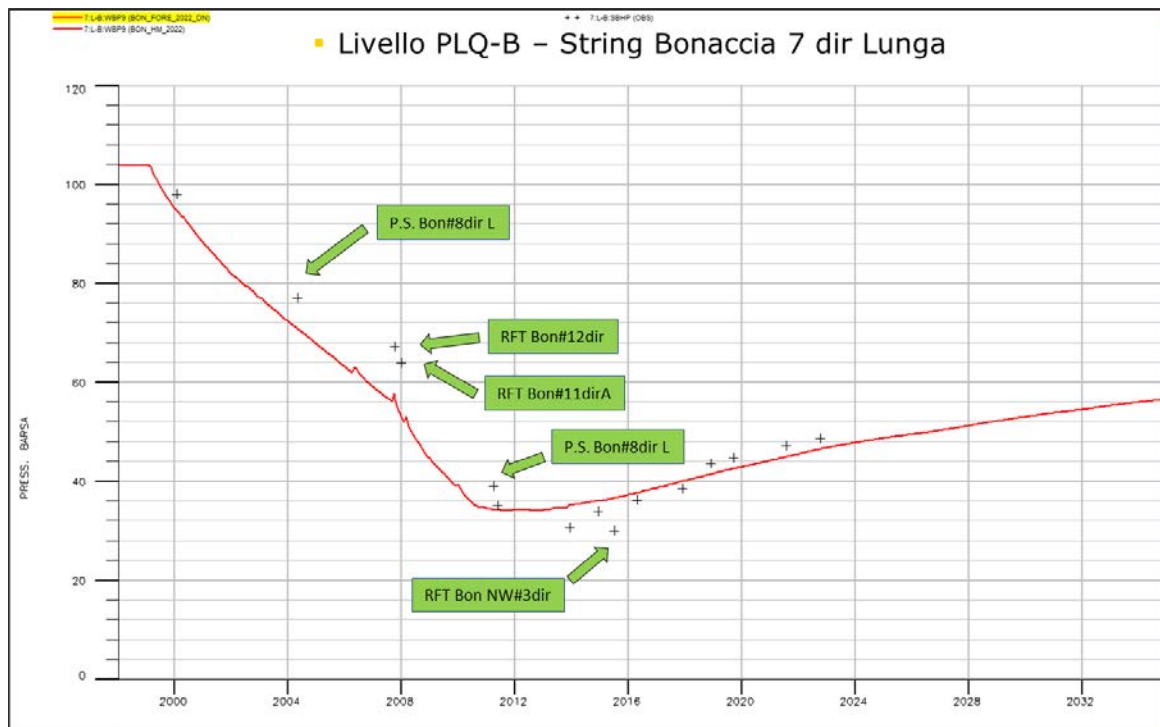


Figura 7b - Campo di Bonaccia: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2022

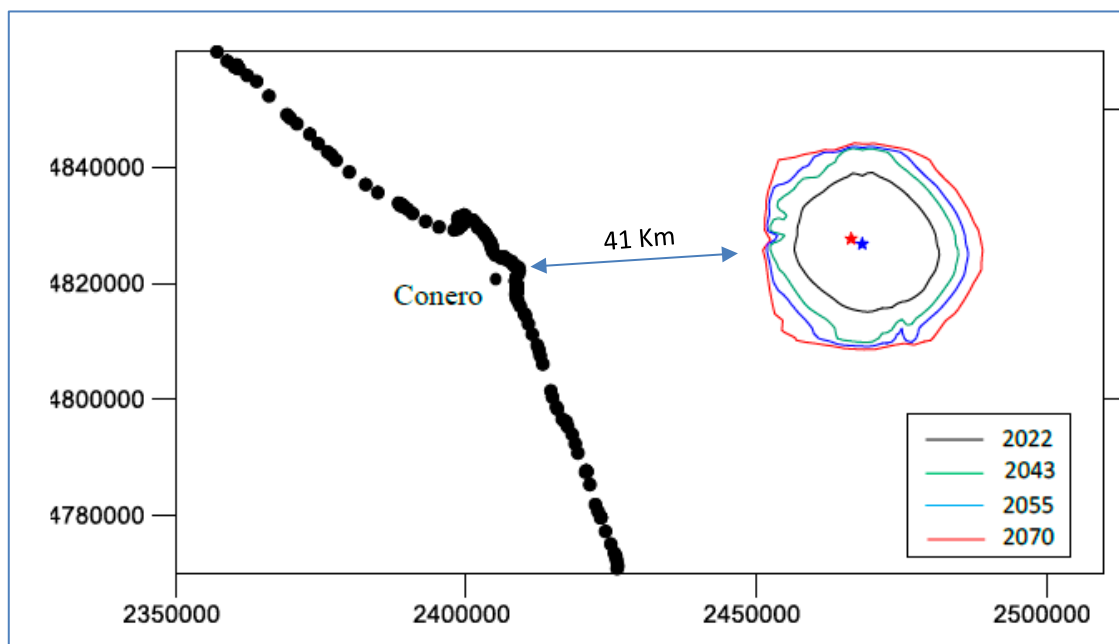


Figura 8 - Campo di Bonaccia: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm (caso Do Nothing)

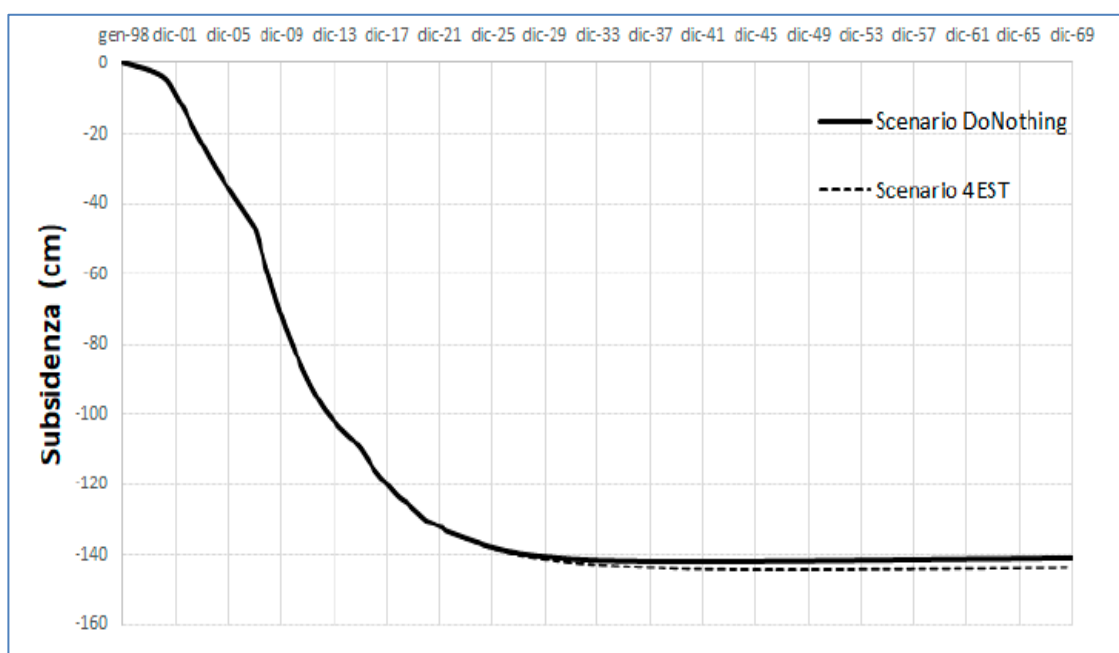


Figura 9 - Campo di Bonaccia: evoluzione temporale della subsidenza nel punto di massimo

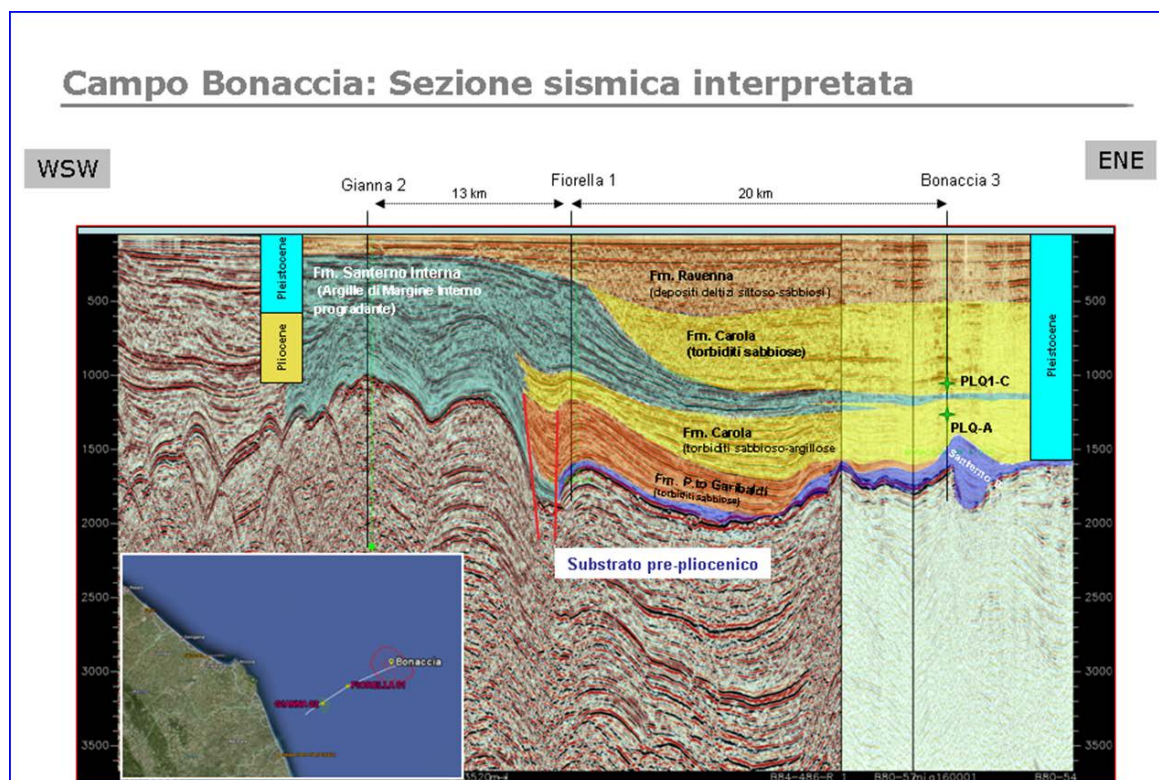
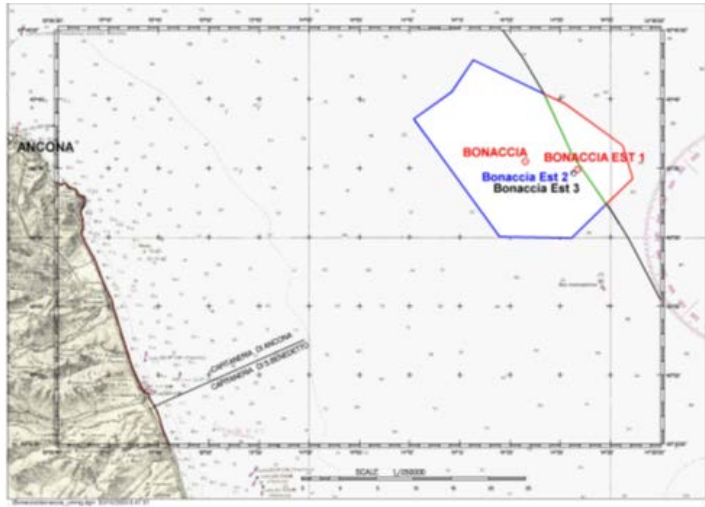
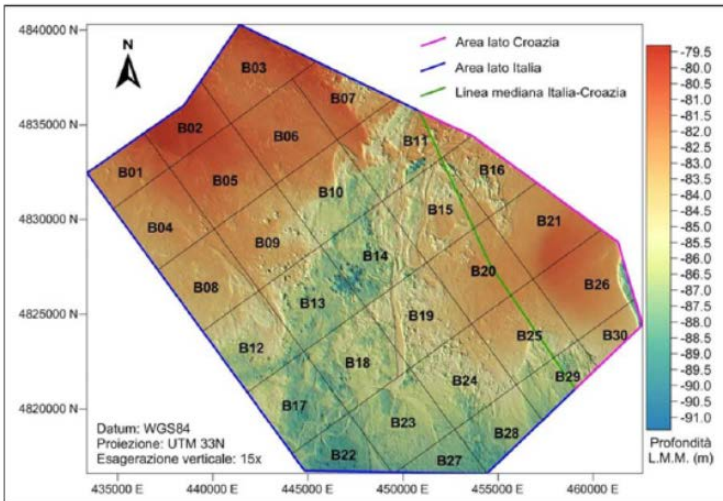


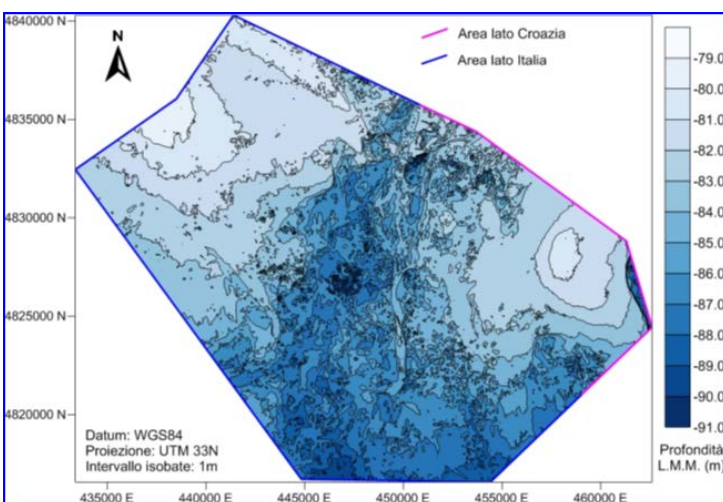
Figura 10 - Sezione sismica interpretata



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



b) Carta batimetrica 3D dell'area rilevata



c) Carta batimetrica dell'area rilevata - mappa delle isobate

Figura 8 - Campo di Bonaccia: rilievo batimetrico

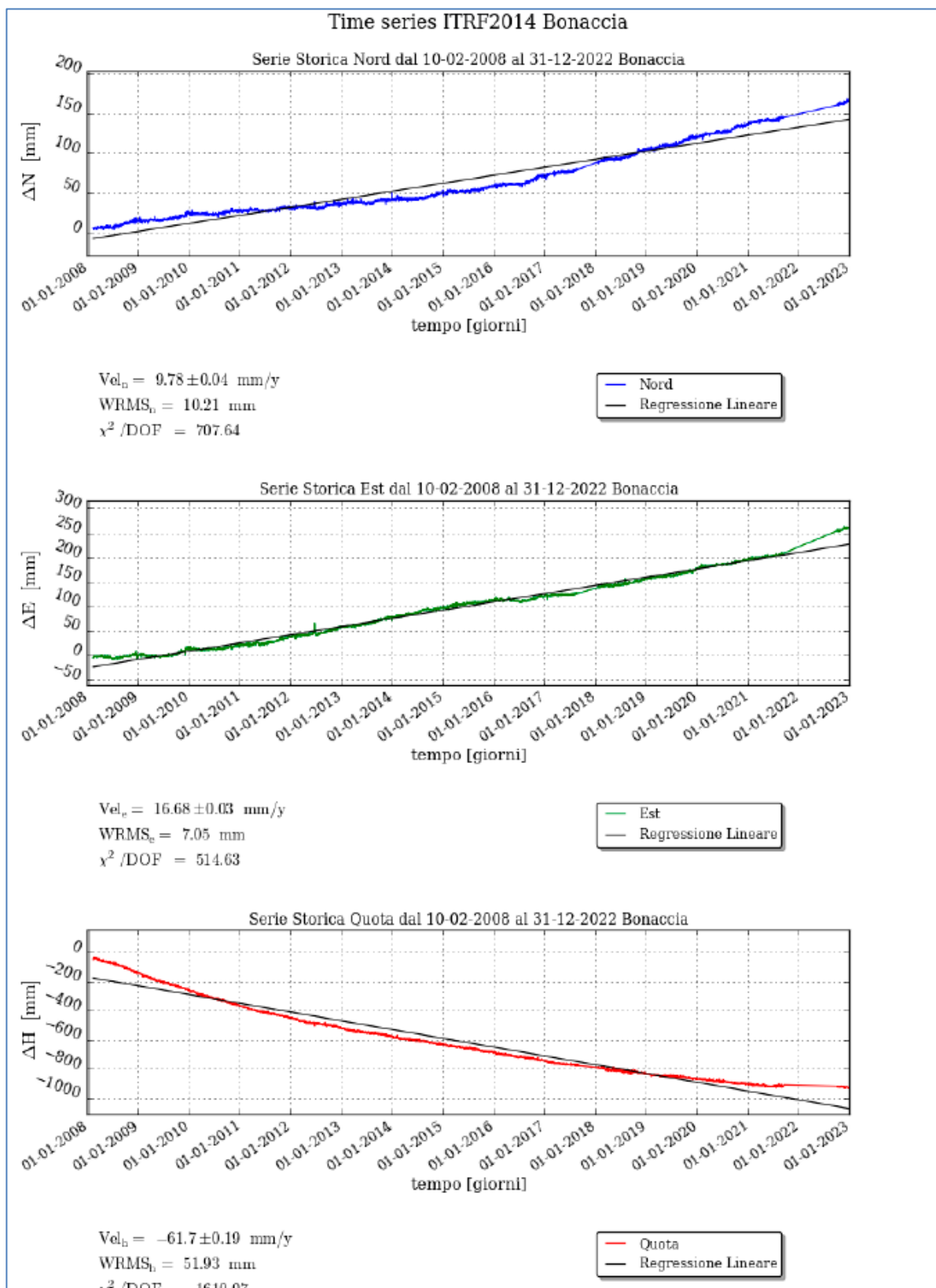


Figura 9 - Campo di Bonaccia: serie storiche di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Bonaccia)

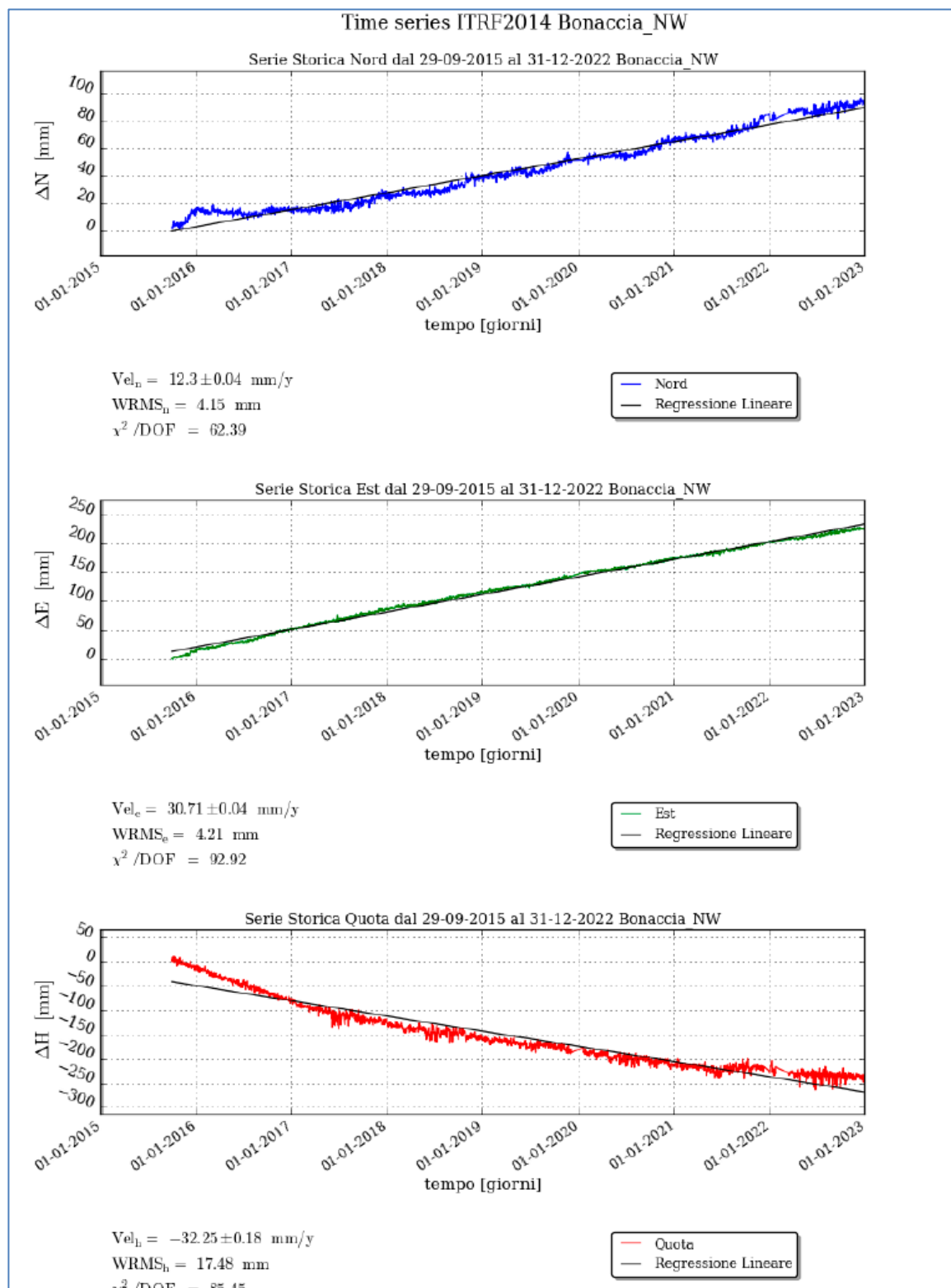


Figura 10 - Campo di Bonaccia: serie storiche di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Bonaccia NW)

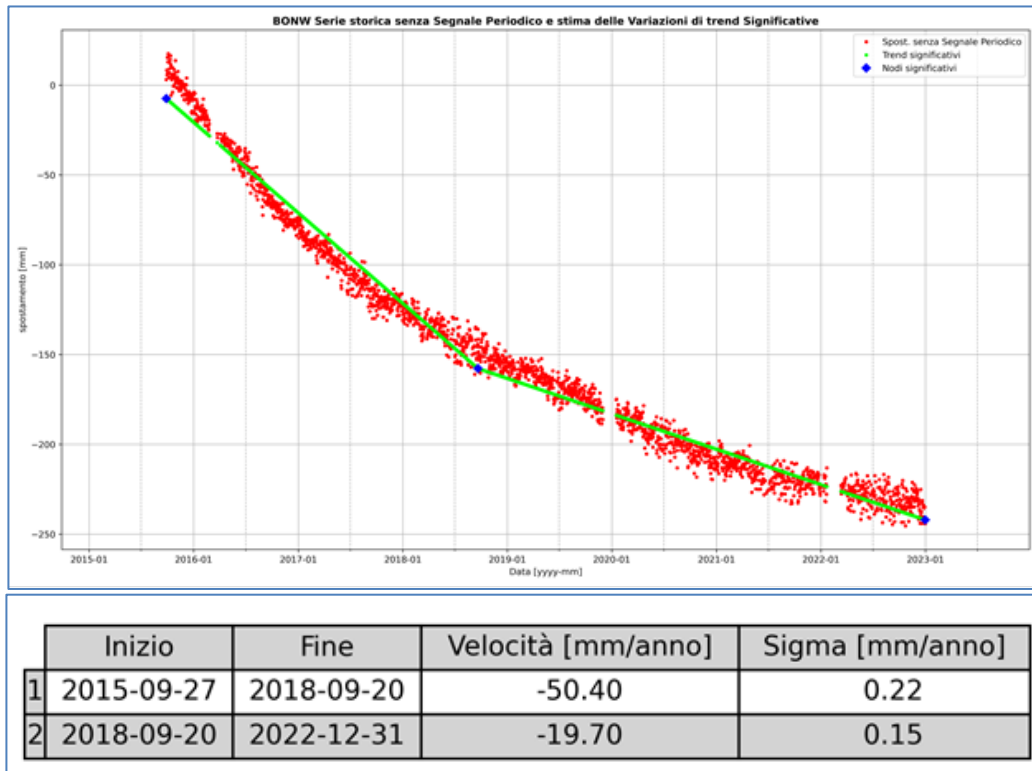


Figura 11 - Campo di Bonaccia: analisi della serie storica di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Bonaccia NW)

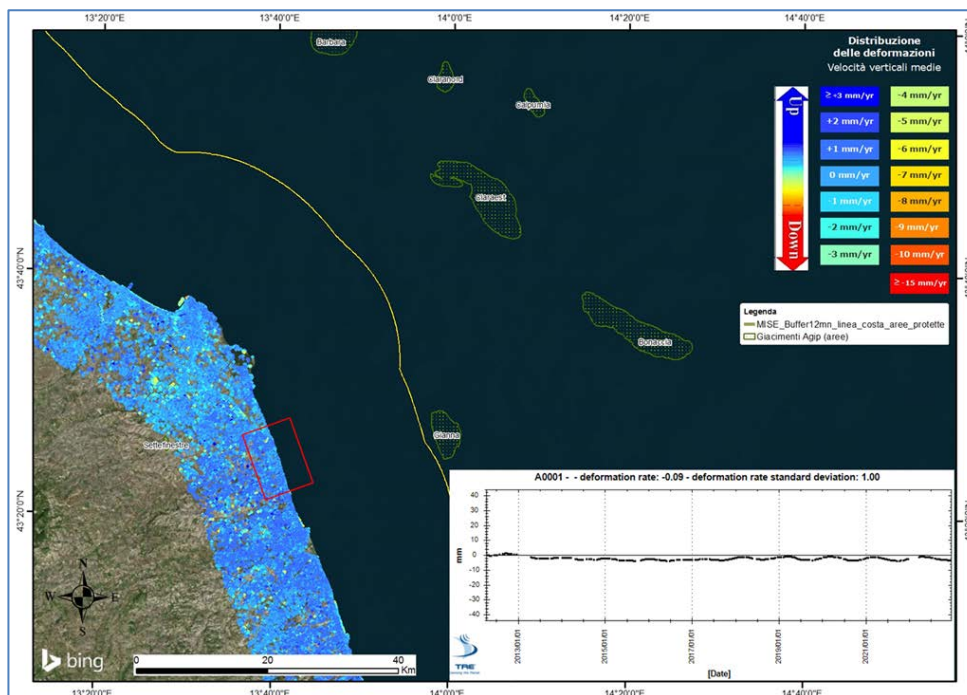


Figura 12 - Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di Bonaccia. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ 31/12/2022	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio geomeccanico	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2021	vel.media (mm/a) @ dic.2022	Variazione velocità di subsidenza 2022 vs. 2021
ANEMONE	1978	2019	100%	-48cm al 2051	2022	2007	-4.45	-4.22	-0.23
ANNALISA	2000	2029	93%	-8cm al 2034	2022	2007	-3.08	-2.75	-0.33
ANNAMARIA B	2009	2038	88%	-138cm al 2051	2021	2010	-87.78	-80.81	-6.97
BARBARA NW	1999	2026	98%	-66cm al 2023	2021	2008	-25.05	-24.2	-0.85
BONACCIA	1999	2029	96%	-144cm al 2040	2022	2008	-63.09	-61.7	-1.39
BONACCIA NW	2015					2015	-35.18	-32.25	-2.93
CALIPSO	2002	2031	84%	-113cm al 2041	2021	2007	-13.51	-13.49	-0.02
CALPURNIA	2000	2021	100%	-17cm al 2021	2021	2008	-0.44	-0.44	0
CLARA EST	2000					2007	-14.39	-14.17	-0.22
CLARA NW	2016	2042	76%	-104cm al 2050	2021	2016	-23.01	-23.01	0
CLARA NORD	2000	2018	100%	-48cm al 2021	2021	2007	-15.42	-15.42	0
ELETTRA	2014	2027	90%	-27cm al 2041	2021	2014	-13.18	-10.96	-2.22
FAUZIA	2014	2024	85%	-6cm al 2062	2021	2014	-3.21	-2.4	-0.81
GUENDALINA	2011	2022	100%	-7,9cm al 2053	2022	2011	-5.99	-5.55	-0.44
NAIDE	2005	2027	95%	-12cm al 2030	2021	2005	-3.56	-3.47	-0.09
NAOMI - PANDORA	2001	2040	71%	-4cm al 2042	2021	2002	-2.06	-2.17	0.11
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-4cm al 2025	2020	2005	-3.7	-3.52	-0.18
REGINA	1997	2022	100%	-131cm al 2053	2021	2007	-20.67	-19.5	-1.17
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	98%	-5cm al 2023	2019	2007	-3.39	-3.39	0

Figura 13 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate su tutta la serie storica CGPS (agg. dic.2022). Dal confronto con i dati 2021 si nota come nel corso del 2022 tutte le velocità di subsidenza siano stabili o in diminuzione

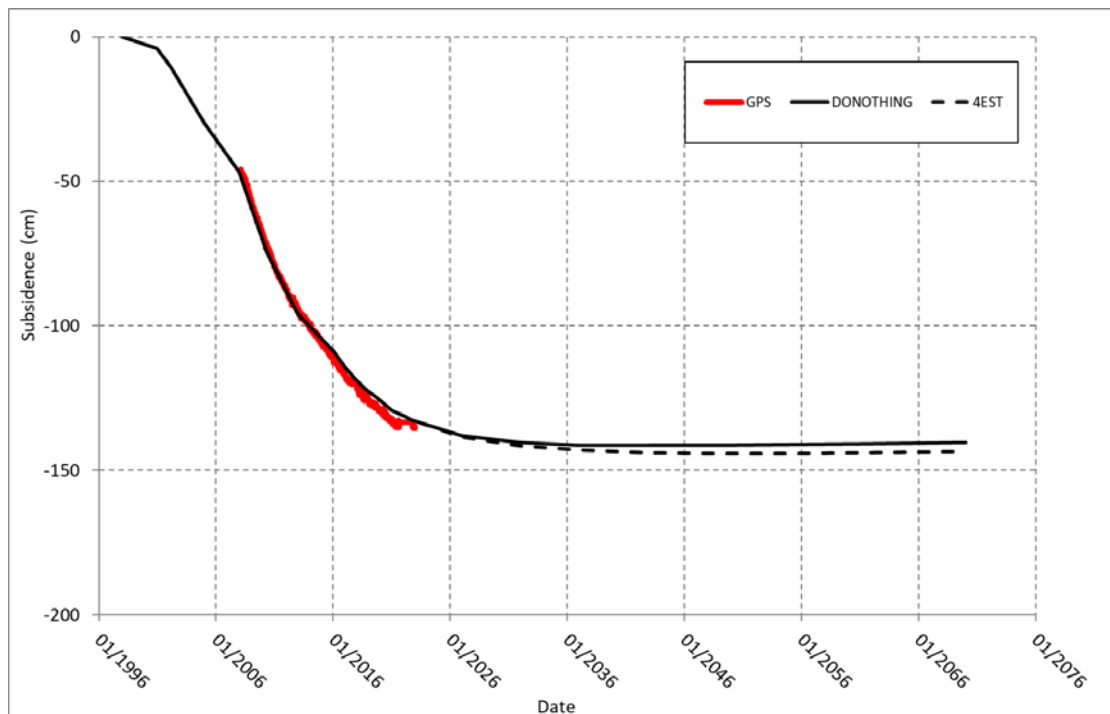


Figura 14 - Campo di Bonaccia: abbassamento misurato e calcolato in corrispondenza del CGPS della piattaforma di Bonaccia

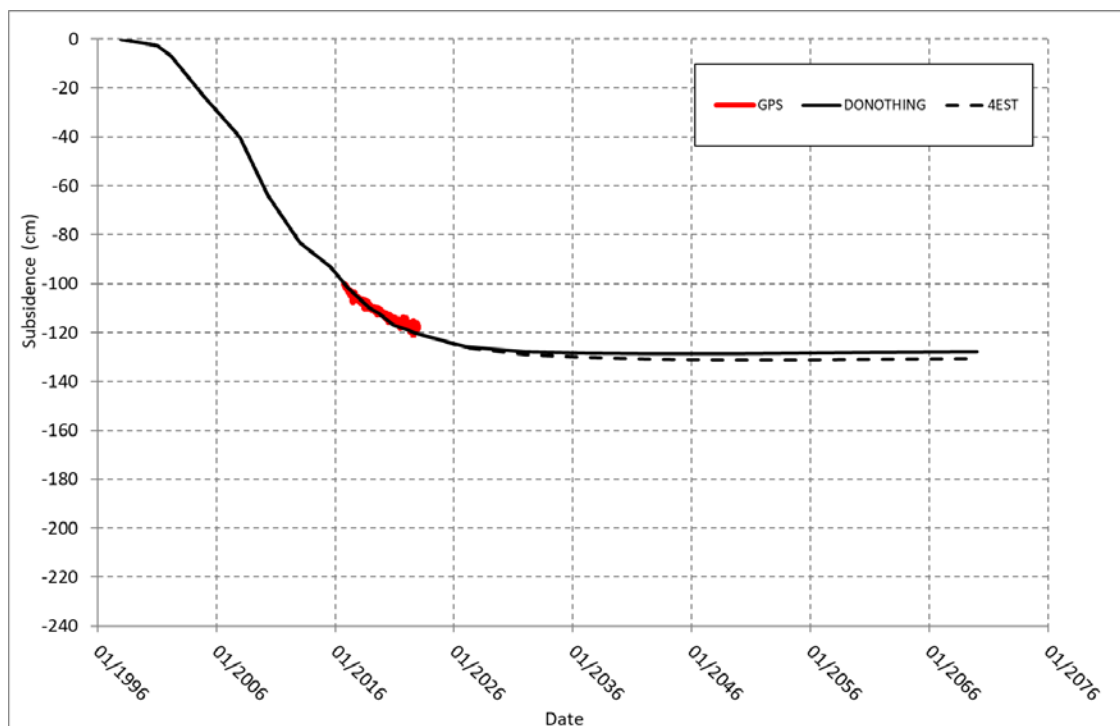


Figura 15 - Campo di Bonaccia: abbassamento misurato e calcolato in corrispondenza del CGPS della piattaforma di Bonaccia NW



Compattazione misurata Bonaccia NW1							
spacing	ref depth	Aug 2015	Jan 2017	Dec 2017	Nov 2018	Sep 2019	Nov 2020
	MD	Jan 2017	Dec 2017	Nov 2018	Sep 2019	Nov 2020	Sep 2022
#	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
45	709.44	-1	-1	3	0	-3	2
44	719.78	-1	-1	1	2	-2	1
43	730.28	0	-1	2	0	-1	0
42	740.78	0	0	1	0	-1	-1
41	751.28	-1	-1	2	0	-1	-2
40	761.79	-3	-3	3	2	-3	-2
39	772.22	3	-3	2	1	-3	-1
38	782.69	0	-2	0	2	-4	-1
37	793.22	-4	-1	-2	5	-4	1
36	803.70	-1	-1	4	-1	1	-3
35	814.25	5	-4	4	-4	2	-3
34	829.94	12	-14	3	-1	1	-3
33	840.48	0	0	2	1	0	-1
32	845.73	0	-2	2	0	0	0
31	850.89	-3	2	3	0	0	-4
30	856.00	-1	0	2	0	-1	-1
29	861.41	-2	-2	3	-3	3	-3
28	866.69	0	0	0	0	-1	-1
27	871.94	-1	0	1	1	-1	-3
26	877.21	-3	-1	4	-1	-3	0
25	882.47	-3	2	2	1	-1	2
24	887.74	-3	1	1	-1	1	-2
23	898.25	0	-2	2	0	-2	1
22	913.97	-3	1	2	-1	0	-1
21	924.40	-2	0	2	2	-1	-1
20	929.61	-5	5	0	-1	-2	2
19	940.14	-3	-5	3	-1	-2	2
18	950.63	-4	-1	4	0	-1	-1
17	955.88	-1	0	-1	2	-1	0
16	961.11	-4	1	4	-3	0	0
15	966.40	1	-2	3	-1	-1	0
14	971.64	-1	0	0	-1	1	0
13	976.88	-2	2	0	2	-2	0
12	982.12	-2	-1	-4	3	-7	1
11	987.37	-10	1	1	0	-1	-3
10	997.91	-8	-8	6	-6	-22	7
9	1008.08	-5	1	0	6	-33	6
8	1018.62	-15	7	9	-1	6	-12
7	1029.06	5	-13	9	-1	-6	-3
6	1039.58	-6	-5	-2	3	-2	1
5	1050.09	-3	-2	2	-2	9	-16
4	1060.58	3	-2	0	7	-4	-14
3	1071.14	-14	-3	2	1	1	0
2	1081.75	-2	-1	1	0	2	-8
1	1092.22	2	-3	5	-6	2	-3
TOTALE		-67	-61	80	1	-78	-59

Figura 19 - Campo di Bonaccia: compattazione da marker (pozzo Bonaccia NW 1dir)

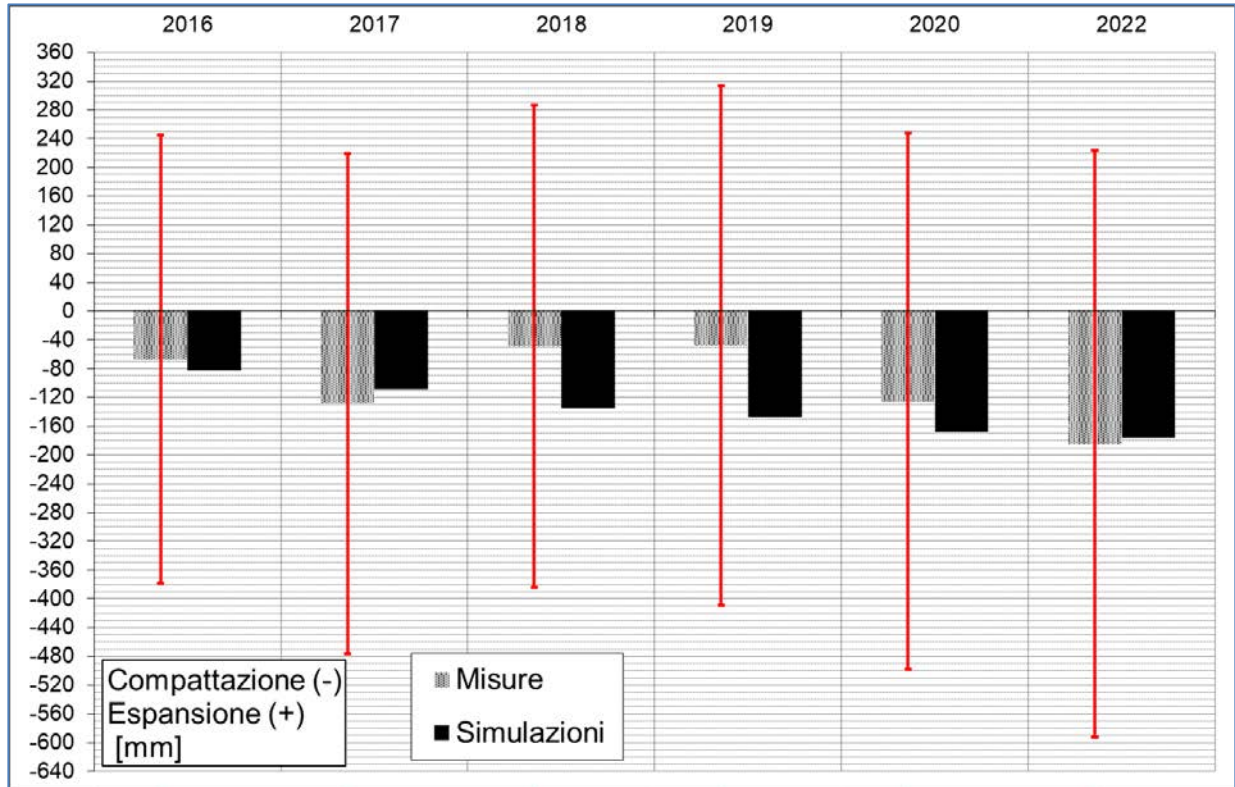


Figura 16 - Campo di Bonaccia: confronto tra le deformazioni verticali misurate e le corrispondenti stime del modello geomeccanico (pozzo Bonaccia NW 1dir). Indicato in rosso l'intervallo di confidenza delle misure pari a 3σ

campo BONACCIA (BONACCIA - BONACCIA EST - BONACCIA NW) - (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO		DECVIA n.582 del 15 giugno 2009 (Bonaccia Est) / DECVIA n.222 del 9 settembre 2014 (Bonaccia NW)	
UBICAZIONE	offshore - 57 km a E Monte Conero	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA	
PROFONDITA' FONDALE	82 m	SIA (BONACCIA-BONACCIA EST) ULTIMO AGGIORNAMENTO (con BONACCIA NW)	
LITOLOGIA	silt-sabbie fini in livelli sottili	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "luglio 07"
FORMAZIONE RESERVOIR	Ravenna - Carola	RISERVE (MSm ³)	6305
ZONA MINERARIA	PL01 - PLO	MOD. GEOMECCANICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ settembre 2007
PROFONDITA' RESERVOIR	750 - 1060 (IVOSS)	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	22 (@ 2015)
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa (Bonaccia)	MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	#
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili		49 Km @ 2073
		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	B.C17.TO	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	18/10/2028	ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017 e a 2020. LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA. IL PROSSIMO RILIEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2024 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO	
N. POZZI (produttori)	8	MARKERS	
Bonaccia	8	MARKERS SU BONACCIA NW 1Dir: ULTIMO SURVEY @ settembre 2022	
Bonaccia Est	0	Survey eseguiti: agosto 2015 (rilievo base), novembre 2016, gennaio 2017, novembre 2018, settembre 2019 e novembre 2020	
Bonaccia NW	0	CGPS	
RISERVE TECNICHE (campo)	6305	Nel corso del 2007 è stato installato un CGPS in piattaforma di Bonaccia. Nel settembre 2015 è stato installato un CGPS sulla nuova piattaforma di Bonaccia NW. Nel tratto di costa antistante il campo è stato installato nel corso del 2009 un CGPS (centrale ENI di P.to S.ELPIDIO)	
A VITA INTERA (MSm ³)	7297	SAR	
START UP PRODUZIONE	feb-99	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC.2022 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATE DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.M.A BONACCIA NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO	
Bonaccia	ott-10	BATMETRIE	
Bonaccia Est	ott-15	ESEGUITO RILIEVO BATMETRICO. DATA RILIEVO NOV.2009-MARZO 2010	
Bonaccia NW			
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2029		
GAS PRODOTTO (campo) (MSm ³)	6977		
Bonaccia	4866		
Bonaccia Est	1354		
Bonaccia NW	757		
% RISERVE PRODOTTE	96%		

Figura 17 - Scheda di sintesi dati campo

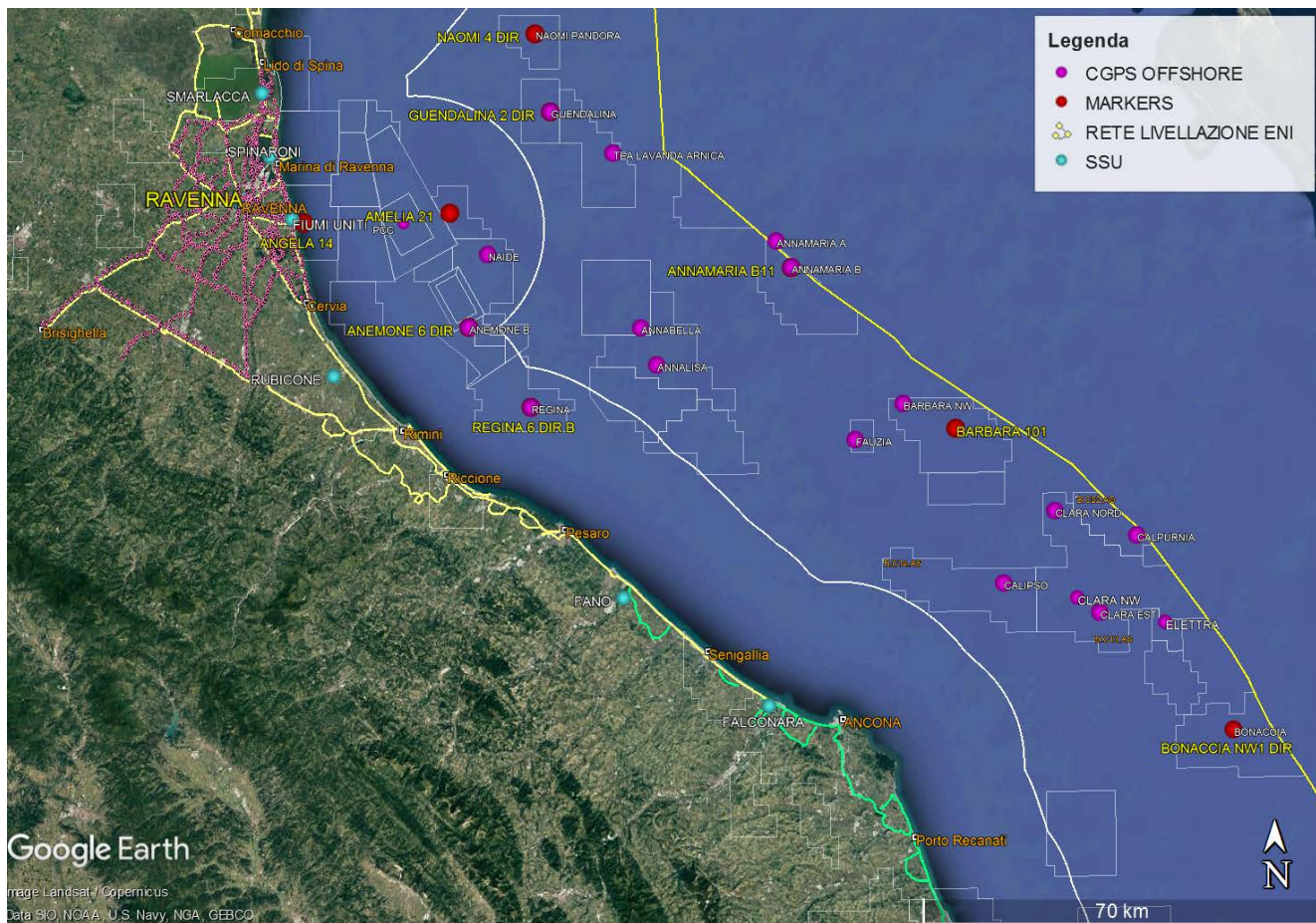


Figura 18 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

13 Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE).

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2012 – 2022 sono state effettuate con la tecnica PSP-DIFSAR.

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 2012 – 2022

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 (2012-2022) presenti nell’area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer), nello stesso intervallo temporale, presenti in un intorno di circa 300 m di raggio centrato nel corrispondente CGPS (Tabella 1), si è scelto di accoppiare 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 Tabella 1 vengono presentate: le velocità verticali dei CGPS, V_{vert_CGPS} , e il corrispondente scarto quadratico medio sqm_CGPS (colonna 3 e 4); la media delle velocità verticali dei permanent scatterers nell’intorno avente come centro il CGPS corrispondente $Media_V_SAR$, e il corrispondente scarto quadratico medio sqm_SAR (colonna 5 e 6); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio (colonne 7 e 8). Tutte le misure sono in millimetri/anno.

Tabella 3 . Taratura dato InSAR con le misure CGPS.

	CGPS	V_{vert_CGPS} [mm/yr]	sqm_CGPS [mm/yr]	$Media_V_SAR$ [mm/yr]	sqm_SAR [mm/yr]	$Diff_VEL$ $CGPS-SAR$ [mm/yr]	sqm_diff [mm/yr]
RAVENNA	SMARLACCA	-4,87	0,02	-2,03	0,26	-2,840	0,28
	SPINARONI	-6,11	0,02	-2,37	0,30	-3,740	0,32
	FIUMI UNITI	-9,88	0,03	-7,59	0,70	-2,290	0,73
FANO-AN- CONA	RUBICONE	-3,08	0,03	-2,55	0,21	-0,530	0,24
	FANO	-0,35	0,02	0,07	0,11	-0,420	0,13
	FALCONARA	-0,65	0,03	-0,12	0,15	-0,530	0,18
	ITALGAS	0,01	0,02	0,32	0,11	-0,310	0,13

Come si può vedere in Tabella 1 , le differenze di velocità tra dati CGPS e le velocità medie dei dati

InSAR rappresentati nella penultima colonna hanno andamenti diversi nell'intera area con differenze che si aggirano intorno a 2.95 mm/anno di media, nell'area di Ravenna, e -0,44 mm/anno nell'area di Fano-Ancona.

Di conseguenza si è scelto di raggruppare i diversi data-set in due macro-aree (Figura 1):

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

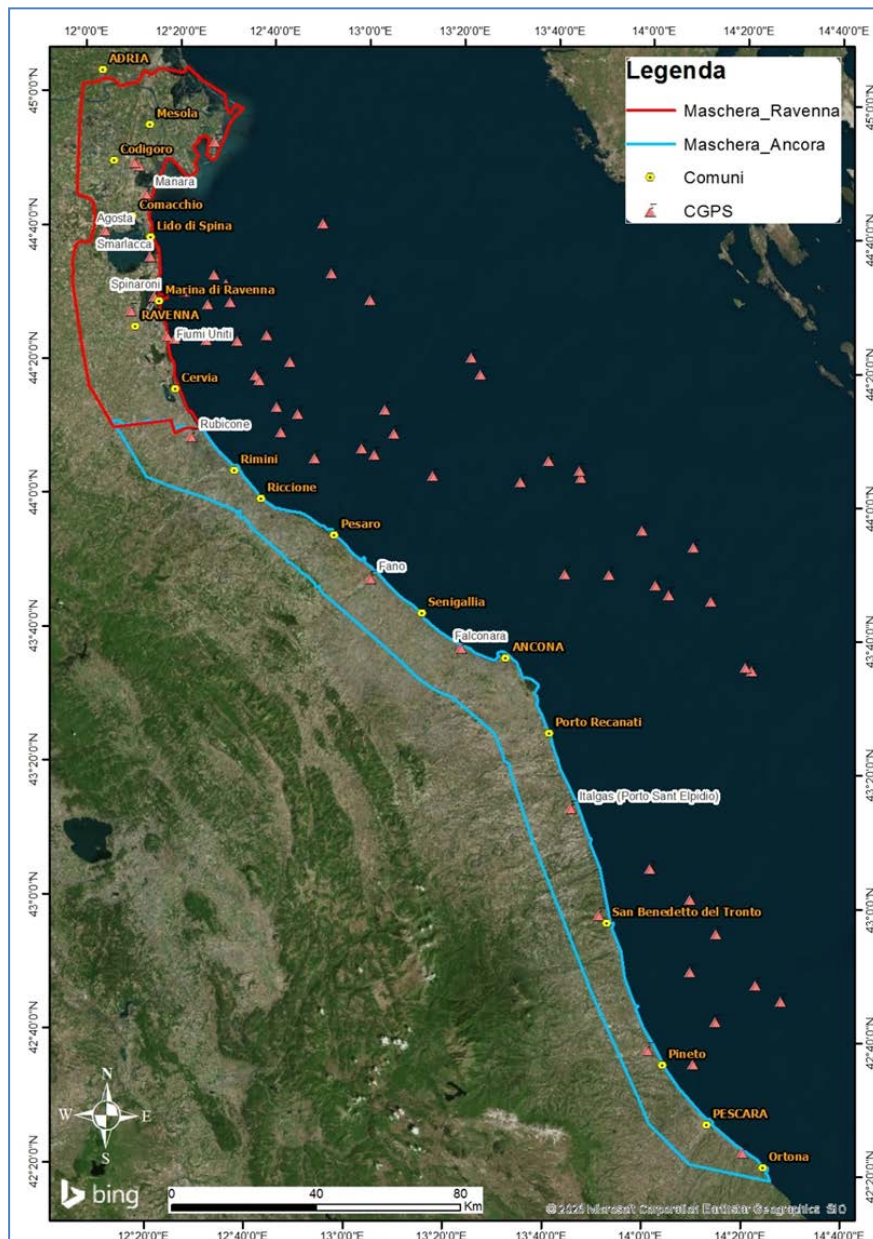



Figura 19. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 38 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 $-2,03 \pm 0,26$ mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di $-4,87 \pm 0,02$ mm/anno, si rileva una differenza di $-2,84 \pm 0,28$ mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di $-2,84 \pm 0,28$ 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 Figura 2 si possono visualizzare i PS (Permanent Scatterer) dei dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

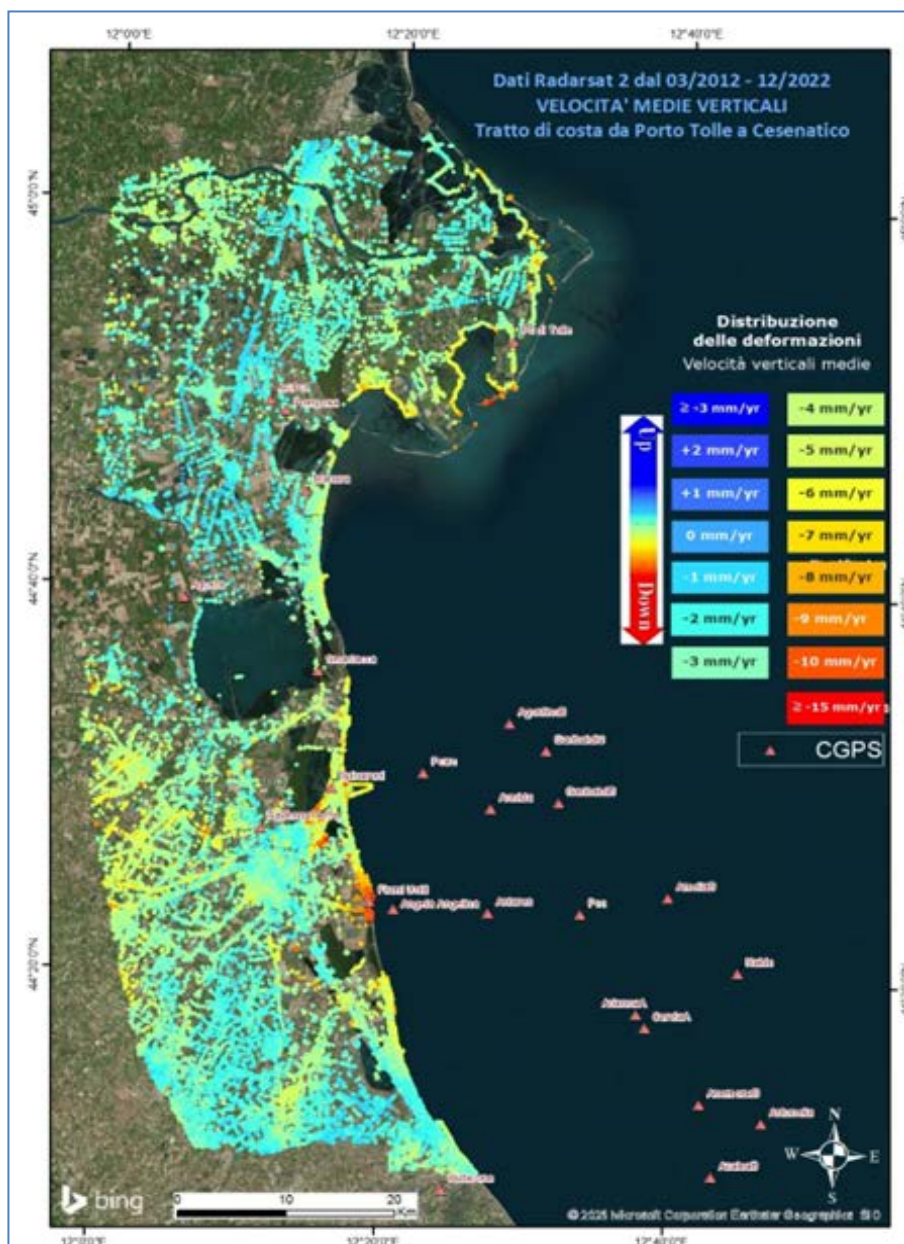


Figura 20. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

Come già effettuato precedentemente, il data set dell'area di Fano-Ancona (vedi Figura 3) 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 ai 2 mm (Tabella 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m di raggio, e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono

all'interno di questo intorno. Considerata la minima differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR ($-0,42 \pm 0,13$ mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tabella 1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,44 mm/anno in media. In Figura 3 si possono visualizzare i PS (Permanent Scatterer) dei dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona.

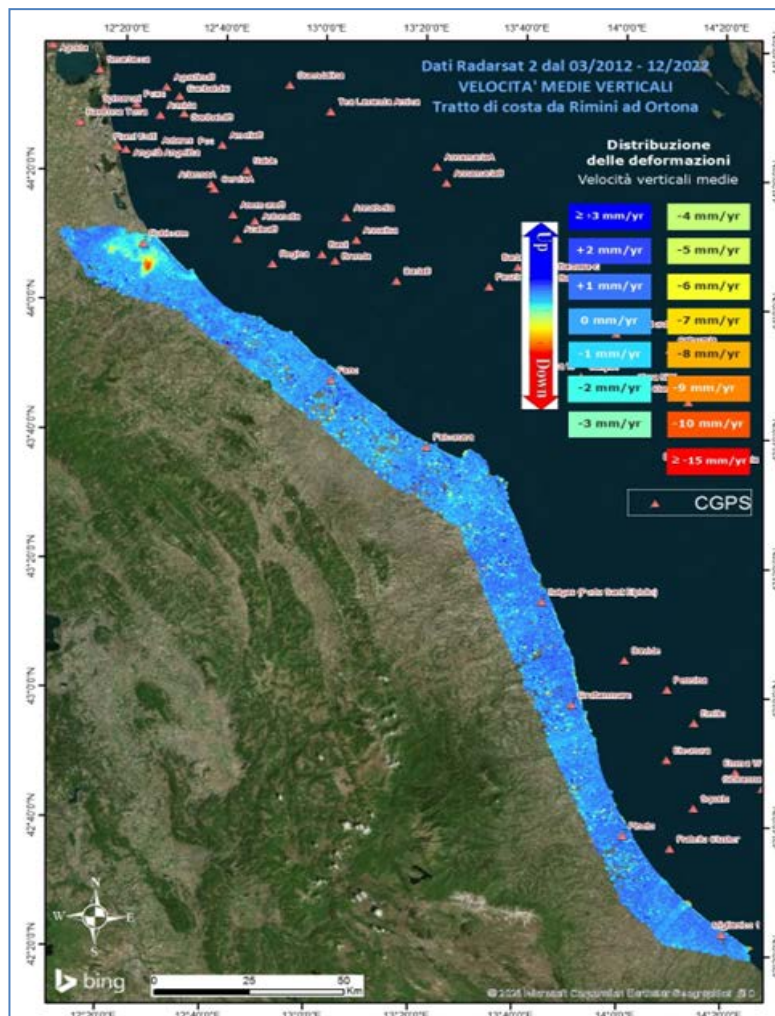



Figura 21. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

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),

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 41 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

allo scopo di misurare movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni vulcanici e sismici (Costantini et al., 2005). I PS corrispondono generalmente ad elementi al suolo, come manufatti (ad esempio, parti di edifici, antenne, tralicci, elementi metallici in genere) oppure corpi naturali (ad esempio, rocce esposte) che si distinguono dagli altri, presenti nell'area esaminata, per il fatto di possedere un'elevata stabilità nel tempo della cosiddetta "firma radar". Questi punti presentano caratteristiche tali da permettere misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio così da poter evidenziare spostamenti relativi dei PS nel tempo anche solo di pochi millimetri. L'interferometria differenziale si basa su un sensore SAR a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e riceve il segnale retrodiffuso. Misurando il ritardo di fase tra il segnale inviato e quello retrodiffuso si può determinare con estrema precisione la distanza tra il sensore ed il bersaglio. Se l'oggetto si trova in un'area soggetta a fenomeni di deformazione superficiale, il sensore, passando in istanti successivi sulla stessa area di interesse, rileva tra un'acquisizione e l'altra, una variazione di distanza. Questo dato, dopo una complessa elaborazione per l'identificazione dei punti di misura e la rimozione dei contributi spuri (ritardi atmosferici, imprecisione nella conoscenza delle orbite, ecc.), rende possibili misure estremamente accurate di eventuali spostamenti superficiali lenti dell'area di interesse. Una delle peculiarità del metodo PSP è quella di sfruttare solo le proprietà del segnale relative a coppie di punti vicini, sia per identificare sia per analizzare i Persistent Scatterers. Infatti, due punti vicini sono affetti allo stesso modo da artefatti atmosferici ed orbitali, ed in generale da tutti i contributi correlati spazialmente (anche i movimenti non lineari nel tempo). Il metodo PSP presenta le seguenti differenze rispetto alle tecniche PSI standard:

- non richiede calibrazione dei dati o interpolazioni basate su modelli (in particolare per la rimozione degli artefatti atmosferici ed orbitali);
- è meno sensibile alla densità dei PS;
- permette una migliore identificazione di PS in terreni naturali e di PS caratterizzati da 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.

14 Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - giacimenti di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW.

Il monitoraggio della compattazione superficiale lungo la fascia costiera adriatica, compresa tra Cervia e Ancona, è effettuato tramite tre 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.

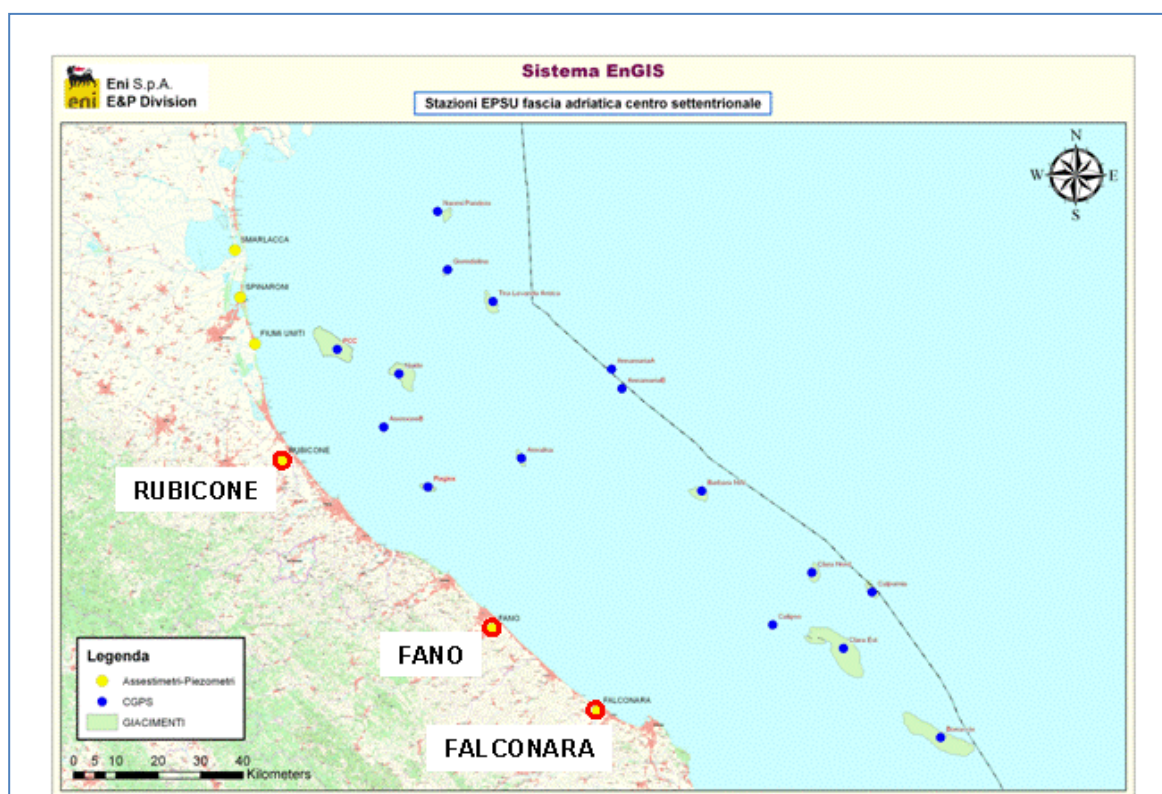


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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.

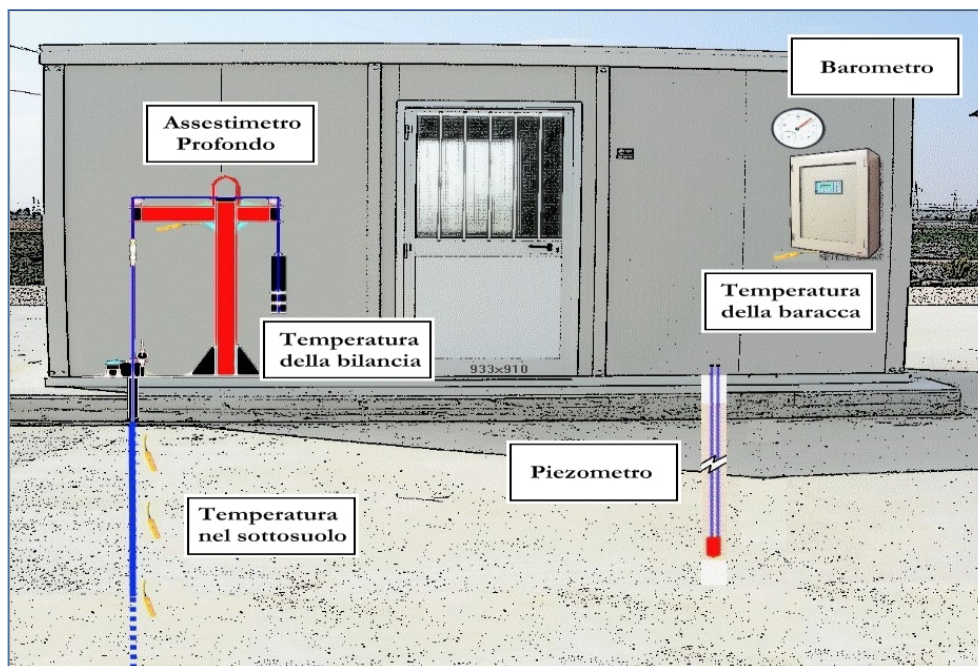


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU


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	21 m	Lug. 2008

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 44 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 6 ms.l.m., a circa 3.5 Km 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 nelle Figure 3B e 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 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione. Nel 2011 c'è da segnalare un blackout di dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre.

A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) - il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi fosse comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri: le letture manuali, effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili presentando per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 45 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------


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 178 m.

Verso la fine del 2021 nelle giornate 01 e 02 dicembre è stata effettuata un'attività di lavaggio e spurgo dei 3 piezometri del sito, con anche un controllo generale della strumentazione. Dopo il lavaggio, di ogni singolo piezometro, sono state eseguite le prove di dissipazione dell'acqua immessa (carico idraulico) nei piezometri, durante l'attività di spurgo e lavaggio. Con queste prove si è potuto verificare il corretto funzionamento delle celle filtranti, attraverso una serie di misure manuali (con freatimetro, durante la fase di deflusso dell'acqua), rilevando il tempo necessario al ristabilirsi del livello di falda, che era stato misurato prima e poi dopo l'attività di pulizia dei piezometri.

La misura è stata effettuata in entrambi i tubi delle celle "Casagrande".

Tutti e 3 i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dati. Durante l'esecuzione del lavaggio sui due piezometri installati nello stesso foro (-70 m e -146 m), sono state eseguite misure con freatimetro all'interno di un tubo del piezometro profondo (-146 m) durante il lavaggio del superficiale e viceversa durante il lavaggio del piezometro profondo, senza mai notare nessuna interferenza o variazione dei livelli di falda, potendo così escludere comunicazione idraulica tra le due verticali piezometriche. Da segnalare che al termine delle operazioni di spurgo/lavaggio il piezometro a -70 m ha evidenziato un livello dell'acqua a bocca tubo "quasi statico", con dissipazione praticamente assente nelle ore immediatamente successive al lavaggio, gli altri 2 piezometri hanno ristabilito quasi immediatamente il loro livello piezometrico di "pre-lavaggio".

Il piezometro a -70 m, anche in attività di pulizia effettuate negli anni passati, ha sempre presentato il medesimo comportamento ossia un maggiore ritardo nel ristabilire il livello piezometrico originario; probabilmente il livello freatico -70 m ha un livello di permeabilità molto più basso degli altri due acquiferi monitorati. Nel corso degli anni 2020 e 2021, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione. Nel 2022 si sono eseguiti i normali controlli periodici semestrali, durante i quali si sono fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, luglio e novembre. Per tutto il 2022 la strumentazione assestometrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l'individuazione di una tendenza nel dato stesso.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 46 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 settembre-ottobre ad aprile-maggio dell'anno successivo (massima espansione), una ripresa delle misure da aprile fino a settembre-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 spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 47 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 accanto alla componente naturale sembra essere l'unica responsabile della compattazione totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestometro.

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1). Nel mese di ottobre 2012 sono stati 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 è stata fatta una manutenzione straordinaria con spurgo e lavaggio dei tre piezometri con controllo di tutti i trasduttori di pressione.

A dicembre 2021 è stata effettuata una nuova attività di spurgo e pulizia dei piezometri.

Tutti e tre i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dei dati. Nell'occasione sono stati ritirati tutti i trasduttori di pressione, la cui affidabilità è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatometro.

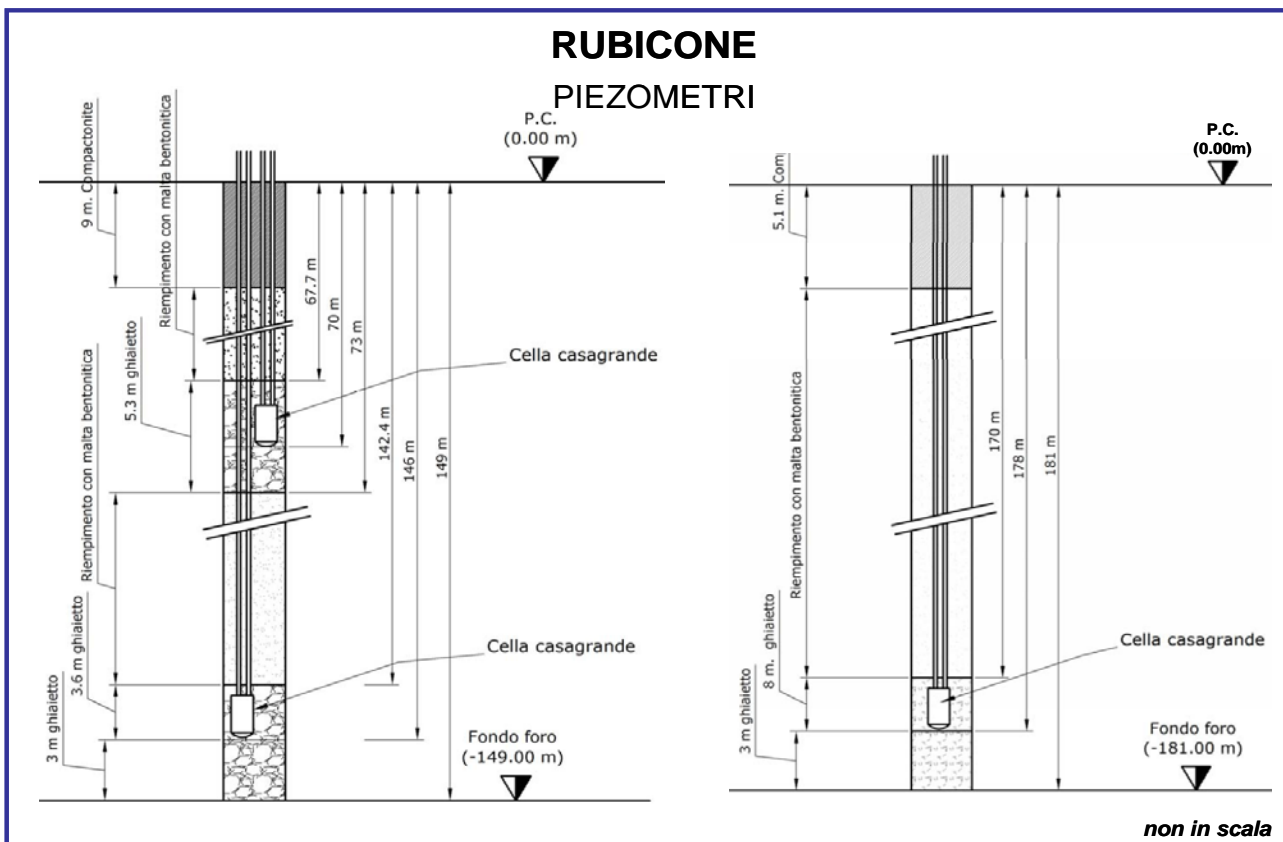


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

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.

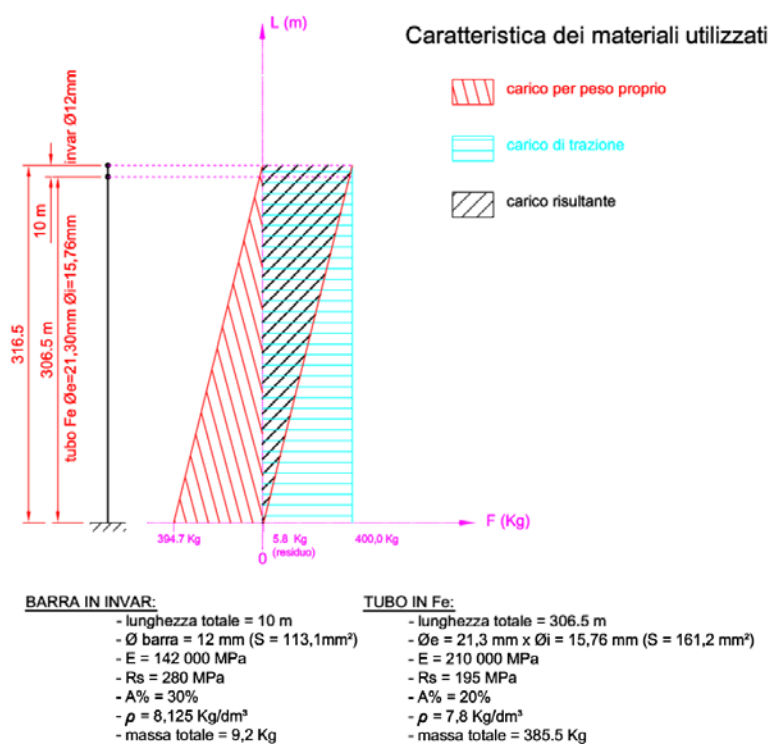


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

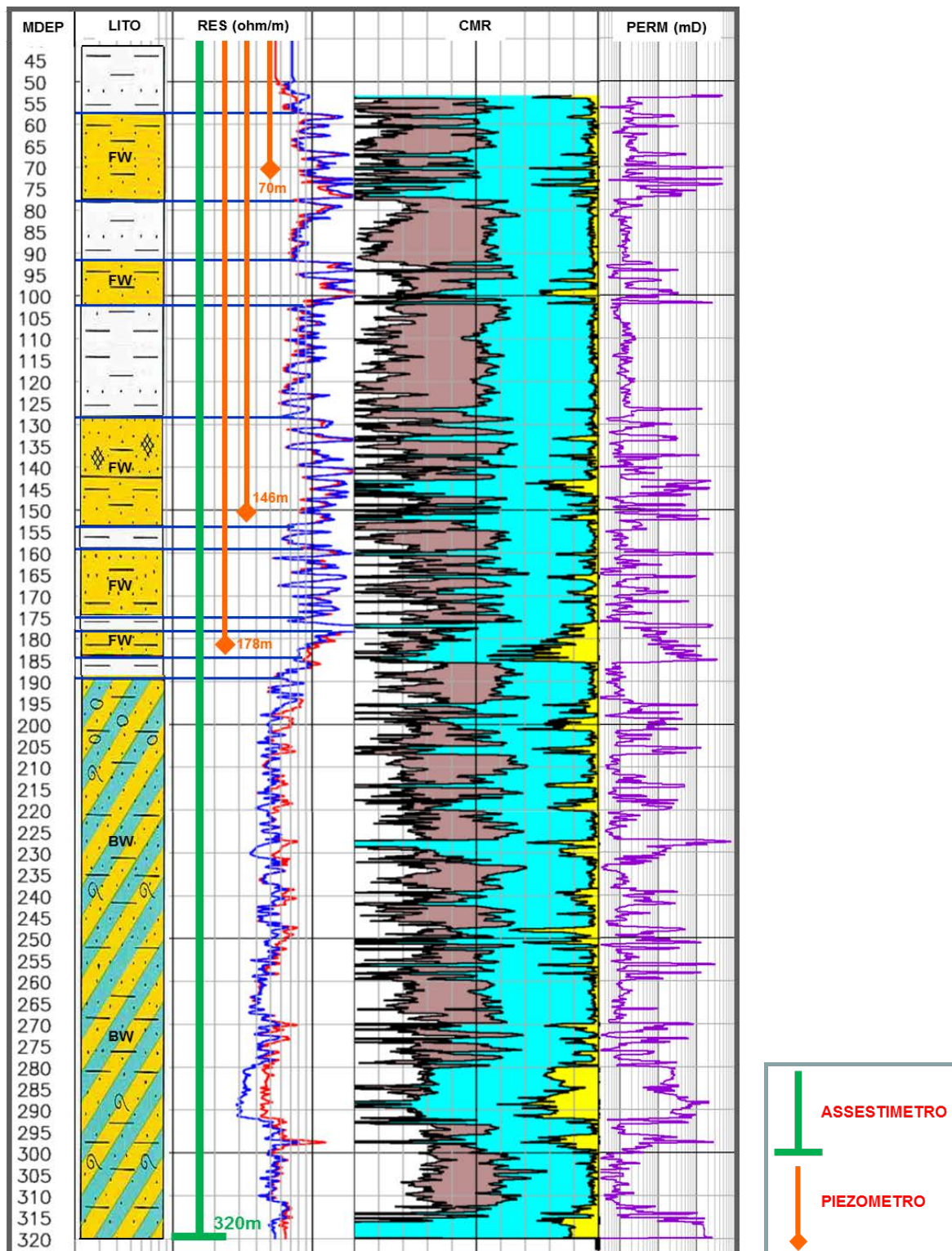


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)

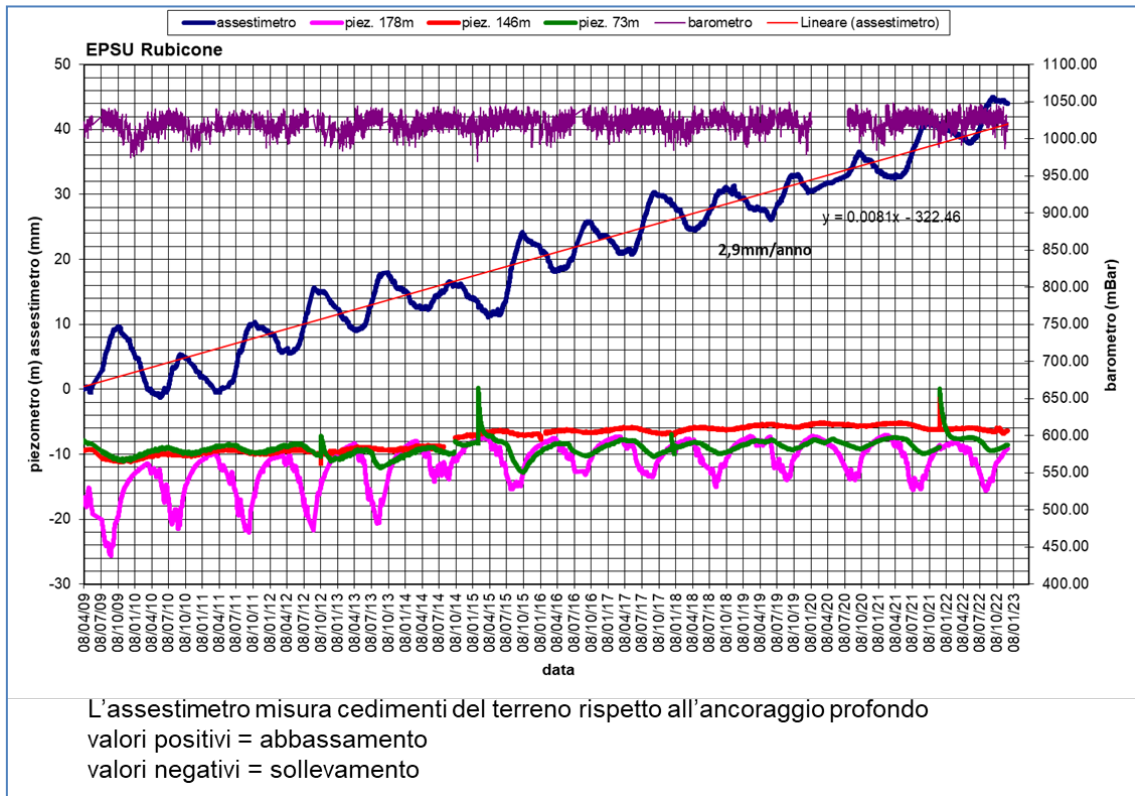


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche

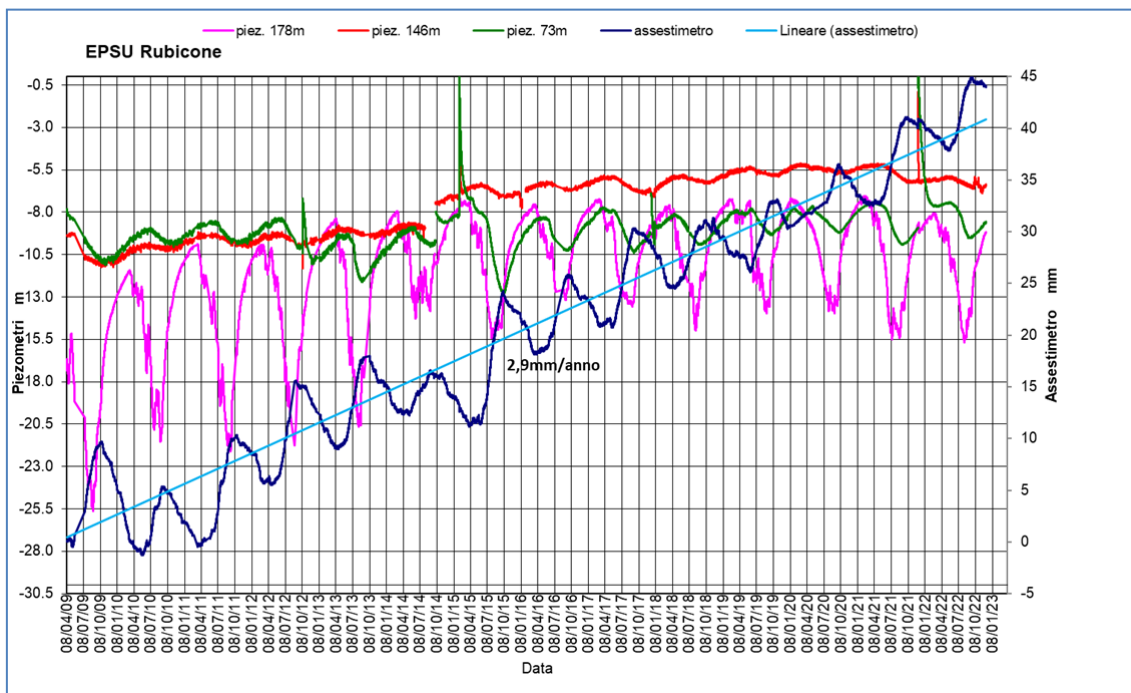


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestimetriche.

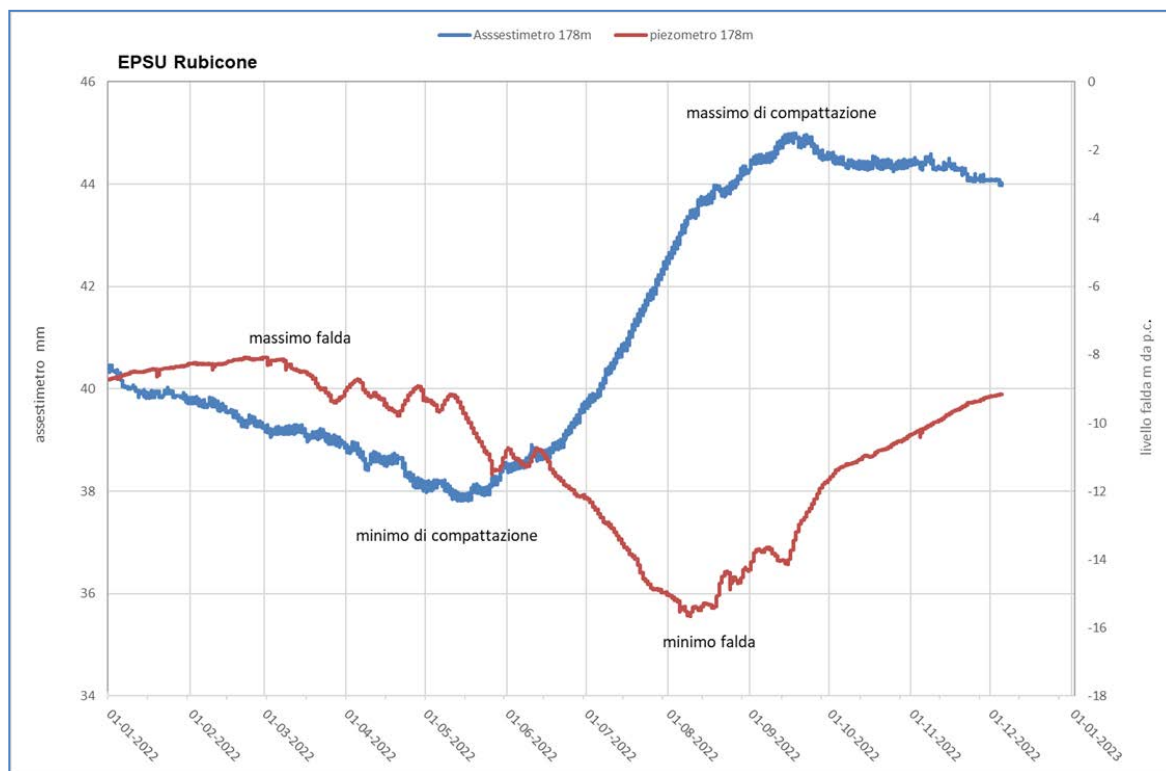



Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetrie, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 53 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 13.5 ms.l.m., a circa 4.5 km a SSE della città di Fano (PU), lungo la sponda sud (destra) del fiume Metauro, a circa 2.5 km dal mare Adriatico ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Fano".

Strumentazione:

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

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 9B, mentre la Figura 10B 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;
- dal 19 maggio 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

Nel corso degli anni 2020 e 2021, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione.

Il 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½ .

Durante il 2022 si è potuti ritornare ad eseguire i normali controlli periodici, ogni quattro mesi circa, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, luglio e novembre.

Nel periodo monitorato (10/2008 - 12/2022) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati; per tutto il 2022 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie storiche registrate.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 54 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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.).


Nel grafico allegato (Figura 11B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. In particolare, la quota piezometrica, ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, è riportata in metri. Il valore della pressione atmosferica, con cui sono state corrette le piezometrie, è indicato in mbar. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero").

Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi 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 sono dell'ordine di ± 1 mm, con una punta massima di compattazione di circa 1.5 mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimetrica, inoltre, si correla bene con l'andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro posto a circa 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo delle 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 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 2022 (Figura 12B), per quasi tutto l'anno (sino ad i primi del mese di novembre) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.99) a inizio anno è stata parzialmente recuperata da una successiva espansione estiva (fine giugno/inizio luglio), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (1.08mm di compattazione) nel periodo autunnale (inizio di novembre). In corrispondenza di quest'ultimo periodo, esattamente il 09/11/22, però l'assestimetro fa registrare un salto di compattazione anomalo, circa 0.8mm non recuperati, che, per l'andamento che ha sempre caratterizzato questo strumento, è degno di nota. Il salto di compattazione si è verificato in corrispondenza dell'evento sismico che ha avuto luogo al largo di Fano, nell'offshore

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 55 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

adriatico, a circa trenta chilometri dalla costa il 09/11/22 alle ore 06 circa (Figura 13B). Dopo tale evento lo strumento sembra essere rimasto stabile sugli ultimi valori di compattazione registrati (1.9mm). Comportamenti simili, della strumentazione assestimetrica in occasioni di sismi, erano già stati verificati in passato in altre postazioni per la misura della compattazione superficiale (assestimetro di Fiumi Uniti in occasione dei sismi del 2014 e 2016). Tale variazione anomala di compattazione, comunque, non fa cambiare l'andamento generale delle misure assestimetriche, acquisite nei circa 14 anni di osservazioni (14.21) da questa stazione, che mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione/espansione complessiva (-0.0018mm/anno) nulla (Fig.11B) a parte le variazioni cicliche stagionali. Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestimetrica mostra una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 11B e Figura 12B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 10B) quando varia la pressione. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico.

Analisi dei dati piezometrici

Nel grafico di Figura 11B sono riportati i valori (in m) misurati dal piezometro Casagrande a doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½. L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 7 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento. In data 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio del piezometro e sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione. Al termine dell'attività di manutenzione il piezometro è risultato integro e perfettamente funzionante. Come già detto, l'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata in novembre 2022.

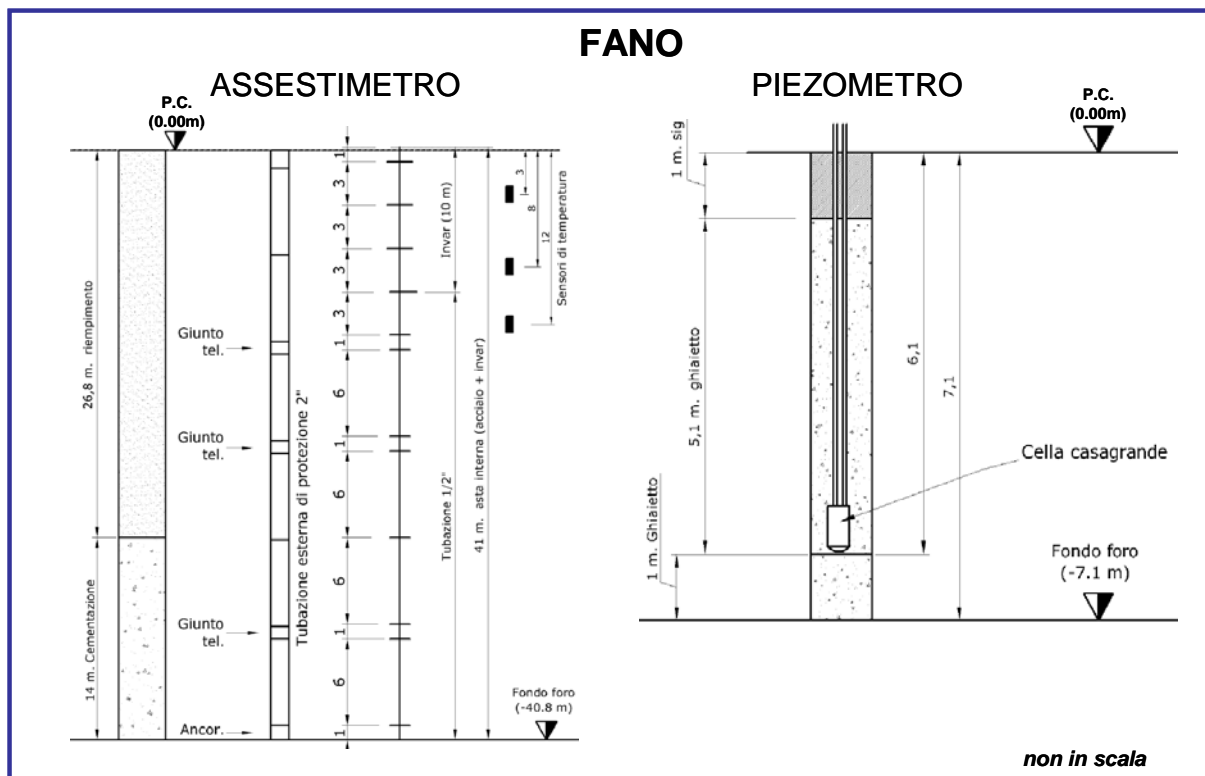


Figura 9B - Stazione EPSU di Fano

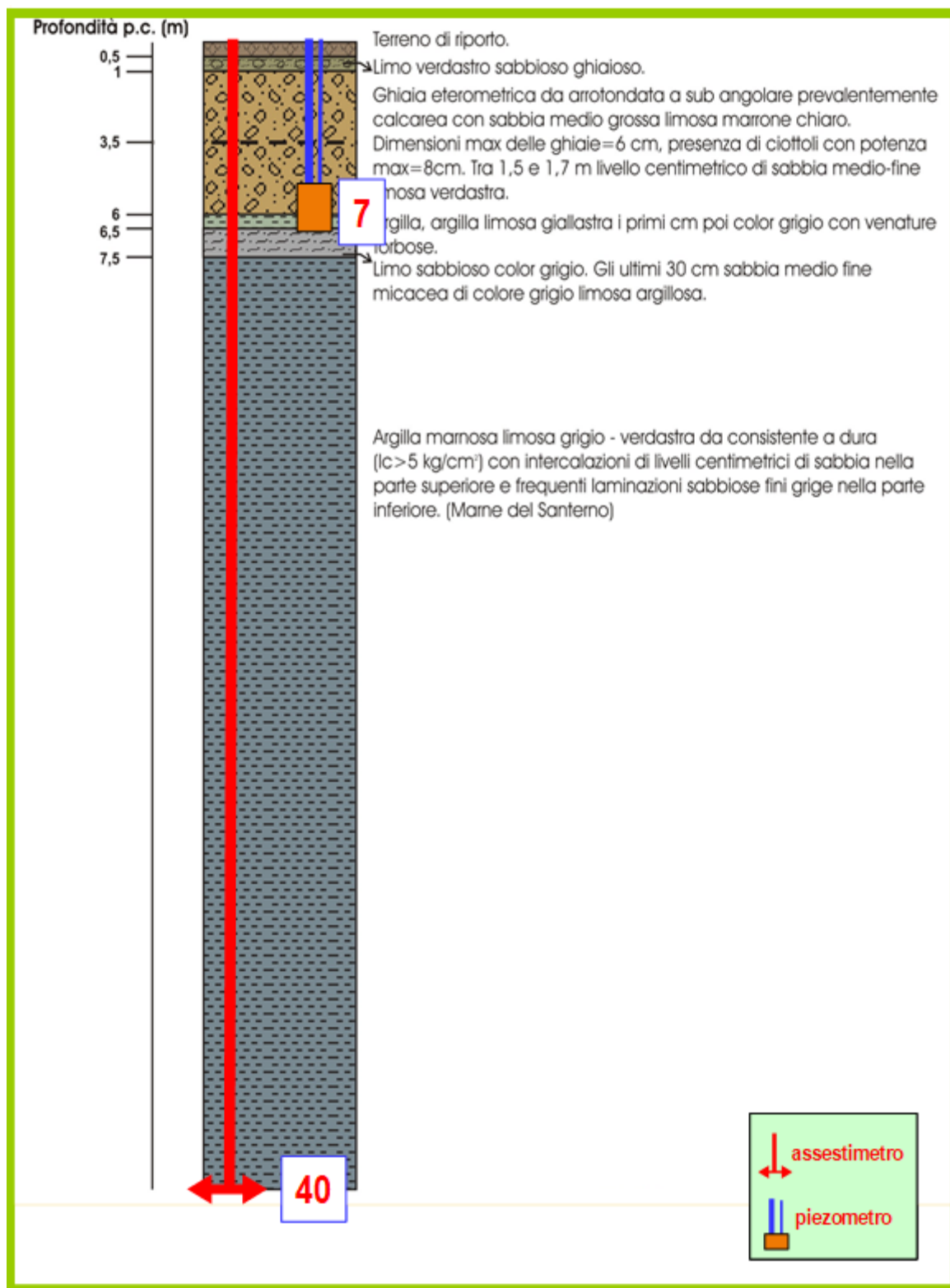


Figura 10B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

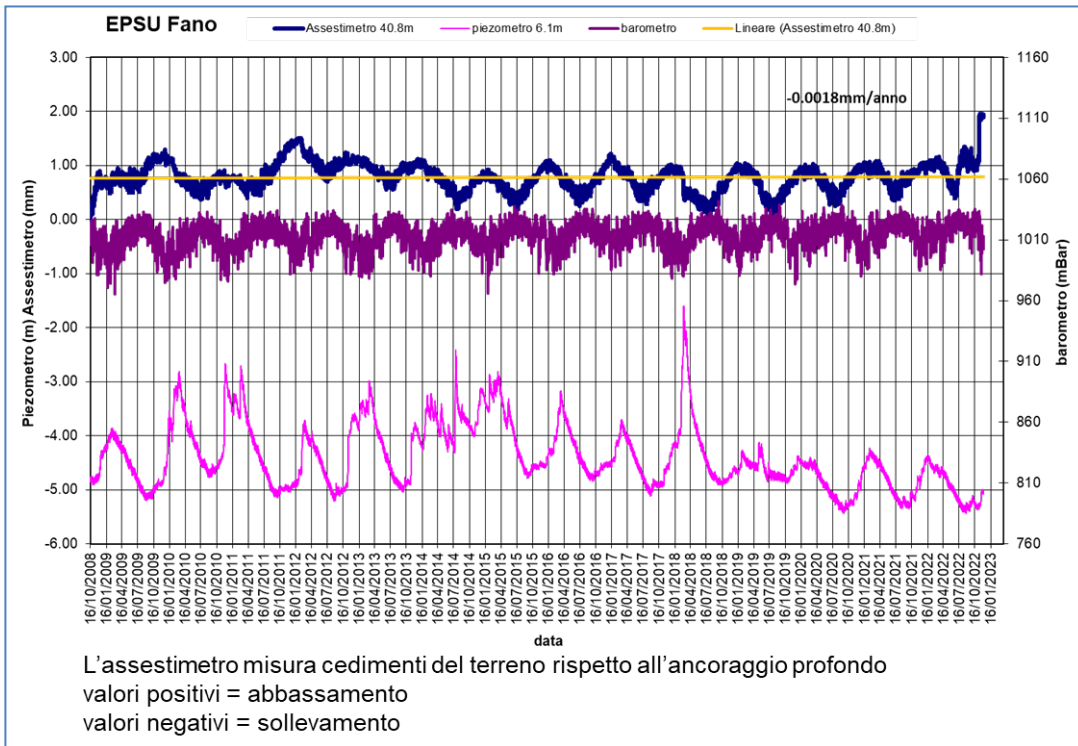


Figura 11B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

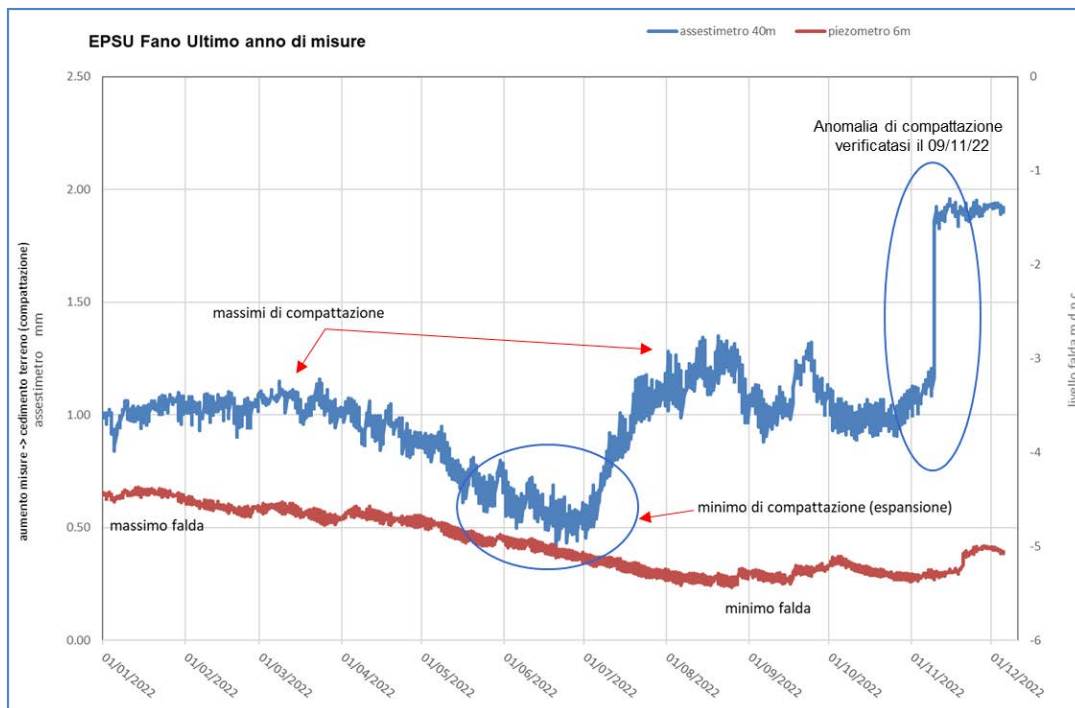


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

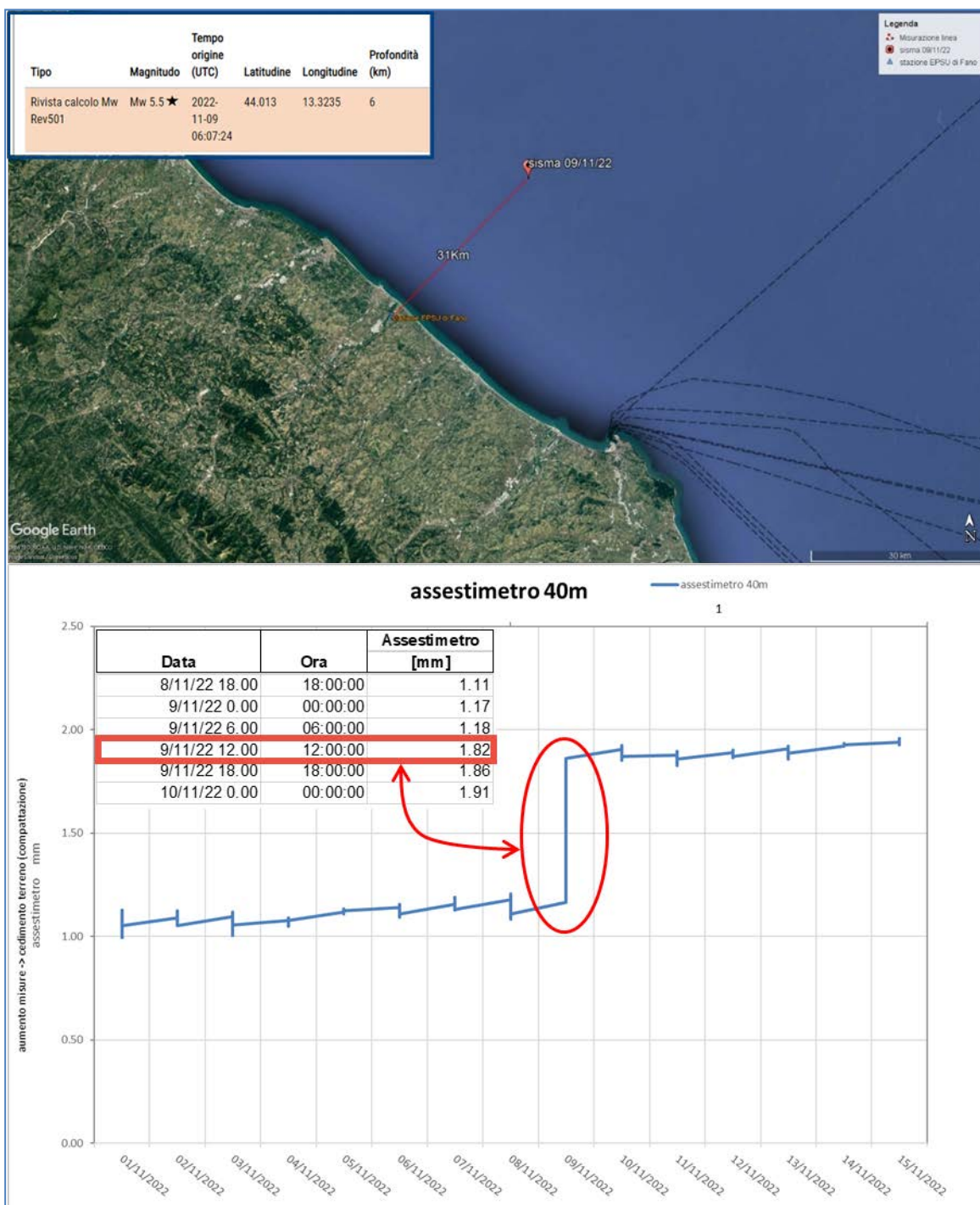



Figura 13B – In alto, ubicazione dell'evento sismico nell'offshore di Fano del 09/11/22 (coordinate ed ora evento da INGV); in basso relativo comportamento della strumentazione assestimetrica.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 60 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 3.5 ms.l.m., a circa 750 m 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 14B, mentre la Figura 15B 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" 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 ad oggi: 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 corso degli anni 2020 e 2021, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione.

Il 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½ .

Durante il 2022 si è potuti ritornare ad eseguire i normali controlli periodici, ogni quattro mesi circa, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, luglio e novembre. Nel 2022 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 61 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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.).

Nel grafico allegato (Figura 16B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. In particolare, la quota piezometrica, ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, è riportata in metri. Il valore della pressione atmosferica, con cui sono state corrette le piezometrie, è indicato in mbar. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio stagionale molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua, a 22 m di profondità, registrate dal piezometro. Ciò è particolarmente evidente nel grafico relativo all'ultimo anno di misure (Figura 17B), in cui le due curve mostrano un, quasi perfetto, andamento speculare.

L'assestimetro, che reagisce quasi immediatamente all'escursione massima e minima annuale della 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 circa 0.1 mm/a (leggera compattazione dello spessore di terreno monitorato).

Analisi dei dati piezometrici

Il grafico di Figura 16B oltre ai dati assestimetrici riporta in ordinate sia la quota piezometrica (m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, sia il valore della pressione barometrica, utilizzato anche per correggere le piezometrie.

In data 30 novembre 2021, come già detto, è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½.

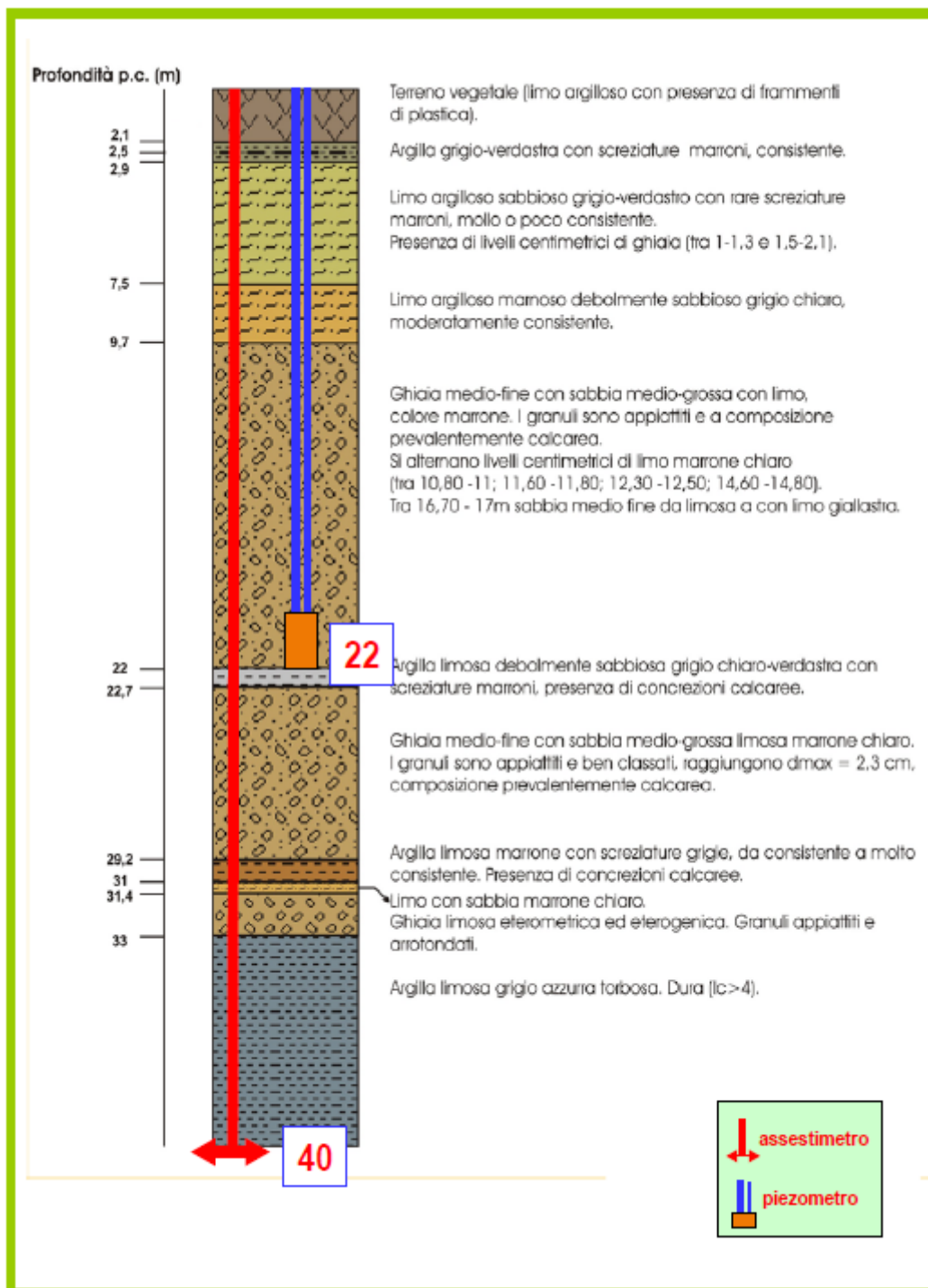


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

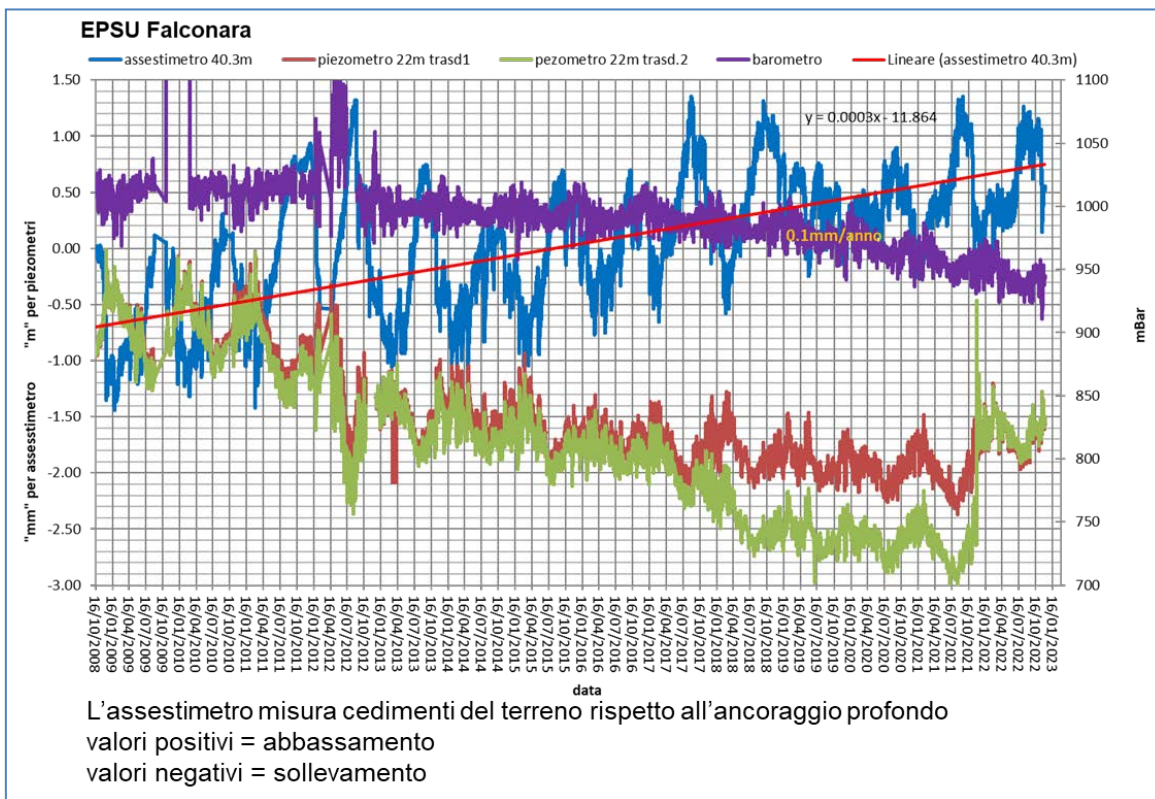


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche-assestimeriche e barometriche.

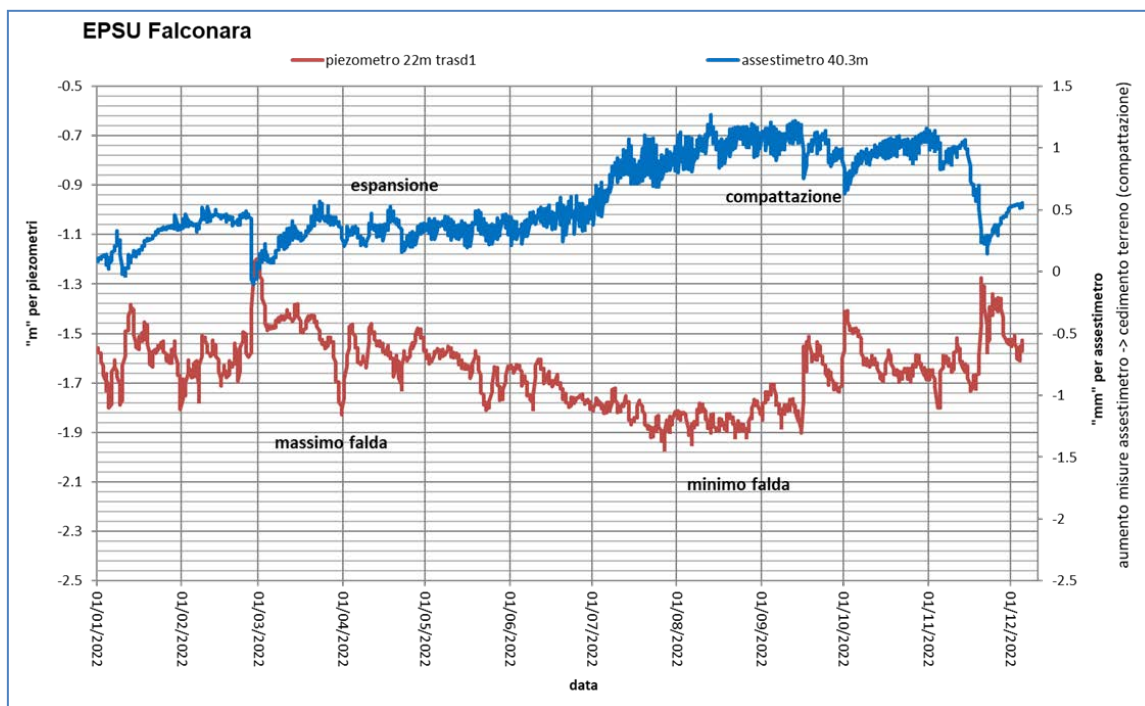



Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimeriche, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_BONE-W	Page - 65 - of 66
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Conclusioni

Dall'insieme dei dati sino ad ora raccolti nelle tre 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 la falda acquifera superficiale che è più sensibile 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 2022, dopo 13.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 44.02 mm, che equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 3.2 mm/anno. Tale valore resta circa uguale, 2.9 mm/anno, se si calcola il valore della velocità media di compattazione con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia maggiormente argillosa 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 più scarsamente comprimibile; lo strumento, infatti, nei circa 14 e più anni (14.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1.08mm sino agli inizi di novembre), poi il salto di compattazione di circa 1mm scarso, successivo al sisma del 09/11/22 come già precedentemente evidenziato. Dopo tale data, sino a fine anno, la compattazione sembra essere costante intorno all'ultimo valore registrato dopo il 09/11. Allo 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 compactazione complessiva del terreno al 31/12/2022 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2022 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 emersa una tendenza ben definita di compactazione 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)
Rubicone	13.73	44	3.2	n.i.	-
Fano	14.21	n.i.	-	1.92	n.v.
Falconara	14.21	n.i.	-	0.52	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile