

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 1 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

Campo di BONACCIA-BONACCIA EST e NW

Aggiornamento al 31/12/2020

Il campo di Bonaccia è ubicato nell'offshore adriatico in prossimità della linea mediana a 60 km dalla costa, 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 (Figura 1).

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

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 p.ma Bonaccia; la parte orientale che è stata confermata da pozzi Bonaccia Est 1, Est 2dir ed Est 3dir e la parte occidentale (Bonaccia NW), oggetto dello sviluppo del campo del 2015.

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 2 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

Il campo di Bonaccia è stato sviluppato da Eni tra il dicembre del 1997 e aprile del 1998 con la perforazione da 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; attualmente solo 8 stringhe sono in erogazione. 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 subsidenza, la distanza della linea d’iso-subsidenza dei 2 cm dalla costa è risultata pari a circa 49 Km.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 3 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

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. Il profilo di produzione ottenuto prevedeva il recupero di 3355 MSm³ di riserve residue in 23 anni. Poiché la produzione cumulativa al 31/12/06 era di 2950 MSm³, le riserve totali del campo ammontavano a tale data a 6305 MSm³, di cui 1845 MSm³ di riserve residue producibili dai livelli di Bonaccia e 1510 MSm³ dalla culminazione Bonaccia Est.

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 (*rel. GIAC/CS 31-2011 del novembre 2011 Campo di Bonaccia Progetto di sviluppo – Realizzazione dei pozzi - Relazione tecnica di giacimento*);
- di massimizzare i recuperi di gas sia dall'area "principale" che da quella "Est".

La revisione geologico-strutturale del giacimento è stata fatta utilizzando la reinterpretazione sismica dell'area NW del 2010.

Il volume di GOIP stimato dal nuovo studio di giacimento è stato pari a 13280 MSm³ (11655 MSm³ nello studio del luglio 2007); tale cifra include anche il volume di gas in posto nella culminazione NW. 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. Il fattore di recupero finale del campo, con riferimento al GOIP 2011, è stato valutato, pertanto, pari al 68%. Tali riserve si sono, quindi, incrementate del 44% rispetto a quelle dello studio del luglio 2007 (6305 MSm³ producibili al 2029) a fronte di un incremento del GOIP pari al 14%.

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 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). Allo scopo, il modello geo-strutturale del campo e la caratterizzazione petrofisica dei *layers* di tale studio sono stati considerati ancora validi, in quanto non sono stati in seguito acquisiti nuovi dati geologici.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 4 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

Il GOIP statico non è stato modificato rispetto allo studio 2011, mentre il GOIP dinamico *post-history match* è risultato incrementato a 13761 MSm³ (studio 2011 pari a 13280 MSm³).

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 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. 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. Il nuovo 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 9140 MSm³ al 2035 con il modello *Eclipse* 2014. I due nuovi scenari di sviluppo sono ora i seguenti:

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 5 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

- **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 gennaio 2027 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.

In Figura 3 sono riportati gli andamenti storici della portata di gas (kSm³/g), d'acqua (m³/g) e della produzione cumulativa di gas pari a 6775 MSm³ al 31/12/20.

Nella Figura 4, Figura 5 e Figura 6 sono riportate le produzioni reali e da modello per caso DN. La Figura 7 mostra, inoltre, il buon accordo tra le pressioni calcolate da modello *Eclipse* del dicembre 2018 e le pressioni misurate in due livelli rappresentativi del campo (livello PLQ-B e PLQ2-Ca2).

A seguito dell'aggiornamento del modello di giacimento del 2018 si è aggiornato anche il relativo modello geomeccanico.

In particolare, con l'aggiornamento del 2018 (*rel. IPET-F5ED7B11-0 del 12/2018 - Campo di Bonaccia – Modello Geomeccanico di Subsidenza – Management Summary - 12/2018*), 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 e DN+2DW), le simulazioni sono state protratte 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 DN+2DW la subsidenza massima a fine simulazione (2073) raggiunge i 233 cm in corrispondenza della p.ma Bonaccia NW.

La distanza minima del bordo del cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) dalla costa è risultata di circa 49 km (Figura 8).

In Figura 9 è mostrata l'evoluzione temporale della subsidenza 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)
23-nov-18	\	160	13	53
01-gen-27	DN	191	13	52
01-gen-40		195	14	51
01-gen-73		198	15	50
01-gen-27	DN+2DW	219	13	52
01-gen-40		230	14	51
01-gen-73		233	15	49

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

L'analisi di tali risultati consente di concludere che:

- in entrambi gli scenari di sviluppo, la massima subsidenza è prevista alla data di fine simulazione e risulta localizzata in corrispondenza della p.ma Bonaccia NW, per la quale il modello geomeccanico prevede un valore pari a 198 cm nello scenario **DN** e 233 cm nello scenario **DN + 2DW**.
- L'influenza degli scenari di sviluppo sull'estensione areale del fenomeno è trascurabile. A fine simulazione, infatti, in entrambi i casi si ha la massima estensione del fenomeno e minima distanza dalla costa, superiore a 49 km.

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 (circa 49 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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 7 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

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.

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 (circa 49 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. 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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 8 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

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 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*, buchi 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.

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia-Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell'Ambiente), è rilevata con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle "*Linee Guida per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell'Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas*" emesse dal Dip. DMMMSA dell'Università di Padova nel 2007.

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

Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della documentazione e della metodologia utilizzata a un ente esterno, che attualmente è l'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.

La rete di livellazione rilevata nel 2020 (ultimo rilievo eseguito), integrata nel 2017 con l'aggiunta dell'area del campo di Agosta, è suddivisa nelle seguenti aree di attività:

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 9 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	------------------

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

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

Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisori e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati. I parametri matematici della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura, sia per i valori legati alla propagazione dell'errore. Si ritiene opportuno sottolineare, inoltre, che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione.

Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra Pineto e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara. Nel tratto di costa da Pesaro a P.to San Giorgio, antistante alle piattaforme di Bonaccia e 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.

Il grafico che segue (figura A), riporta per confronto le serie storiche 2006-2014 e 2006-2020 elaborate nel tratto da Pesaro a P.to Sant'Elpidio 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 P.to Sant'Elpidio.

Nei prossimi anni, con nuove campagne di misura (il prossimo rilievo è previsto nel 2023) e con il consolidamento dei dati CGPS e dei rilievi SAR, sarà possibile fare interpretazioni più puntuali dei dati di livellazione anche per il tratto a sud di Pesaro.

Si deve notare, inoltre, che i dati di livellazione, misurati sul singolo caposaldo, non sono di solito sufficienti per caratterizzare la distribuzione areale della subsidenza. Tali misure, infatti,

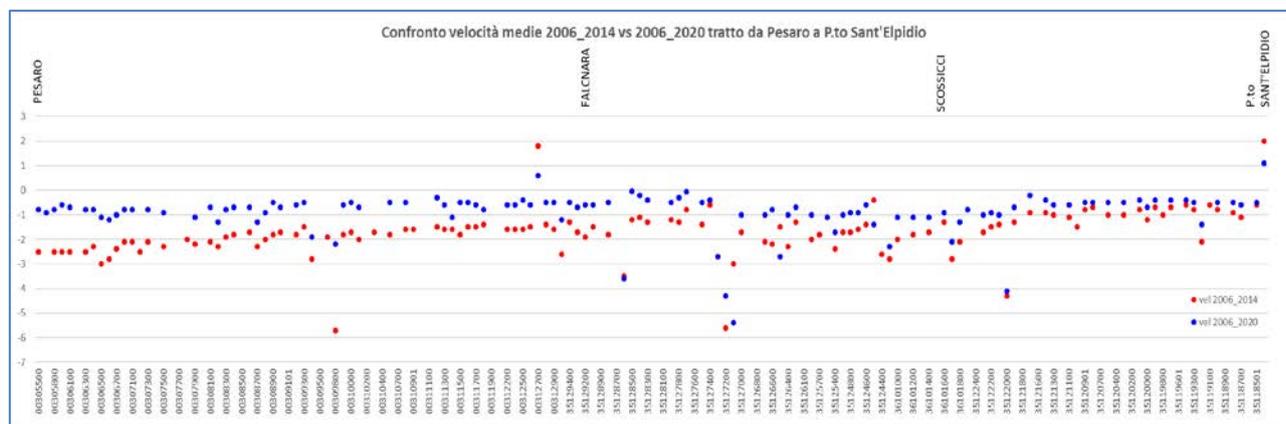
possono essere talvolta alterate da “disturbi” accidentali intervenuti nel tempo sui manufatti su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori, come di seguito specificato.

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

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

**Figura A – Tratta Pesaro - Sant’Elpidio:
velocità medie di subsidenza nei periodi 2006-2014 e 2006-2020**



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 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 11 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, sono assolutamente compatibili.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2020) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 12).

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

Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche *SSU (Satellite Survey Unit)* equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite un basamento di cemento armato. Le

3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice B); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

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

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è, però, più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, infine, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico, completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017.

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

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma di Bonaccia, certificati fino al 2018 e in fase di certificazione per gli anni successivi, sono stati elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS.

Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2020 (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.

Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2018

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	7.50	15.93	-71.24	7.61	16.02	-70.93	-0.11	0.09	-0.31

A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche CGPS, da utilizzarsi per una verifica/taratura dei modelli pre-

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 13 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

visionali 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, strategia OBS-MAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service). Come anticipato nella precedente relazione, le elaborazioni dei dati CGPS, sono state effettuate utilizzando il sistema di riferimento ITRF2014 con il software BERNESE 5.2. Per le nostre elaborazioni il sistema di riferimento è materializzato dalle stazioni appartenenti alla rete EUREF disponibili tra: Bucarest, Genova, Graz, Matera, Medicina, Padova, Penc, Sofia, Torino, Zimmervald. L'eliminazione degli outlier delle serie storiche è effettuata mediante test a 3 SIGMA iterativo.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 14 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Per il campo di Bonaccia, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale² pari a -64.94 mm/a (Figura 13 e Figura 16), in calo, anche se non sensibile, rispetto al valore riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-68.06 mm/a al 2019).

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED – Fast Elbow Effect Detector), creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche GNSS per rilevare variazioni di velocità, nell'ambito della serie storica dei dati CGPS disponibile è, inoltre, possibile individuare alcune variazioni di velocità correlabili con la storia produttiva del campo (Figura 15).

In particolare:

- periodo che va dall'installazione del CGPS a gennaio 2011, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -122.51 mm/a;
- periodo novembre 2011 - dicembre 2016, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -60.72 mm/a;
- periodo dicembre 2016 – dicembre 2020, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -38.79 mm/a; confermando il sensibile rallentamento già osservato nel periodo precedente.

Relativamente al CGPS sulla piattaforma Bonaccia NW, installato nel settembre 2015, la serie storica di misure CGPS è superiore ai 36 mesi (Figura 14, Figura 16) e quindi, è possibile osservare un valore totale di velocità di abbassamento pari a -38.64 mm/anno in diminuzione rispetto al valore, registrato alla fine del 2019 (-43.54 mm/a).

Si segnala altresì che eventuali piccole differenze nelle stime delle velocità, che si possono verificare rielaborando in epoche successive i dati CGPS, dipendono anche dal fatto che l'aggiornamento delle serie storiche comporta sia l'elaborazione di un modello periodico più attendibile, sia la ridefinizione degli outliers, che sono determinati mediante il test a tre sigma su tutta la serie storica esistente.

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 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 15 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del 2018 sono stati confrontati con quelli acquisiti dalla stazione 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 (Bonaccia) o conservativo (Bonaccia NW) rispetto alle misure CGPS.

In ottemperanza alle prescrizioni ministeriali del progetto di sviluppo di Bonaccia NW, a novembre 2020 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, nel dicembre 2017 e nel novembre 2018 e nel settembre 2019 (Figura 19).

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-dicembre 2019 e una compattazione di 78 mm per il periodo settembre 2019-novembre 2020.

Il modello geomeccanico restituisce rispettivamente una compattazione di 171 mm, 103 mm, 92 mm, 108mm e 67mm, rispettivamente, nei cinque intervalli di tempo.

In Figura 20 viene rappresentato, inoltre, 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.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 16 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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.

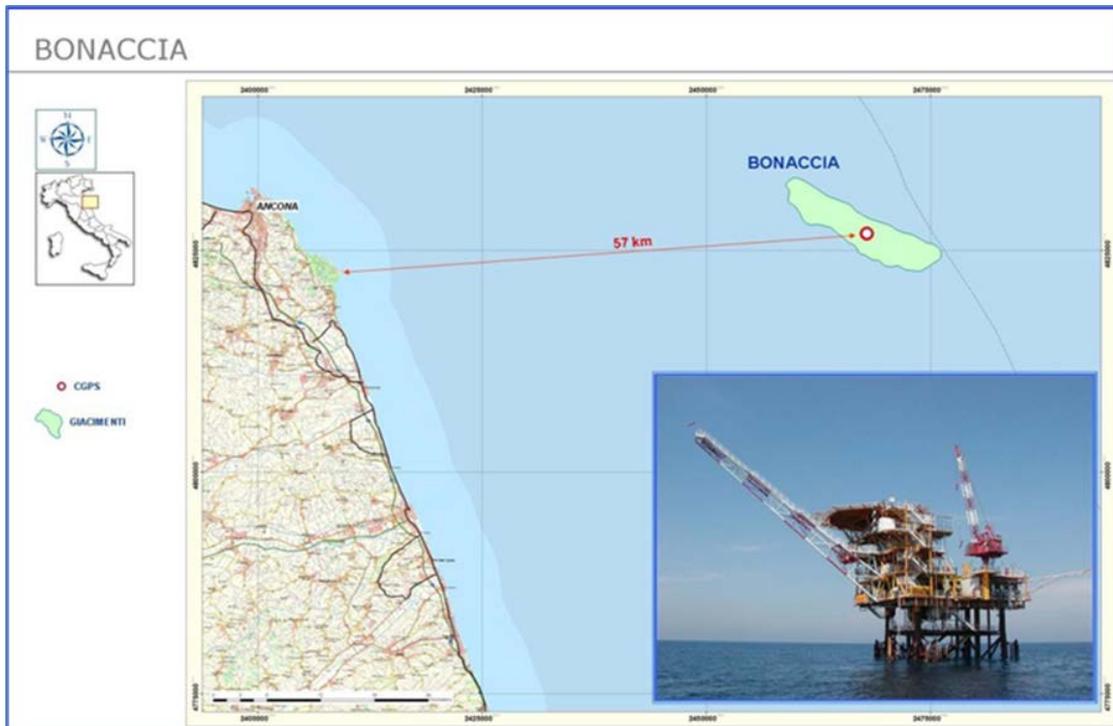


Figura 1 - Ubicazione del campo di Bonaccia

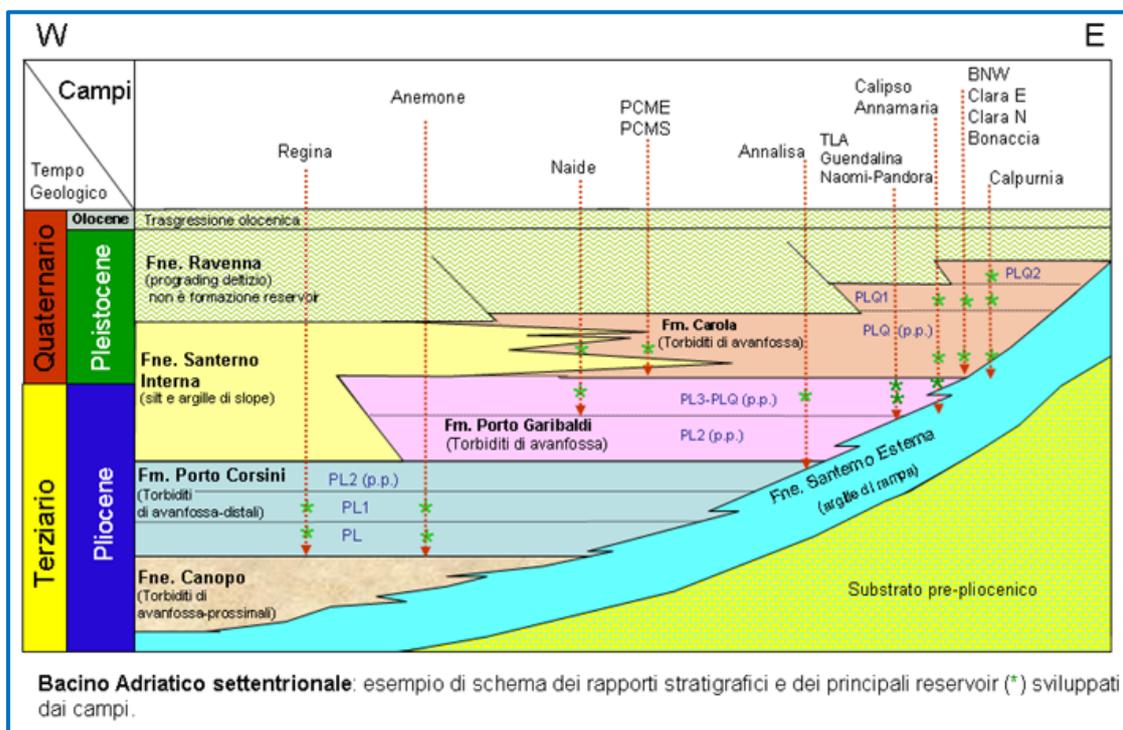


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

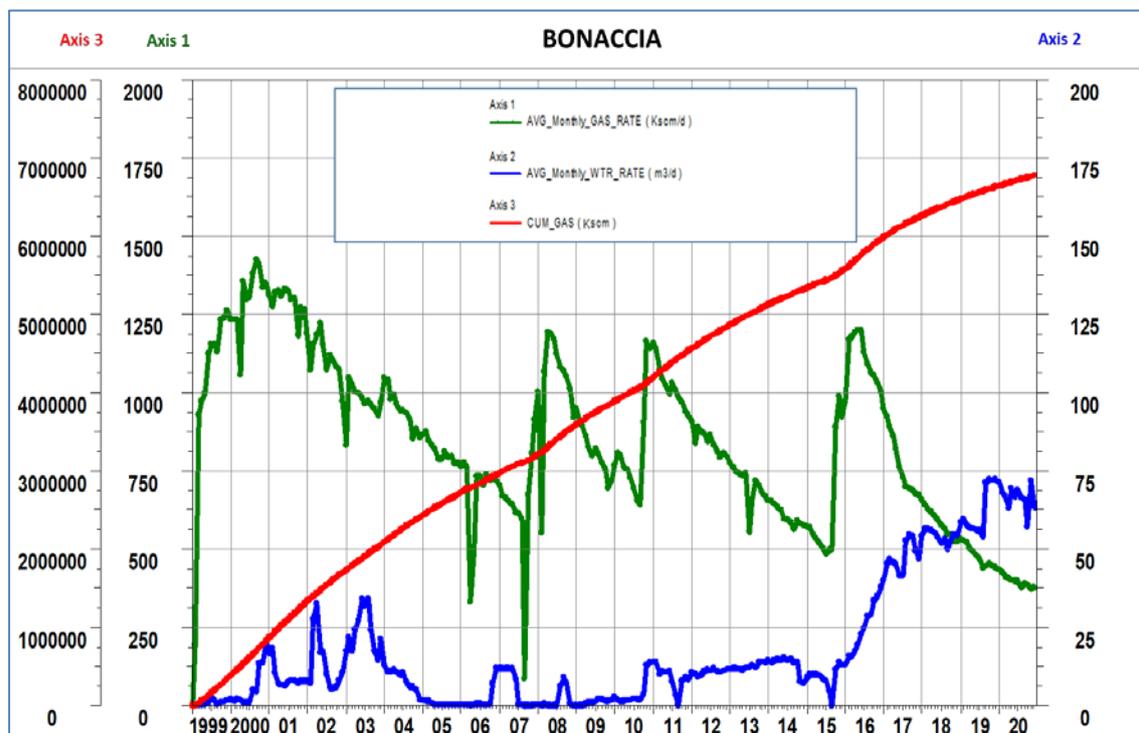


Figura 3 - Campo di Bonaccia: grafico della produzione storica



CAMPO DI BONACCIA					
Profilo da modello eclipse : caso DN					
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	12%
2001	472	472	1297	1297	19%
2002	408	408	1704	1704	25%
2003	353	353	2058	2058	30%
2004	346	346	2404	2404	35%
2005	297	297	2700	2700	39%
2006	250	250	2950	2950	42%
2007	233	233	3183	3183	46%
2008	380	380	3563	3563	51%
2009	298	298	3861	3861	56%
2010	298	298	4159	4159	60%
2011	374	374	4533	4533	65%
2012	309	309	4842	4842	70%
2013	258	258	5100	5100	73%
2014	222	222	5322	5322	77%
2015	229	229	5551	5551	80%
2016	405	405	5956	5956	86%
2017	285	285	6240	6240	90%
2018	214	214	6454	6454	93%
2019	175	180	6629	6635	95%
2020	146	123	6775	6758	98%
2021		78		6836	
2022		50		6886	
2023		31		6917	
2024		17		6934	
2025		8		6943	
2026		5		6948	
2027					
2028					
2029					
2030					
2031					
2032					
2033					
2034					
2035					

Figura 4 - Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse 2018 (scenario DN)

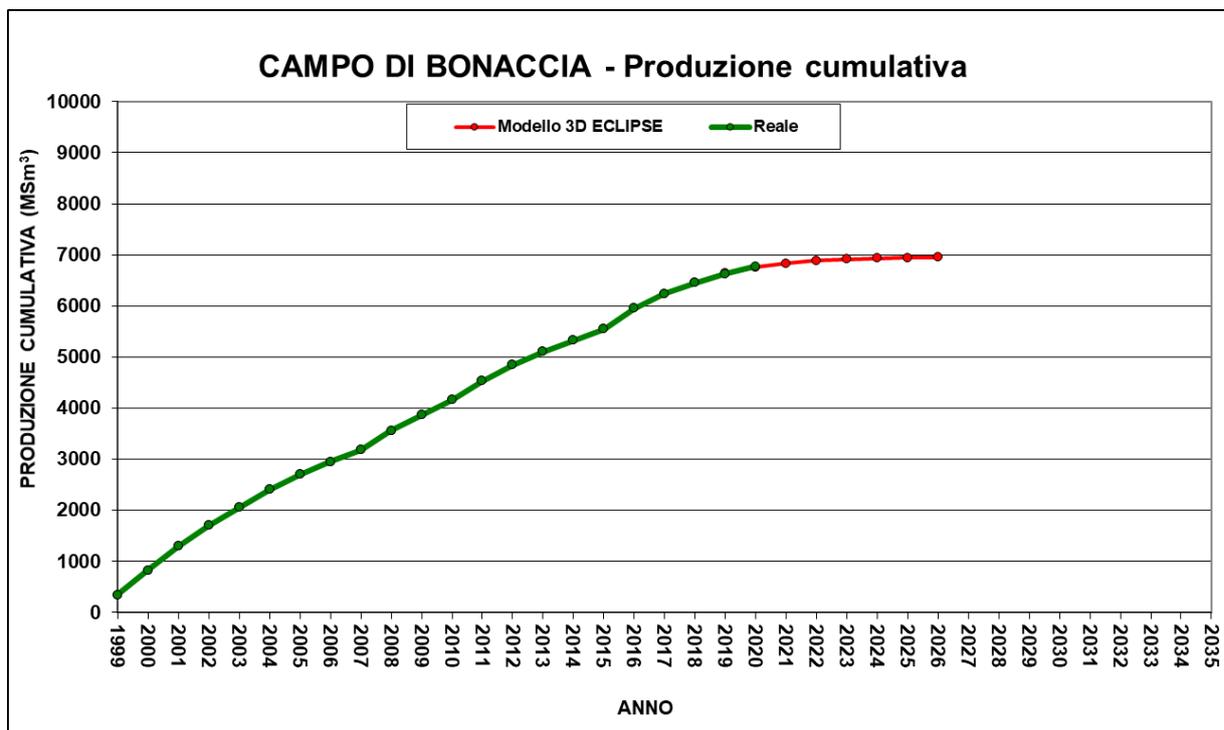


Figura 5 - Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse 2018

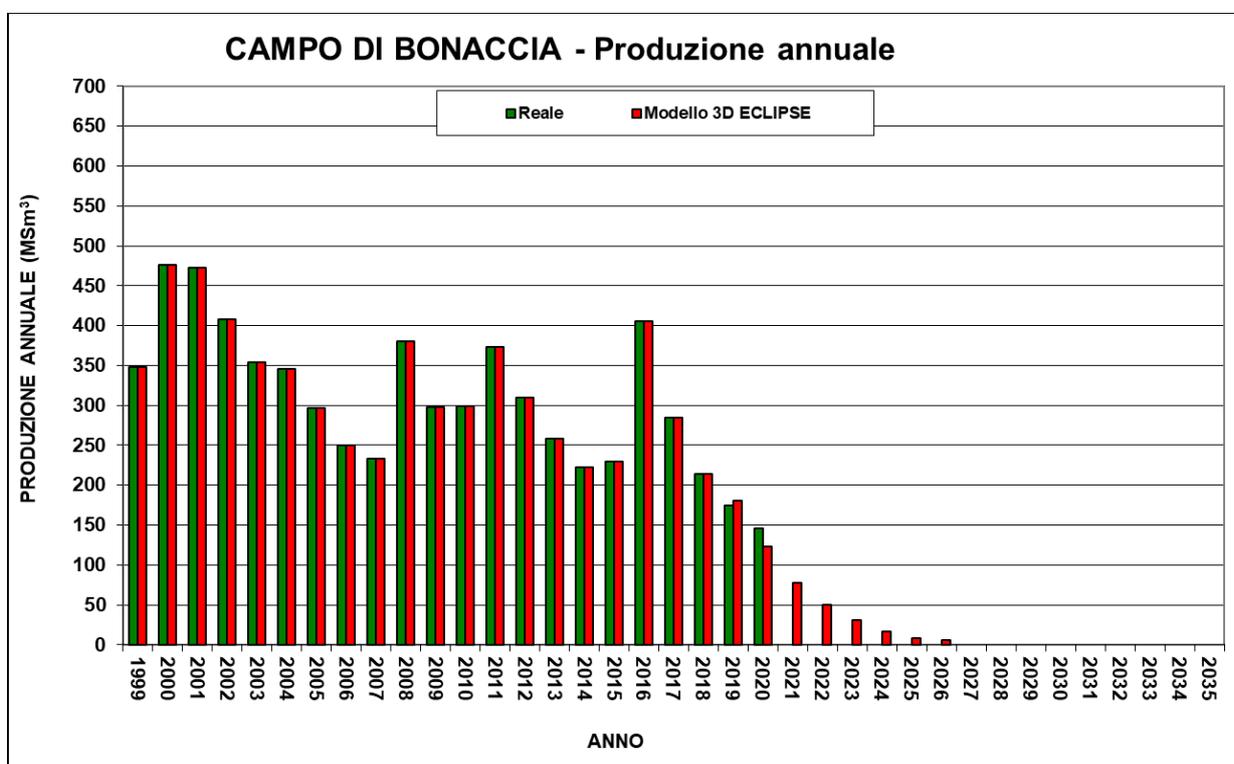


Figura 6 - Campo di Bonaccia: produzione e riserve da modello Eclipse 2018 (scenario DN)

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	104		7 L			
01/02/2000	98		7 L			
06/10/2007	67	12 Dir				
26/12/2007	64	11 Dir A				
01/05/2004	77		8 L			
01/04/2011	39		8 L			
21/05/2011	36		7 L			
14/12/2013	32		7 L			
06/12/2014	36		7 L			
27/05/2015				74	NW 1 Dir	
11/07/2015	30	NW 3 Dir				
24/04/2016	37		7 L			
22/01/2017				69		NW 2 C
28/11/2017	39		7 L	69		NW 2 C
01/12/2018	44		7 L	68		NW 2 C
15/09/2019	45		7 L	69		NW 2 C
19/11/2020				73		NW 2 C

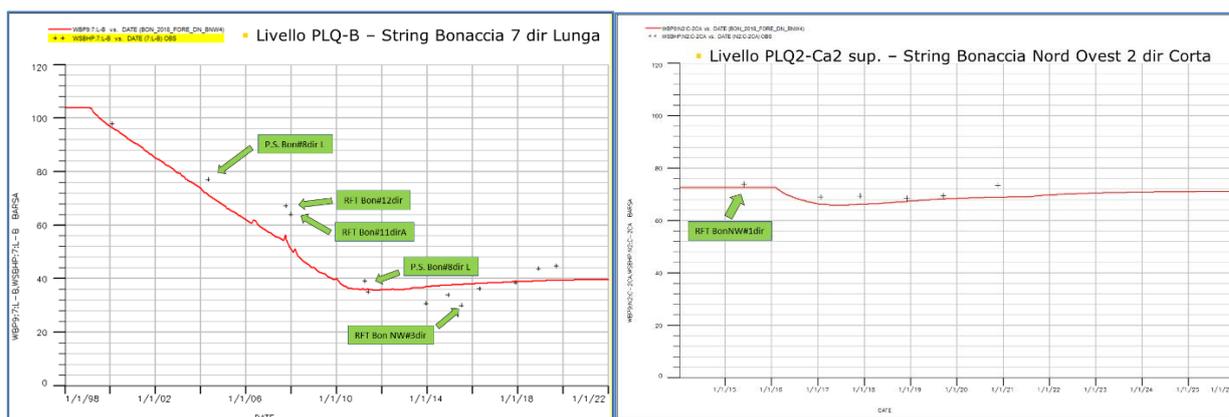


Figura 7 - Campo di Bonaccia: confronto tra i dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2018

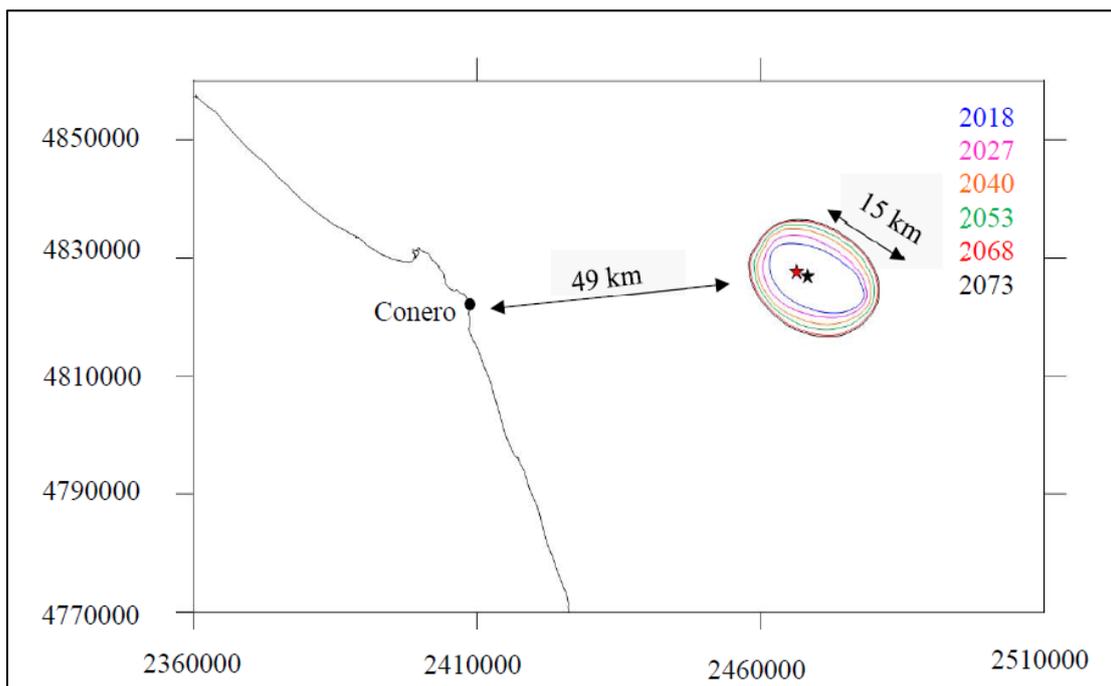


Figura 8 - Campo di Bonaccia: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm

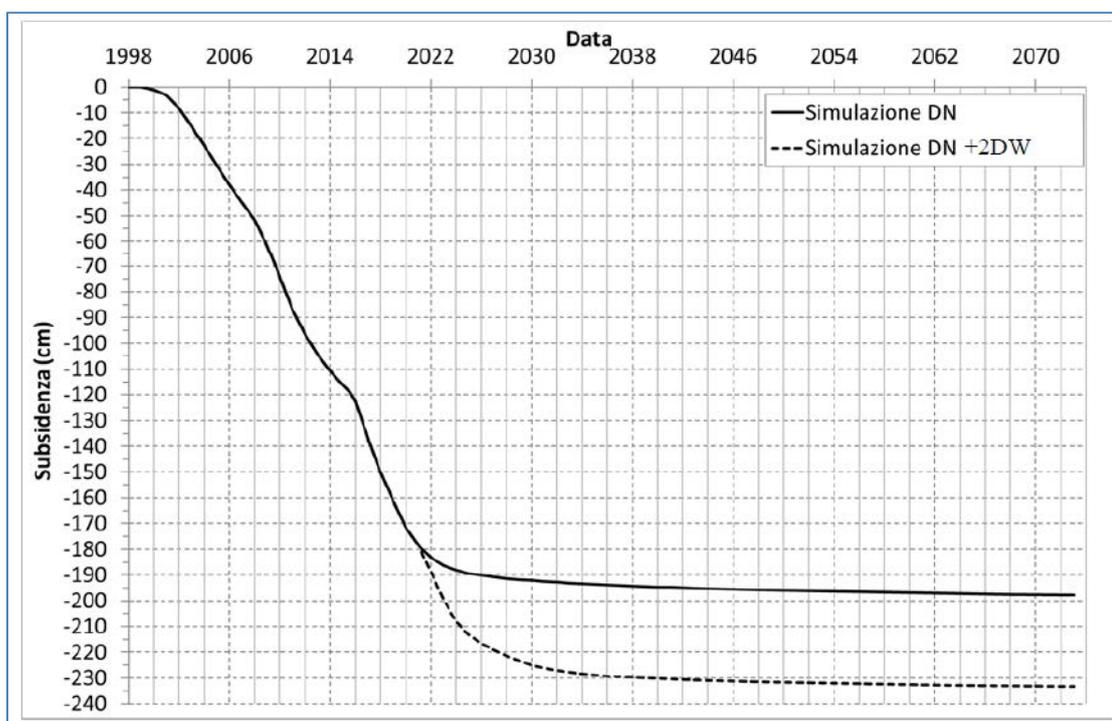


Figura 9 - Campo di Bonaccia: evoluzione temporale della subsidenza nel punto di massimo

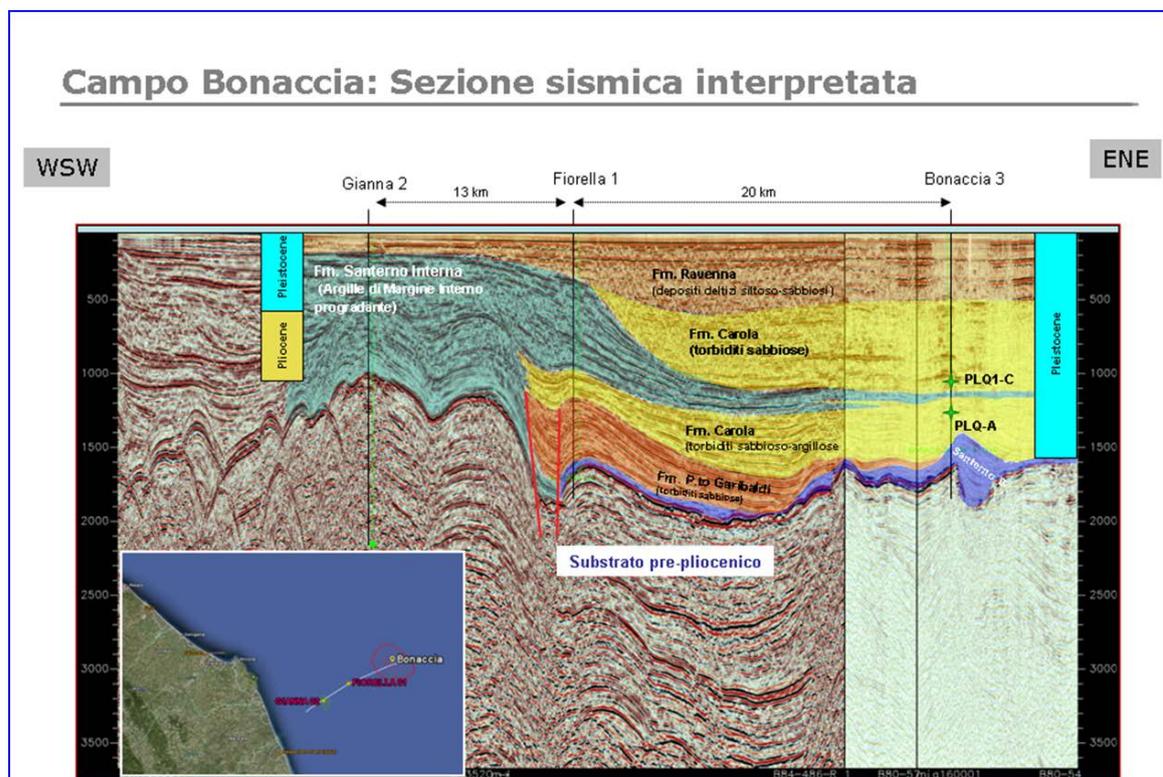
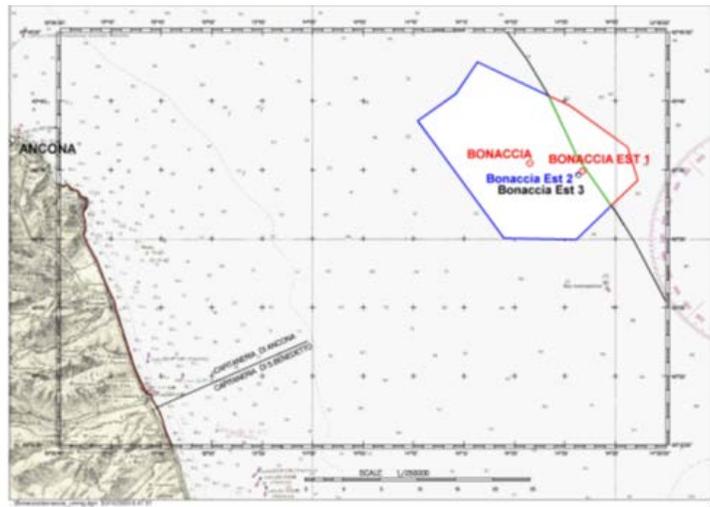
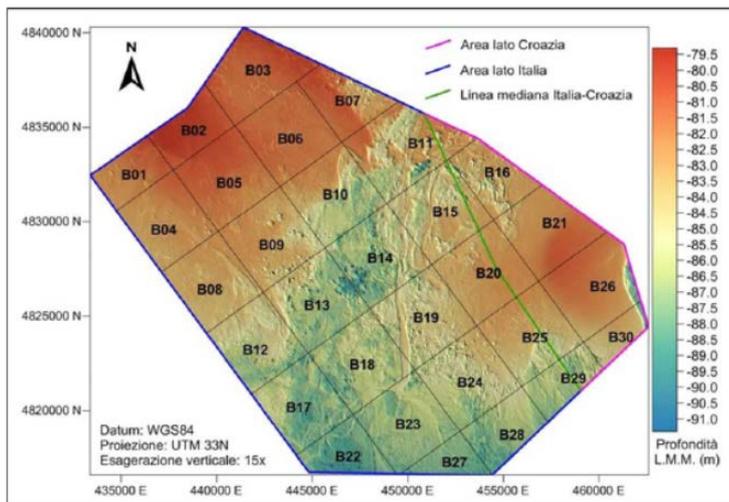


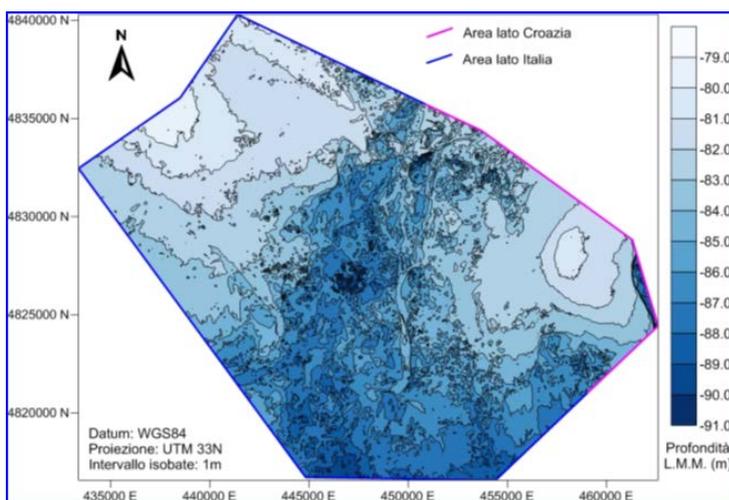
Figura 10 - Sezione sismica interpretata



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 11 - Campo di Bonaccia: rilievo batimetrico

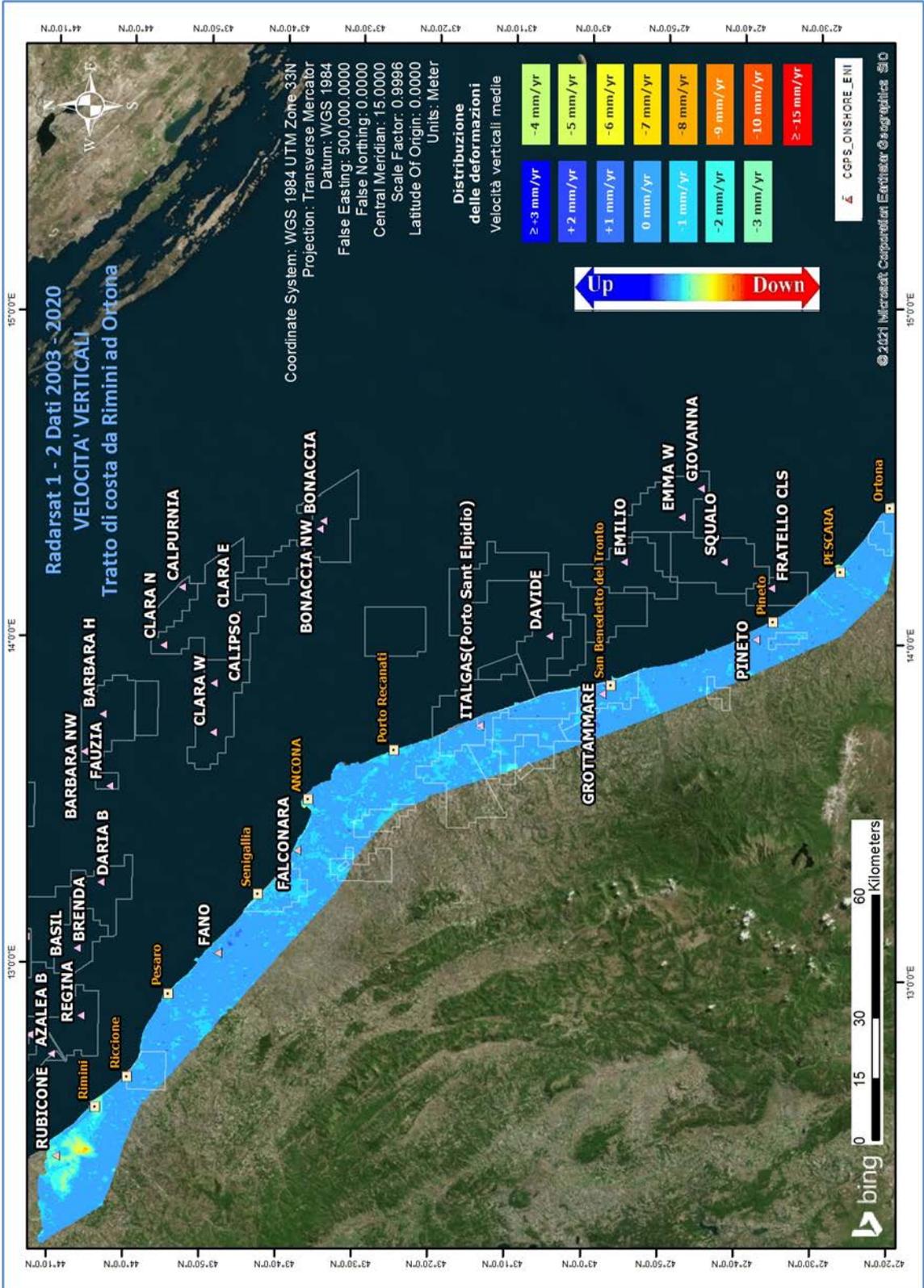


Figura 12 - Campo di Bonaccia: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2020

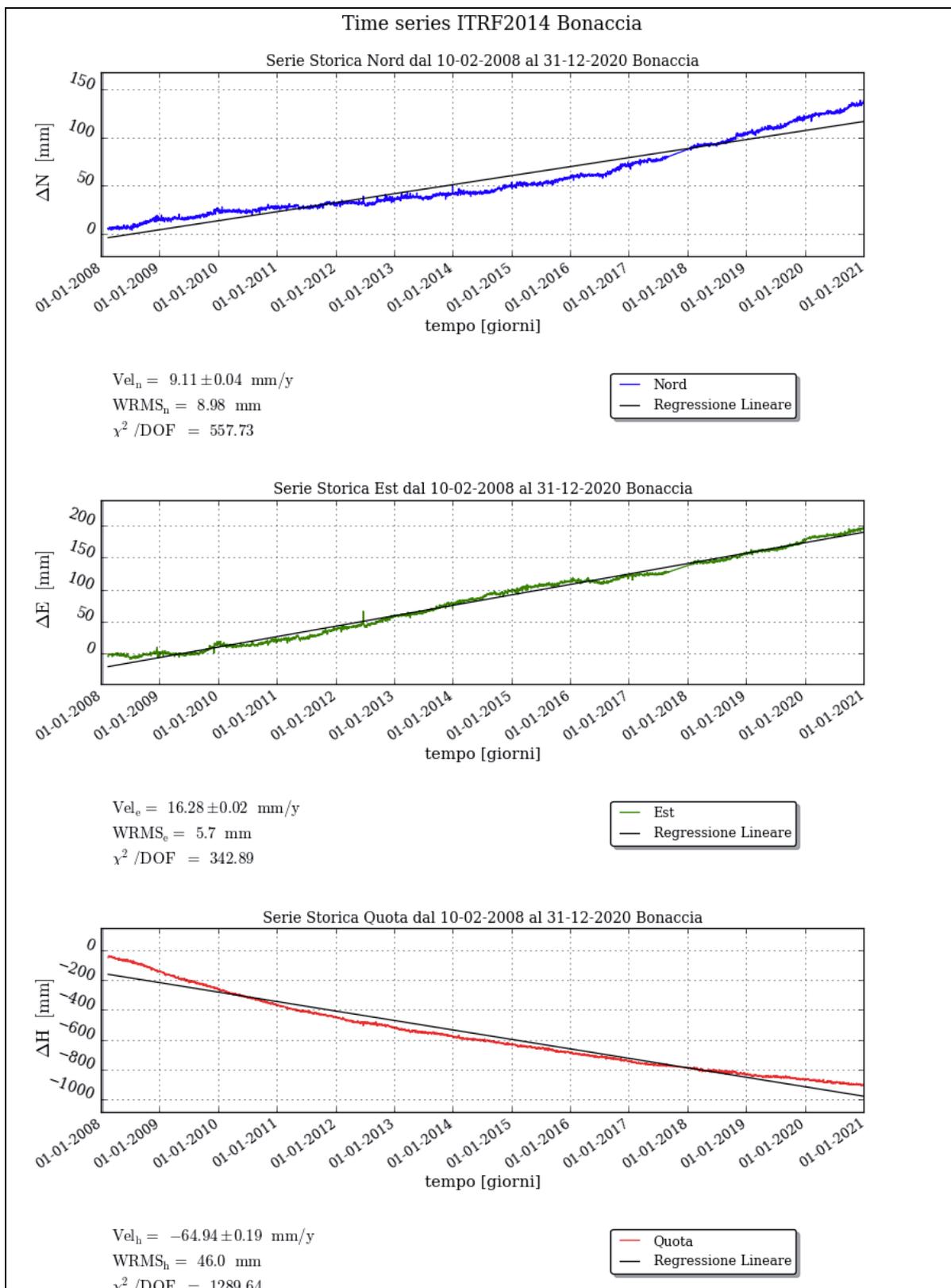


Figura 13 - Campo di Bonaccia: serie storiche di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Bonaccia)

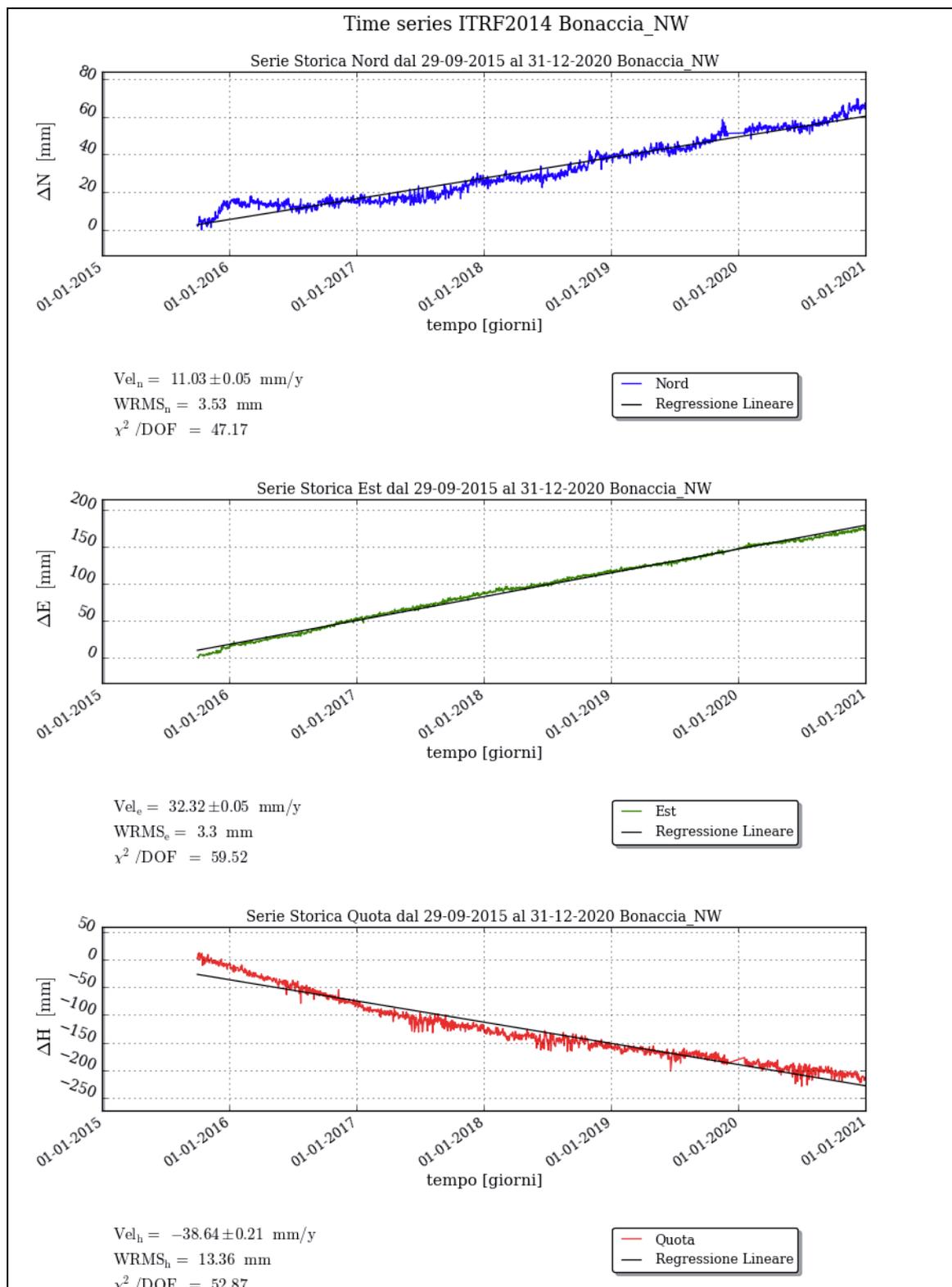
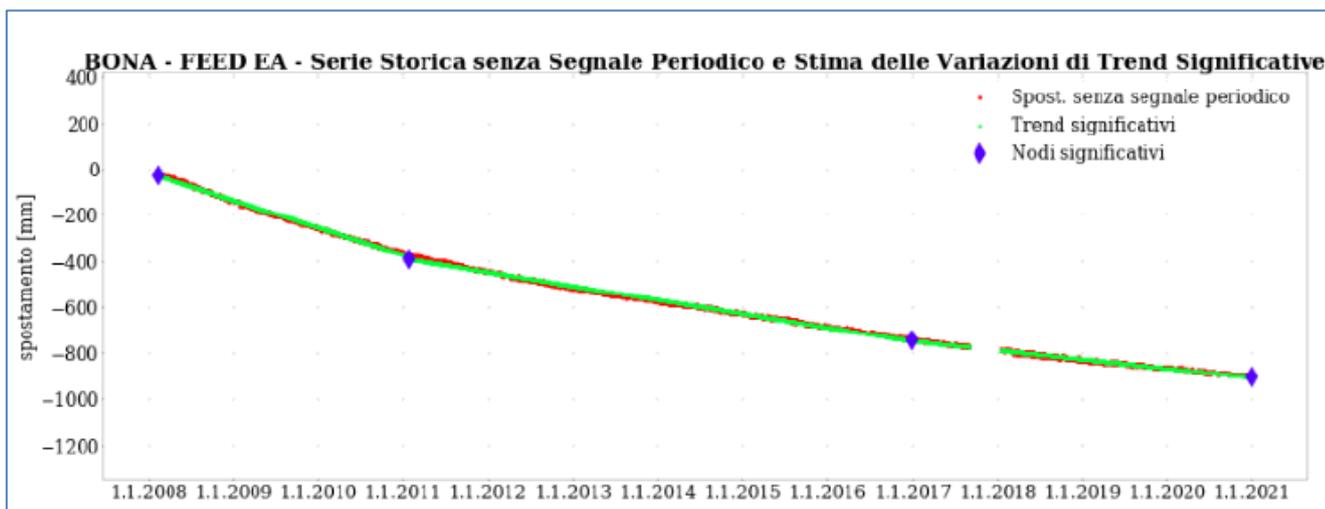


Figura 14 - Campo di Bonaccia: serie storiche di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Bonaccia NW)



FEED PP - MODELLO EMPIRICO			
Periodo		velocità	sigma
		[mm/y]	[mm/y]
11/02/2008	- 26/11/2011	-122.51	0.17
26/01/2011	- 25/12/2016	-60.72	0.06
25/12/2016	- 31/12/2020	-38.79	0.11

Figura 15 - Campo di Bonaccia: analisi della serie storica di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Bonaccia)

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2020	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio	CGPS	
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2020
ANEMONE	1978	2018	100%	-49cm al 2049	2019	2007	-4,54
ANNALISA	2000	2021	99%	-9cm al 2027	2018	2007	-3,5
ANNAMARIA	2009	2030	81%	-163cm al 2051	2017	2005	-94,17
BARBARA NW	1999	2035	81%	-44cm al 2029	2017	2008	-25,91
BONACCIA	1999	2026	98%	-233cm al 2073	2018	2008	-64,94
BONACCIA NW	2015					2015	-38,64
CALIPSO	2002	2025	97%	-84cm al 2026	2017	2007	-13,51
CALPURNIA	2000	2022	99%	-14cm al 2015	2017	2008	-0,44
CLARA EST	2000	2038	79%	-81cm al 2038	2017	2007	-14,47
CLARA NW	2016					2016	-23,78
CLARA NORD	2000	2021	99%	-34cm al 2016	2017	2007	-16,35
ELETTRA	2014	2029	73%	-11cm al 2061	2017	2014	-15,37
FAUZIA	2014	2023	83%	-5cm al 2068	2019	2014	-3,65
GUENDALINA	2011	2022	92%	-8,5cm al 2055	2018	2011	-6,1
NAIDE	2005	2027	91%	-12cm al 2030	2021	2005	-3,58
NAOMI - PANDORA	2001	2037	58%	-2,6cm al 2049	2017	2002	-2,13
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-4,3cm al 2014	2020	2005	-3,8
REGINA	1997	2030	99%	-130cm al 2061	2017	2007	-21,76
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	98%	-5cm al 2023	2019	2007	-3,55

Figura 16 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di misure CGPS vs. modelli

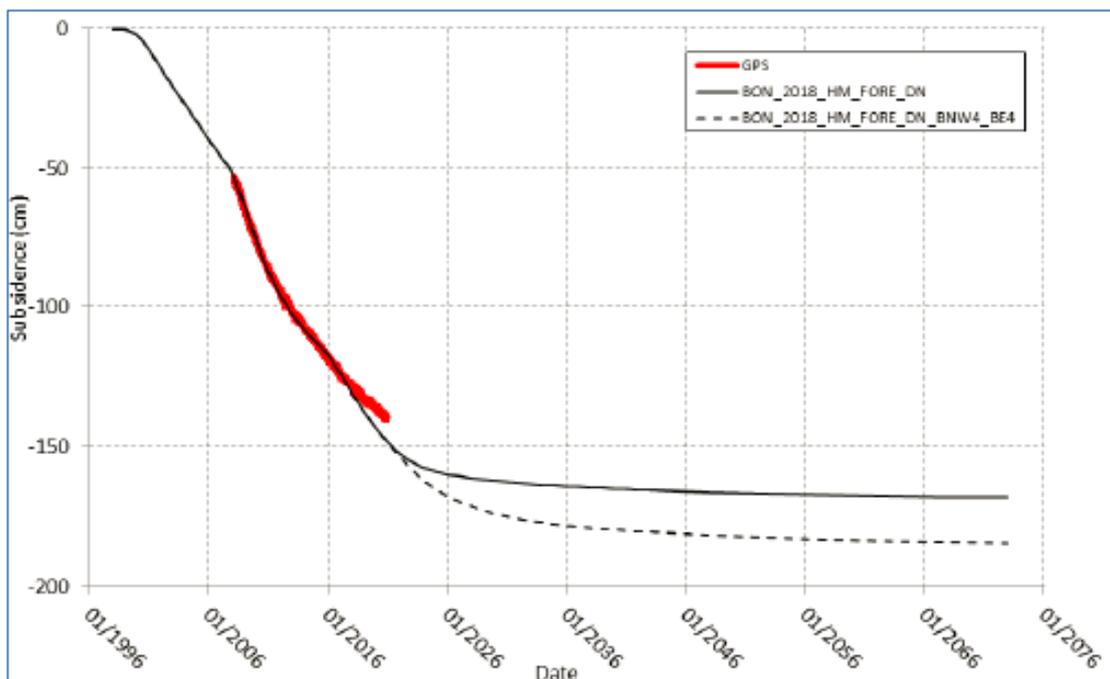


Figura 17 - Campo di Bonaccia: abbassamento misurato e calcolato in corrispondenza del CGPS della p.ma di Bonaccia

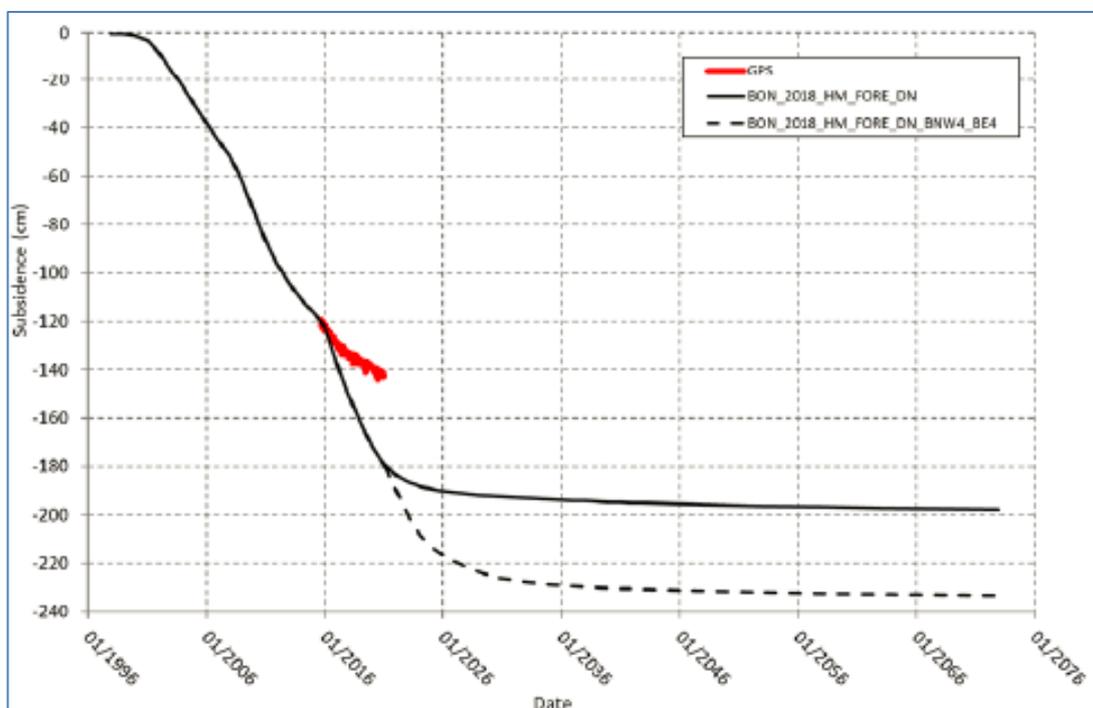


Figura 18 - Campo di Bonaccia: abbassamento misurato e calcolato in corrispondenza del CGPS della p.ma di Bonaccia NW



Compattazione misurata Bonaccia NW1						
spacing	ref depth	Aug 2015	Jan 2017	Dec 2017	Nov 2018	Sep 2019
	MD	Jan 2017	Dec 2017	Nov 2018	Sep 2019	Nov 2020
#	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
45	709,44	-1	-1	3	0	-3
44	719,78	-1	-1	1	2	-2
43	730,28	0	-1	2	0	-1
42	740,78	0	0	1	0	-1
41	751,28	-1	-1	2	0	-1
40	761,79	-3	-3	3	2	-3
39	772,22	3	-3	2	1	-3
38	782,69	0	-2	0	2	-4
37	793,22	-4	-1	-2	5	-4
36	803,70	-1	-1	4	-1	1
35	814,25	5	-4	4	-4	2
34	829,94	12	-14	3	-1	1
33	840,48	0	0	2	1	0
32	845,73	0	-2	2	0	0
31	850,89	-3	2	3	0	0
30	856,00	-1	0	2	0	-1
29	861,41	-2	-2	3	-3	3
28	866,69	0	0	0	0	-1
27	871,94	-1	0	1	1	-1
26	877,21	-3	-1	4	-1	-3
25	882,47	-3	2	2	1	-1
24	887,74	-3	1	1	-1	1
23	898,25	0	-2	2	0	-2
22	913,97	-3	1	2	-1	0
21	924,40	-2	0	2	2	-1
20	929,61	-5	5	0	-1	-2
19	940,14	-3	-5	3	-1	-2
18	950,63	-4	-1	4	0	-1
17	955,88	-1	0	-1	2	-1
16	961,11	-4	1	4	-3	0
15	966,40	1	-2	3	-1	-1
14	971,64	-1	0	0	-1	1
13	976,88	-2	2	0	2	-2
12	982,12	-2	-1	-4	3	-7
11	987,37	-10	1	1	0	-1
10	997,91	-8	-8	6	-6	-22
9	1008,08	-5	1	0	6	-33
8	1018,62	-15	7	9	-1	6
7	1029,06	5	-13	9	-1	-6
6	1039,58	-6	-5	-2	3	-2
5	1050,09	-3	-2	2	-2	9
4	1060,58	3	-2	0	7	-4
3	1071,14	-14	-3	2	1	1
2	1081,75	-2	-1	1	0	2
1	1092,22	2	-3	5	-6	2
TOTALE		-67	-61	80	1	-78

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

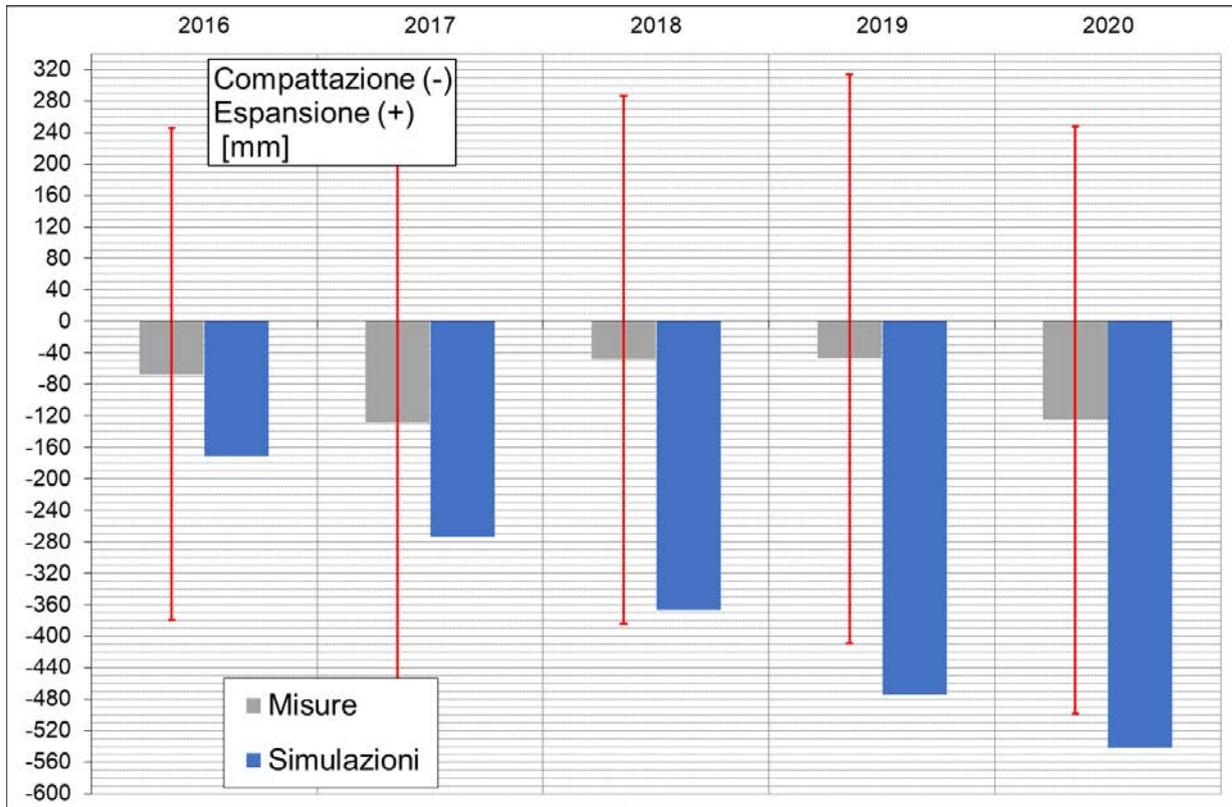


Figura 20 - Campo di Bonaccia: confronto tra le deformazioni verticali misurate e le corrispondenti stime del modello geomeccanico (pozzo Bonaccia NW 1 dir). Indicato in rosso l'intervallo di confidenza delle misure pari a 3σ

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 PROFONDIITA' FONDALE	offshore - 57 km a E Monte Conero 82 m	AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA	
LITOLOGIA	silt-sabbie fini in livelli sottili	SIA (BONACCIA-BONACCIA EST) / ULTIMO AGGIORNAMENTO (con BONACCIA NW)	
FORMAZIONE RESERVOIR	Ravenna - Carola	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "luglio '07"
ZONA MINERARIA	PLQ1 - PLQ	RISERVE (MSm ³)	6305 / 6948
PROFONDIITA' RESERVOIR	750 - 1060 (TVDSS)	MOD. GEOMECCANICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ settembre 2007 / ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2018
TPO DI PIATTAFORMA	fissa (Bonaccia)	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	22 (@ 2015) / 233 @ 2073
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili	MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	# / 49 Km @ 2073
D.M @ giu 2009 @ 31 dic 2020		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI	
CONCESSIONE	B.C17.TO	LIVELLAZIONI	
DATA SCADENZA CONCESSIONE	18/10/2028	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA. IL PROSSIMO RILIEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2023 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO	
N. POZZI		MARKERS	
Bonaccia	8	MARKERS SU BONACCIA NW 1Dir: ULTIMO SURVEY @ novembre 2020. Survey eseguiti: agosto 2015 (rilievo base), novembre 2016, gennaio 2017, novembre 2018 e settembre 2019	
Bonaccia Est	0	CGPS	
Bonaccia NW	0	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)	
RISERVE TECNICHE (campo)		SAR	
A VITA INTERA (MSm ³)	6305 / 6948	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC.2020 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA 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	
START UP PRODUZIONE		BATIMETRIE	
Bonaccia	feb-99	ESEGUITO RILIEVO BATIMETRICO. DATA RILIEVO NOV.2009-MARZO 2010	
Bonaccia Est	ott-10		
Bonaccia NW	ott-15		
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2029 / 2026		
GAS PRODOTTO (campo) (MSm ³)			
Bonaccia	6775		
Bonaccia Est	4539		
Bonaccia NW	1273 / 663		
% RISERVE PRODOTTE	98%		

Figura 21 - Scheda di sintesi dati campo

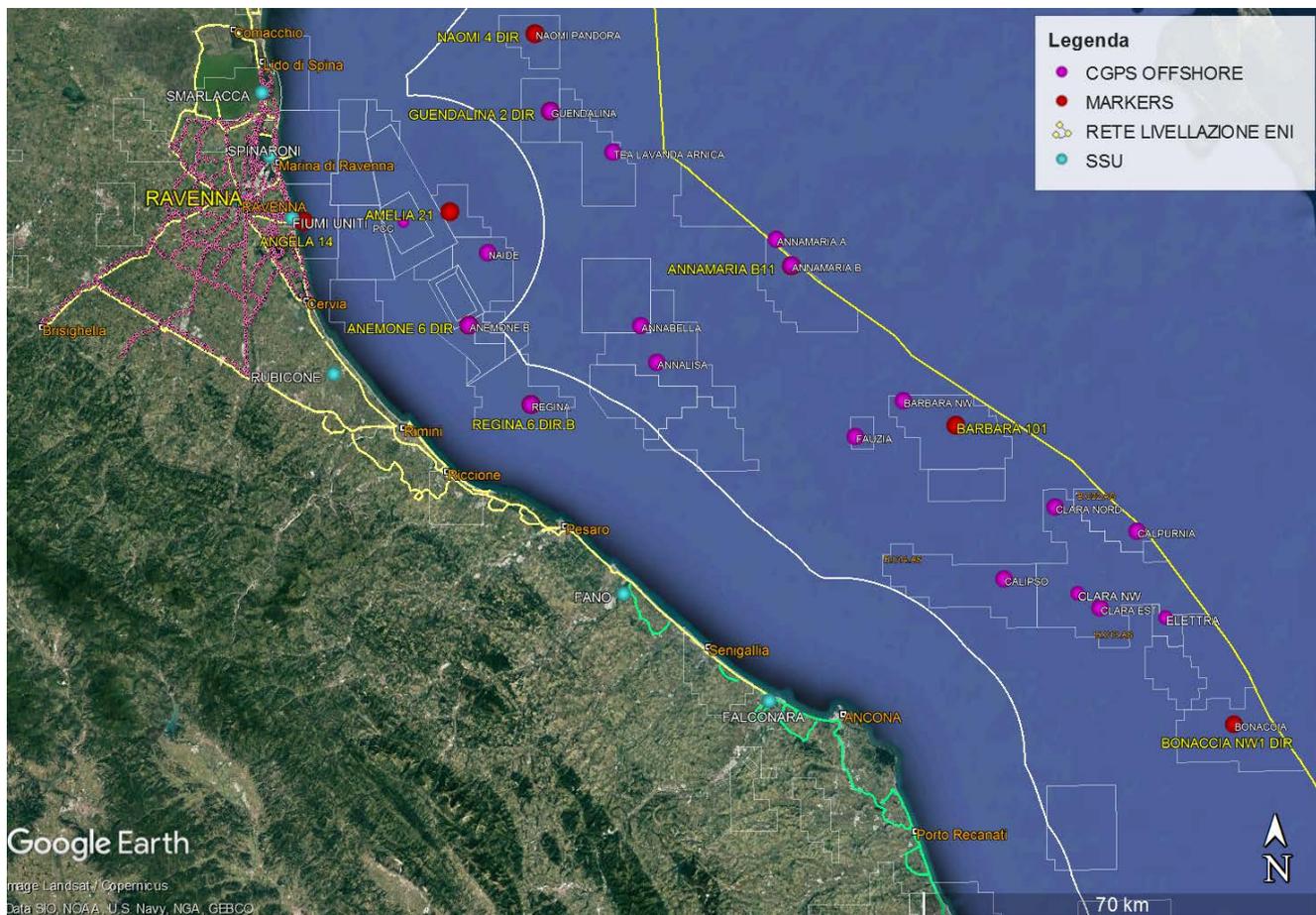


Figura 22 - - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2020

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2003 – 2020 sono state effettuate con lo stesso algoritmo utilizzato per le analisi dei dati dell’anno precedente.

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

Analisi dati InSAR 2003 – 2020

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

Da un’analisi delle differenze tra le velocità medie annuali misurate dai CGPS presenti nell’area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer) presenti in un intorno di circa 300 m centrato nel corrispondente CGPS (Tab. 1), si è scelto di accorpate i data-set in due macro - aree, in modo tale che la taratura del dato InSAR minimizzi le differenze tra quest’ultimo e le misure CGPS. In Tab. 1 vengono presentate: le velocità verticali dei CGPS, V_{vert_CGPS} , e il corrispondente scarto quadratico medio sqm_CGPS (colonna 3 e 4); la media delle velocità verticali dei permanent scatterers nell’intorno avente come centro il CGPS corrispondente $Media_V_SAR$, e il corrispondente scarto quadratico medio sqm_SAR (colonna 5 e 6); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio (colonne 7 e 8). Tutte le misure sono in millimetri/anno.

	CGPS	V_{vert_CGPS} [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	-5,93	0,01	-3,14	1,72	-2,79	1,73
	SPINARONI	-6,99	0,01	-3,86	1,42	-3,13	1,43
	FIUMI UNITI	-13,22	0,02	-10,76	4,35	-2,46	4,37
FANO-ANCONA	RUBICONE	-2,75	0,03	-2,93	1,81	0,29	1,84
	FANO	-0,05	0,02	0,09	0,84	-0,14	0,86
	FALCONARA	-0,3	0,02	-0,22	1,50	-0,08	1,52
	ITALGAS	-0,09	0,02	0,50	0,97	-0,59	0,99

Tab. 1. Taratura dato InSAR con misure CGPS

La stazione CGPS di Manara è stata dismessa, pertanto non rientra nei calcoli per la taratura del dato InSAR 2020.

Come si può vedere in Tab. 1, le differenze di velocità tra dati CGPS e le velocità medie dei dati InSAR rappresentati nella penultima colonna hanno andamenti diversi nell'intera area, con differenze che si aggirano intorno a 2.8 mm/anno di media per i primi 3 CGPS, mentre per gli ultimi 4 CGPS si notano differenze massime intorno a 0,6 mm/anno. Di conseguenza si è scelto di mosaicare i diversi data-set in due macro-aree (Fig. 1):

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

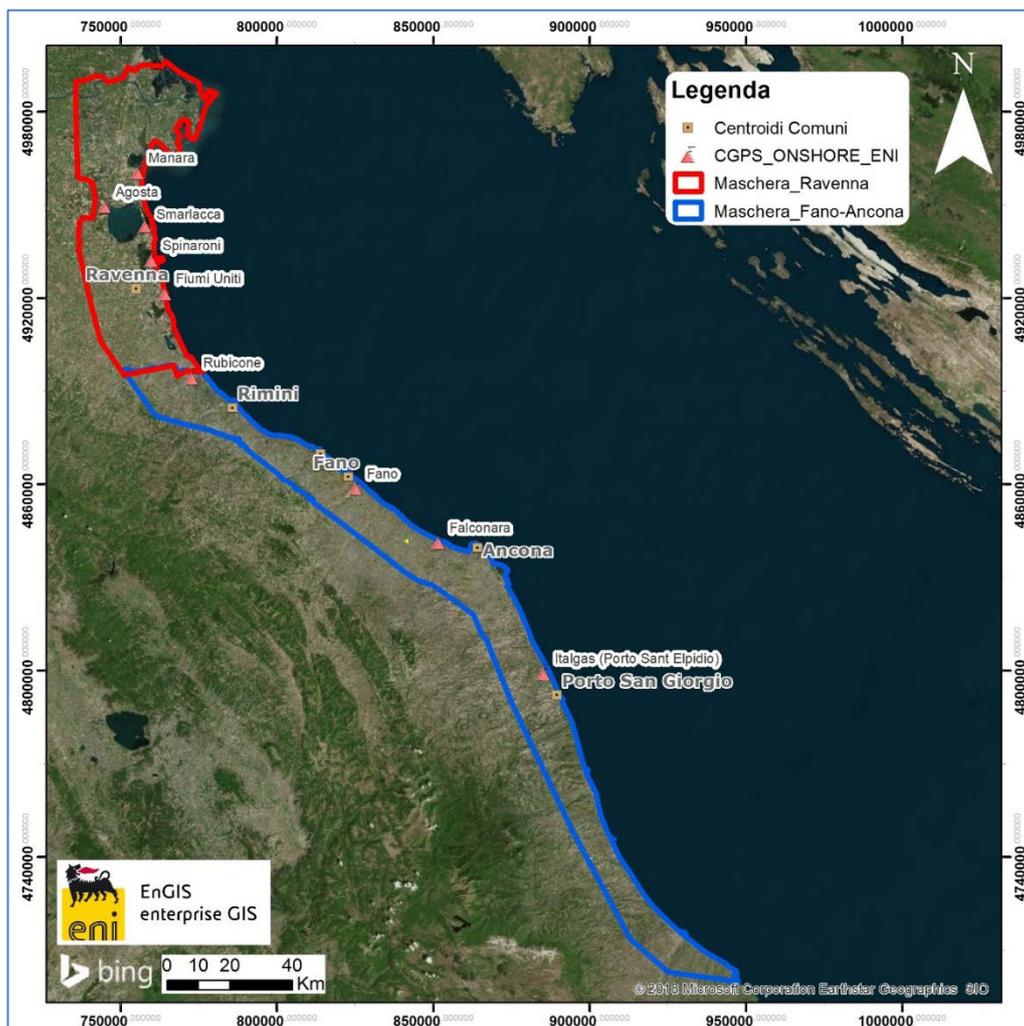


Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 35 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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

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

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

Si è realizzata quindi la calibrazione dei dati SAR partendo dall'area più a nord (area Ravennate), utilizzando i dati di velocità della stazione di Smarlacca; i dati delle stazioni di Fiumi Uniti e di Spinaroni sono stati utilizzati esclusivamente come valore di verifica dei risultati ottenuti con la calibrazione. La determinazione delle velocità verticali con dati CGPS è stata calcolata sulla serie storica totale del dato, che per quanto riguarda le postazioni di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti ha un inizio di acquisizione leggermente anteriore rispetto a quello dei dati SAR. Queste velocità così calcolate hanno una differenza sotto il decimo di millimetro/anno, rispetto a quelle calcolate sullo stesso periodo di acquisizione, da considerarsi pertanto trascurabile ai fini di questo studio. L'analisi dei dati SAR non calibrati, relativi all'area Ravennate nell'intorno della stazione CGPS di Smarlacca per un raggio di 300 metri, ha evidenziato una velocità media pari a $-3,14 \pm 1,72$ mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di $-5,93 \pm 0,01$ mm/anno, si rileva una differenza di $-2,79 \pm 1,73$ mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di $-2,79 \pm 1,73$ mm/anno. Successivamente sono stati confrontati i punti SAR, che ricadevano in un intorno di raggio pari a 300 m, rispetto ai CGPS di Fiumi Uniti e Spinaroni. Il confronto mostra delle differenze, tra i singoli CGPS e i dati SAR calibrati, sotto il millimetro: ciò conferma la validità della calibrazione effettuata.

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

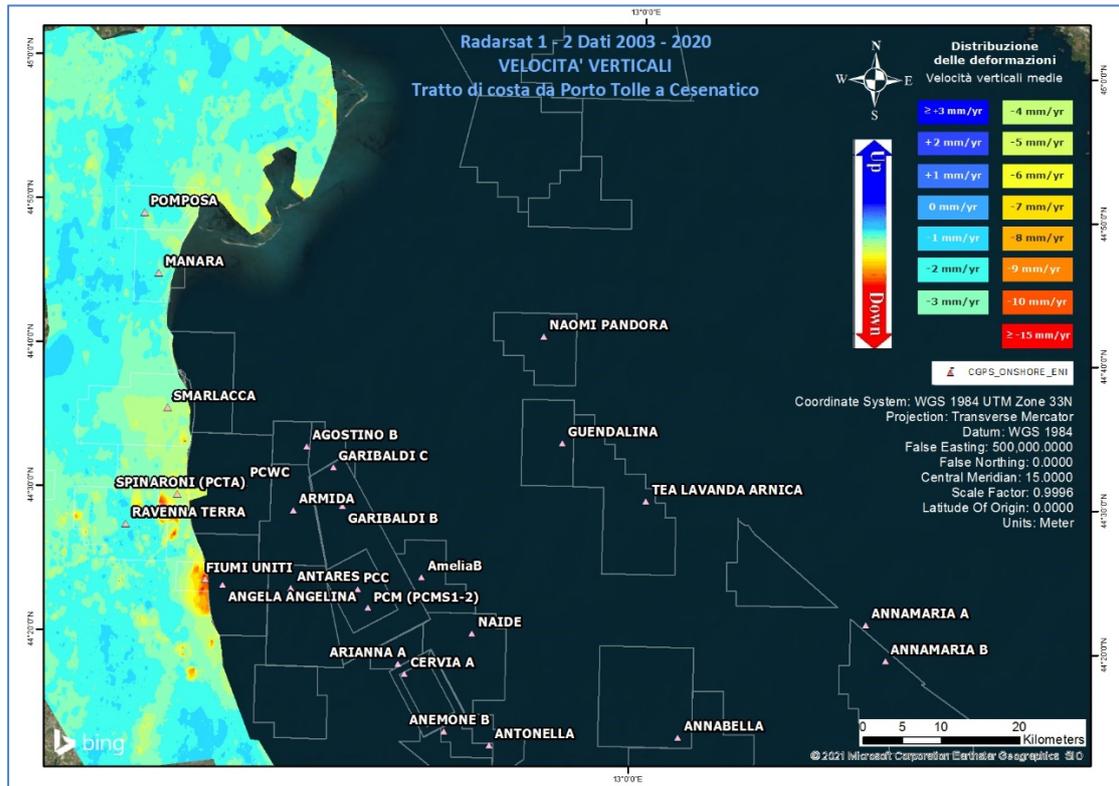


Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2020, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

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

Analizzando l'area SAR di Fano-Ancona, si evidenzia come le velocità dei CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas siano allineate con le velocità misurate dal SAR, con un errore sulle differenze inferiore ai 2 mm (Tab. 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m, e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono all'interno di questo intorno. Considerata la minima differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR ($-0,14 \pm 0,86$ mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tab.1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,5 mm/anno in media. In Fig. 3 è visualizzata l'interpolazione dei dati mosaicati, per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona. L'interpolatore utilizzato è l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

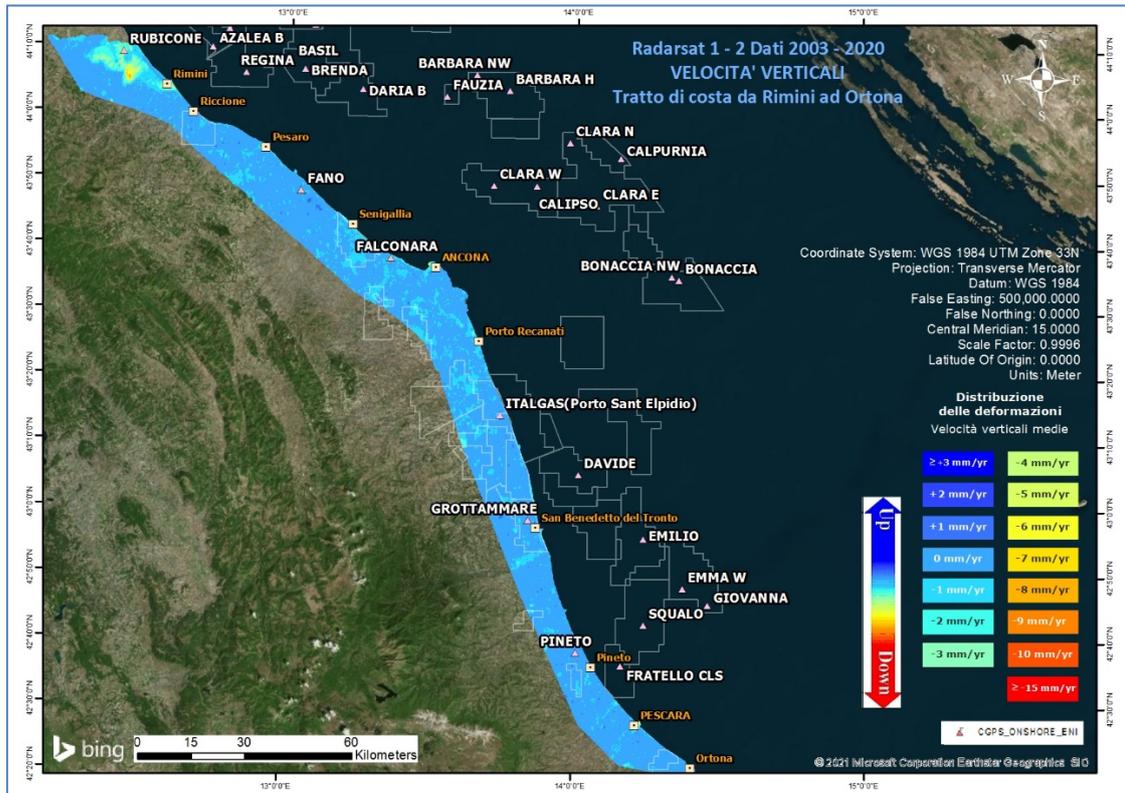


Fig. 3 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003-2020, con Tool ArcGis Spatial-Analyst®. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

Confronto dati SAR 2003 – 2019 vs 2003 – 2020

Il processo di sottrazione tra IDW 2020 e IDW 2019 permette di evidenziare graficamente eventuali differenze nell'andamento medio delle velocità verticali.

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

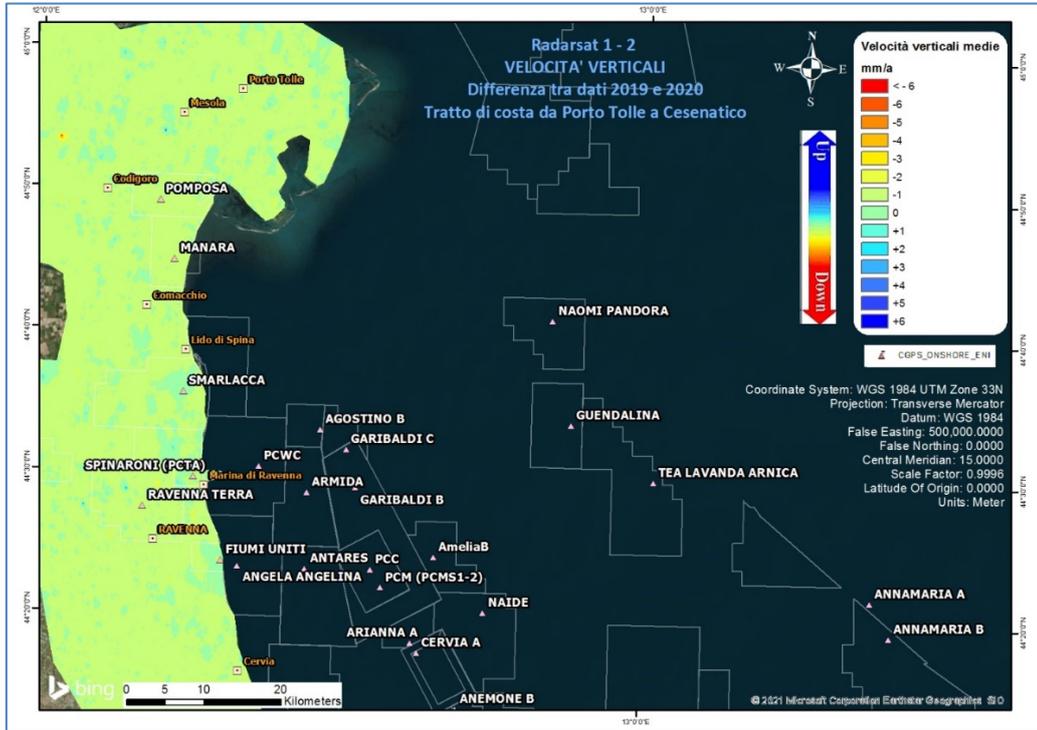


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2019 e il 2003-2020, utilizzando il Tool Math-Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

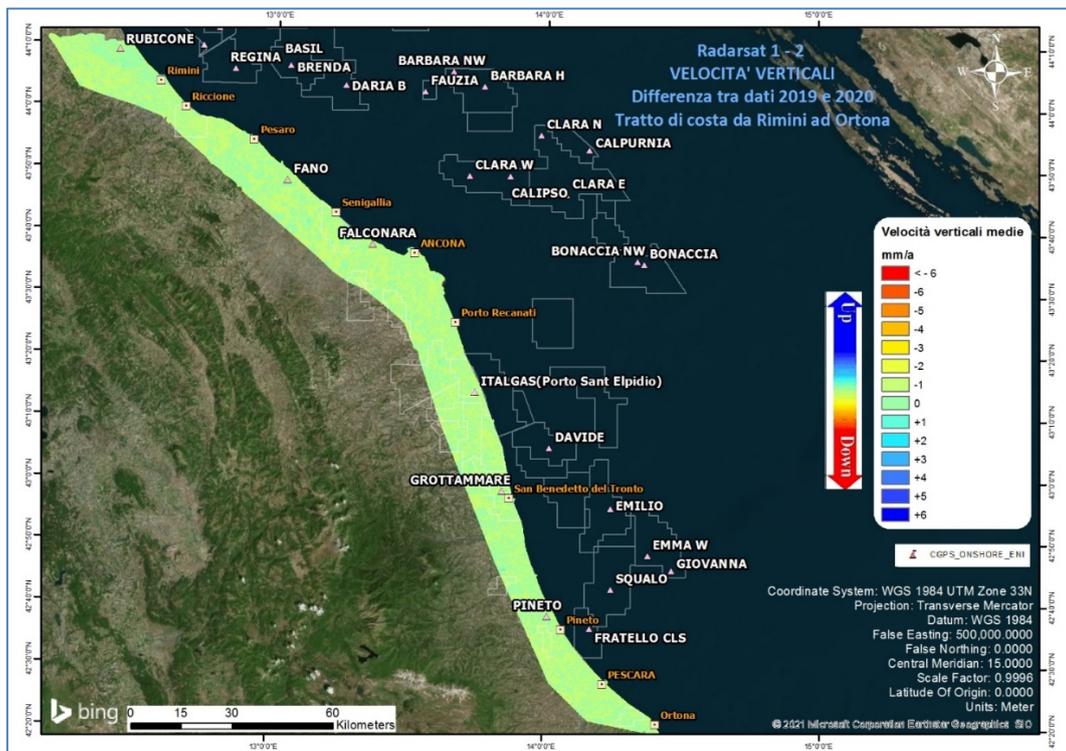


Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2019 e il 2003-2020, utilizzando il Tool Math-Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 39 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Confronto dati SAR vs Livellazione

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

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

In particolare, queste ultime sono così riferibili:

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

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

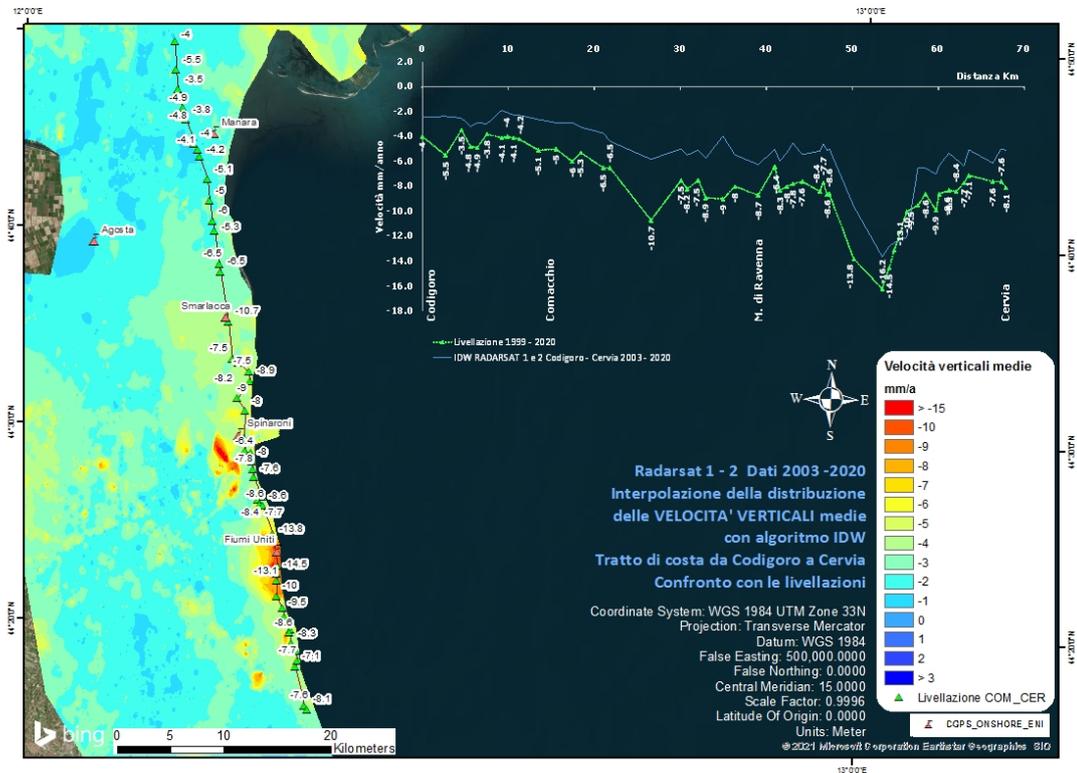


Fig. 6 – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Codigoro – Cervia.

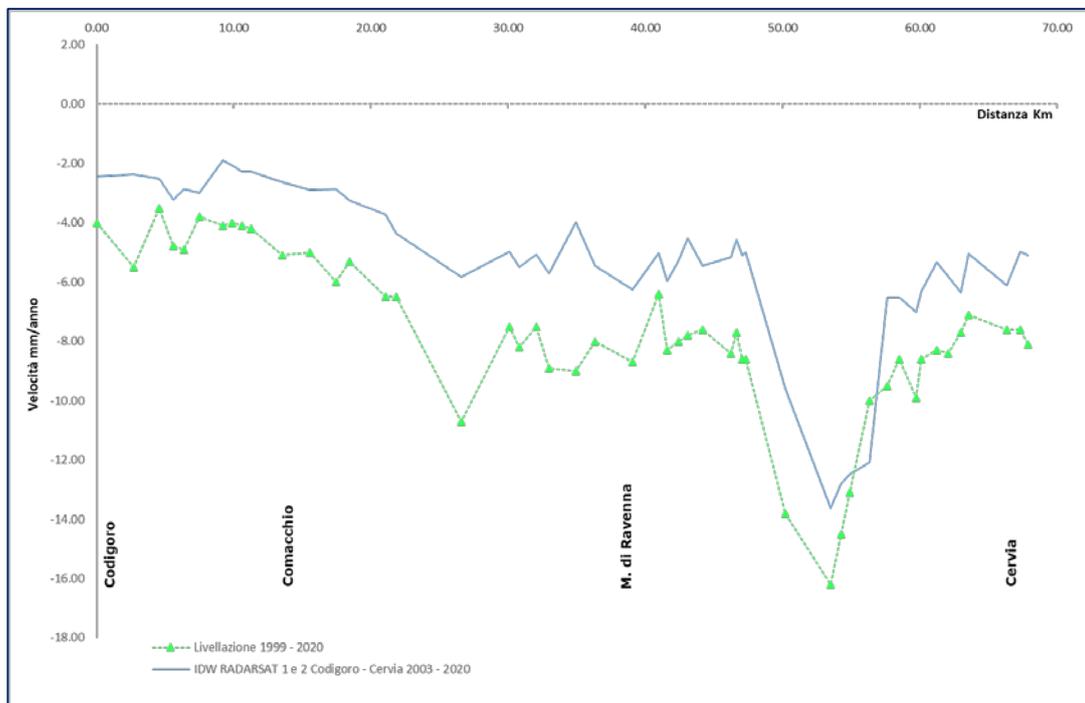


Fig. 7 – Dettaglio del grafico confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Codigoro–Cervia.

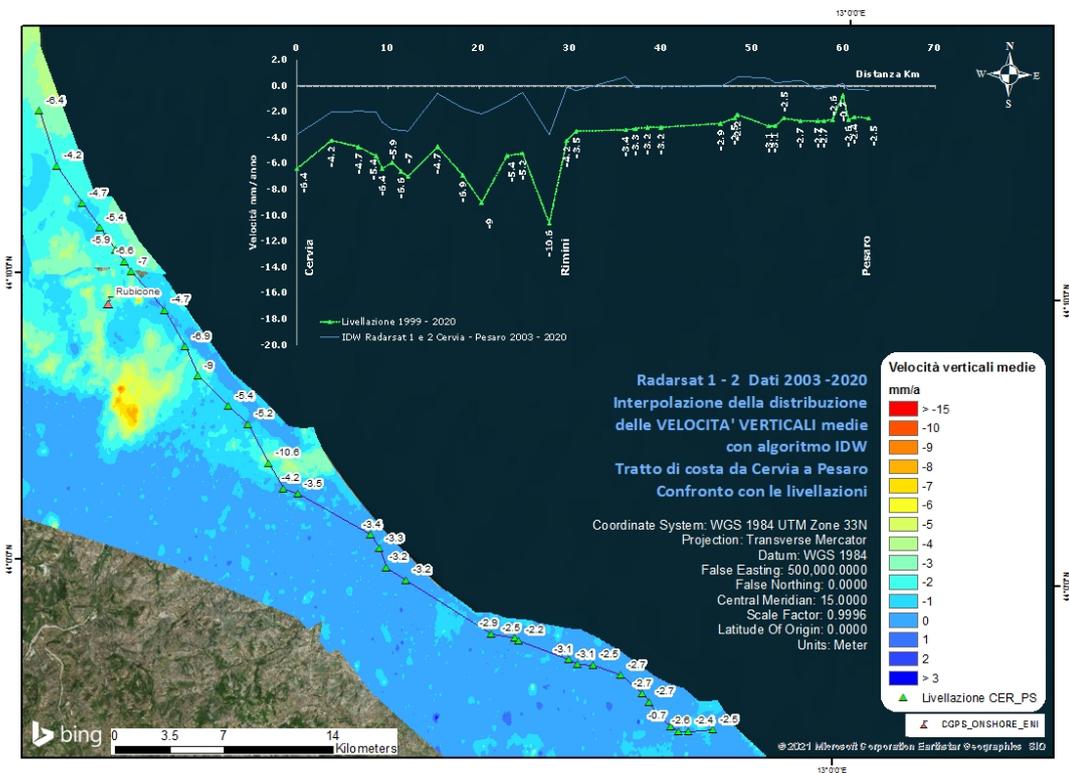


Fig. 8 – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Cervia-Pesaro.

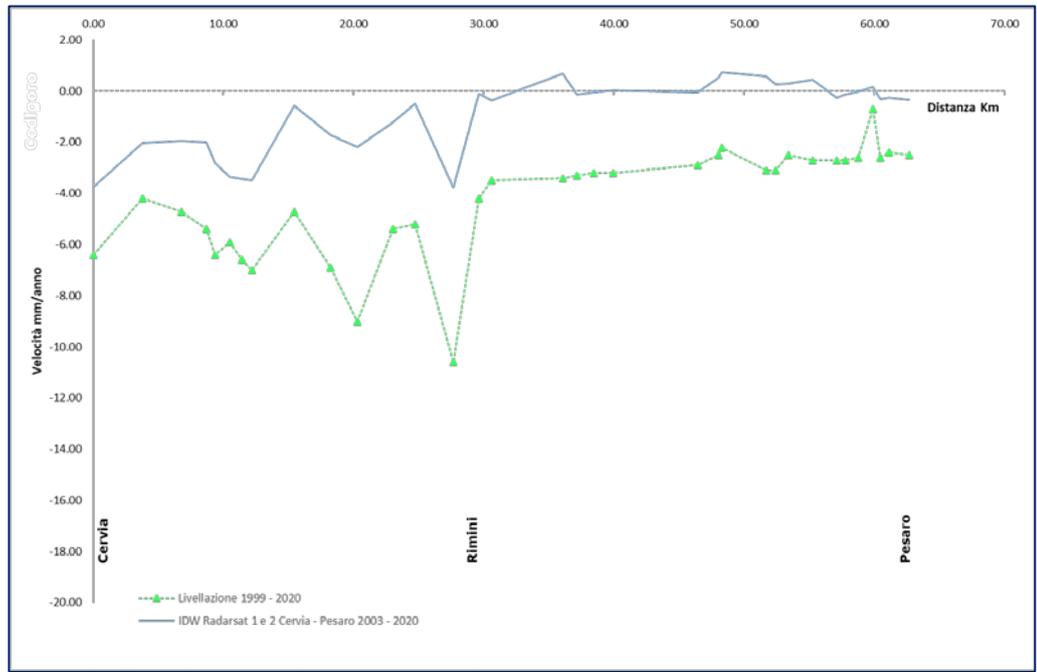


Fig. 9 – Dettaglio del grafico confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Cervia-Pesaro. Non si notano anomalie; i due metodi descrivono lo stesso andamento.

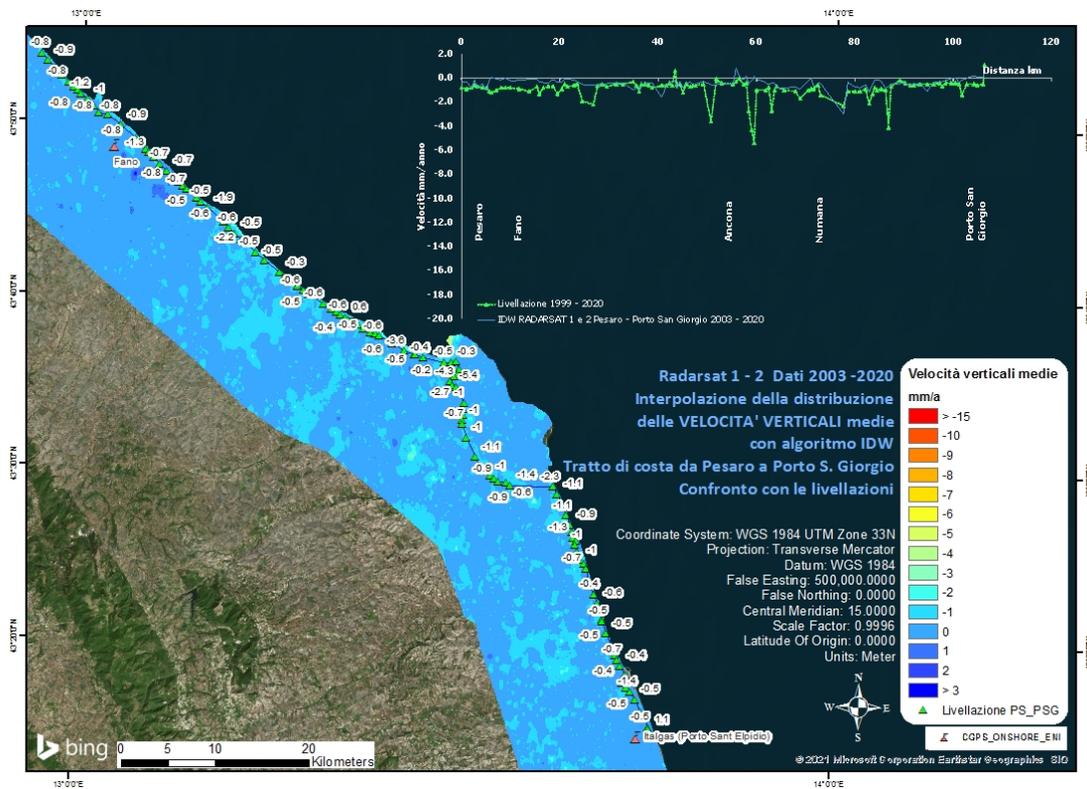


Fig. 10 – Confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Pesaro-Porto San Giorgio.

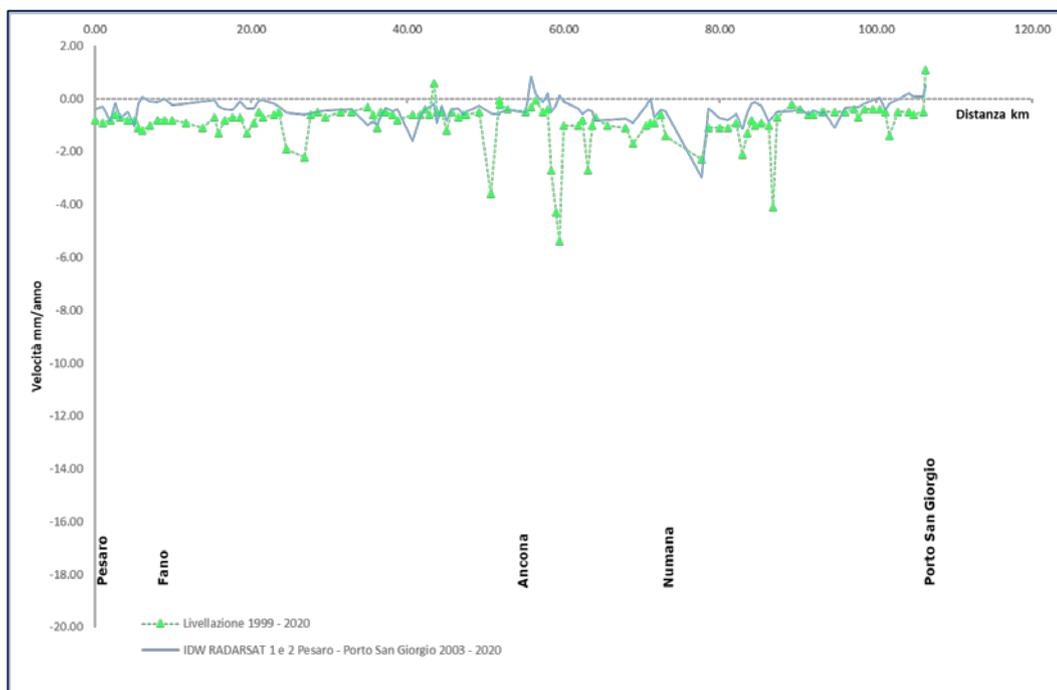


Fig. 11 – Dettaglio del grafico confronto tra il database Radarsat 1-2 per il periodo 2003-2020 e le livellazioni del periodo 1999-2020, lungo il tratto Pesaro-Porto San Giorgio. I due metodi descrivono lo stesso andamento.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 43 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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

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

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 44 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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 "casisaldi radar", concettualmente analoga ad una rete di stazioni GPS (Global Positioning System) permanente. La loro densità su scala regionale è però ordini di grandezza superiore a quanto ottenibile con reti geodetiche convenzionali, fornendo un quadro d'insieme a costi decisamente più bassi rispetto a queste, dato che il sensore rileva punti di misura che non richiedono alcun intervento di installazione e manutenzione trovandosi già sul terreno.

Appendice B: Stazioni *EPSU* lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento a dicembre 2020

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

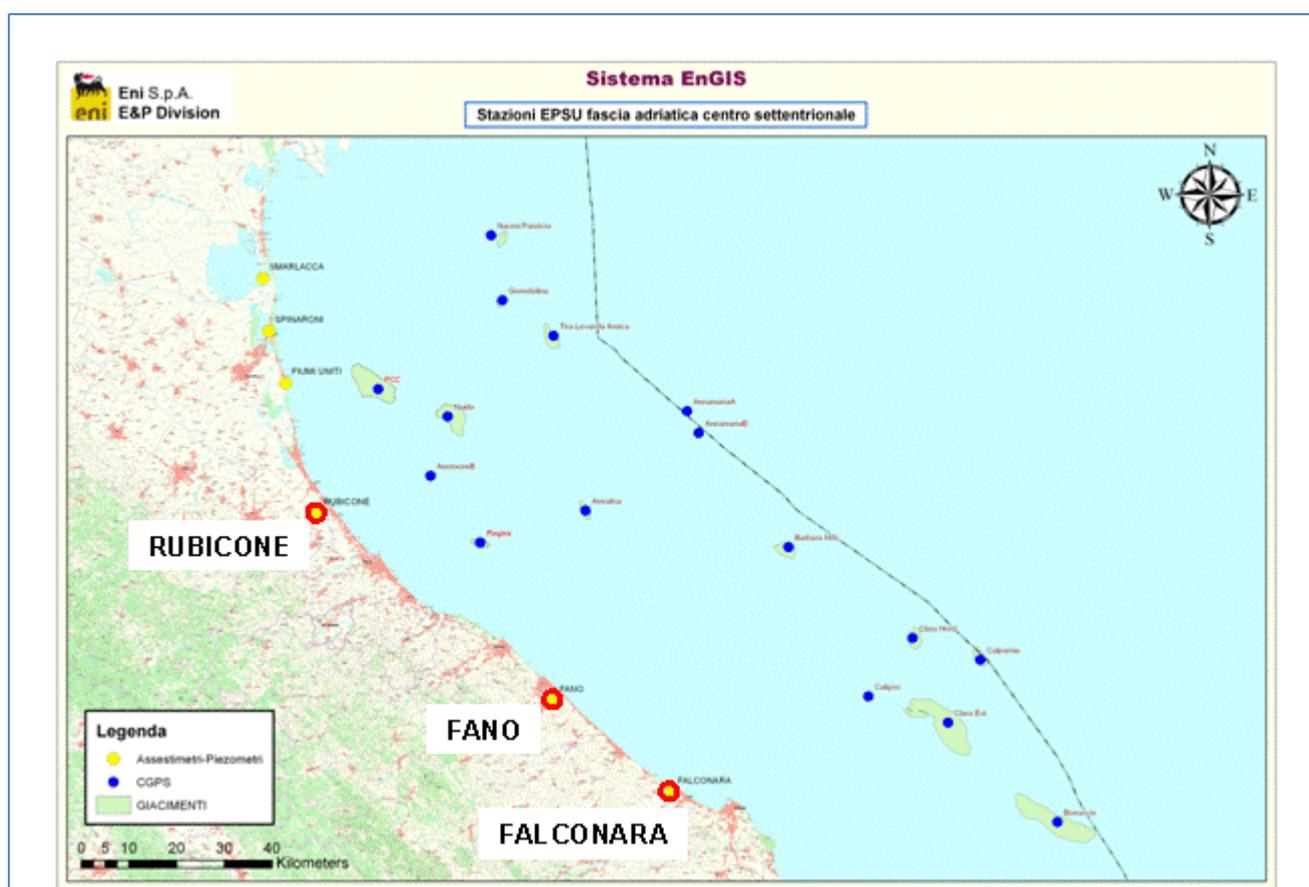


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

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

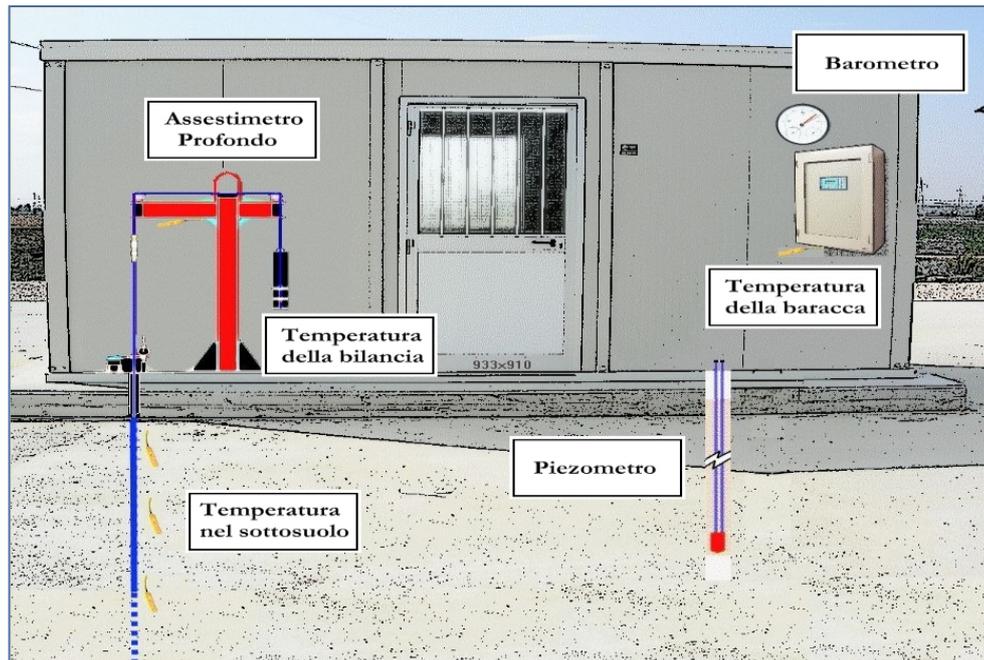


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 47 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata gennaio 2009)

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

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

Strumentazione:

- assestimetro - quota bottom: 320 m da p.c.
- piezometro singolo - quota cella: 178 m da p.c.
- piezometro doppio - quota celle: 146 e 70 m da p.c.

La strumentazione messa in opera nella stazione è illustrata schematicamente nella Figura 3B e Figura 4B, mentre la Figura 5B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzo assestimetrico e dalle 2 verticali piezometriche. La raccolta dati è iniziata l'8 aprile 2009. A tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" dei sensori di misura.

I dati sono stati acquisiti con regolarità secondo la seguente frequenza:

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

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

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 48 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati integri e affidabili per restituzione dei dati. A giugno 2018 è stato sostituito un trasduttore di pressione del piezometro a 178m.

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

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

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano campagna (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (320 m da p.c.).

Nei grafici allegati (Figura 6B) sono riportati per un confronto sia i dati assestimetrici sia quelli piezometrici; nello stesso grafico è riportato anche l'andamento della pressione atmosferica, i cui dati sono stati utilizzati per depurare i valori delle quote piezometriche. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero").

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

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

Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestimetro si correla molto bene con le variazioni di livello dell'acqua nelle tre falde monitorate dai piezometri rispettivamente a 70 m, 146 m e 178 m di profondità. Per tutto il periodo osservato si nota, infatti, un ritardo medio di circa 1÷1.5 mesi nella espansione/compattazione del terreno rispetto all'escursione massima (marzo/aprile) e

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 49 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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

Nella stessa area della stazione assestometrica è installata anche una postazione CGPS. Ciò ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento totale del suolo rilevata dai dati CGPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestometriche (Figura 9B). Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012. La velocità media annua, calcolata con regressione lineare, della serie storica di misure CGPS è di -2.75 mm/a, abbastanza prossima a quella ottenuta, in modo analogo, dalle misure assestometriche, che è pari a -2.8 mm/a (Figure 6B e 7B)

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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

Nei grafici dei piezometri (Figura 6B) l'ordinata è la quota piezometrica (m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna. Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica. Nella Figura 7B è stata eliminata l'informazione della pressione barometrica e si può meglio apprezzare l'elevata correlazione tra le pulsazioni del terreno, registrate dall'assestometro, e la dinamica annuale delle falde freatiche, che sembra essere l'unica responsabile della subsidenza totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestometro.

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate

dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1). Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento. Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014 e si può osservare dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua.

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

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

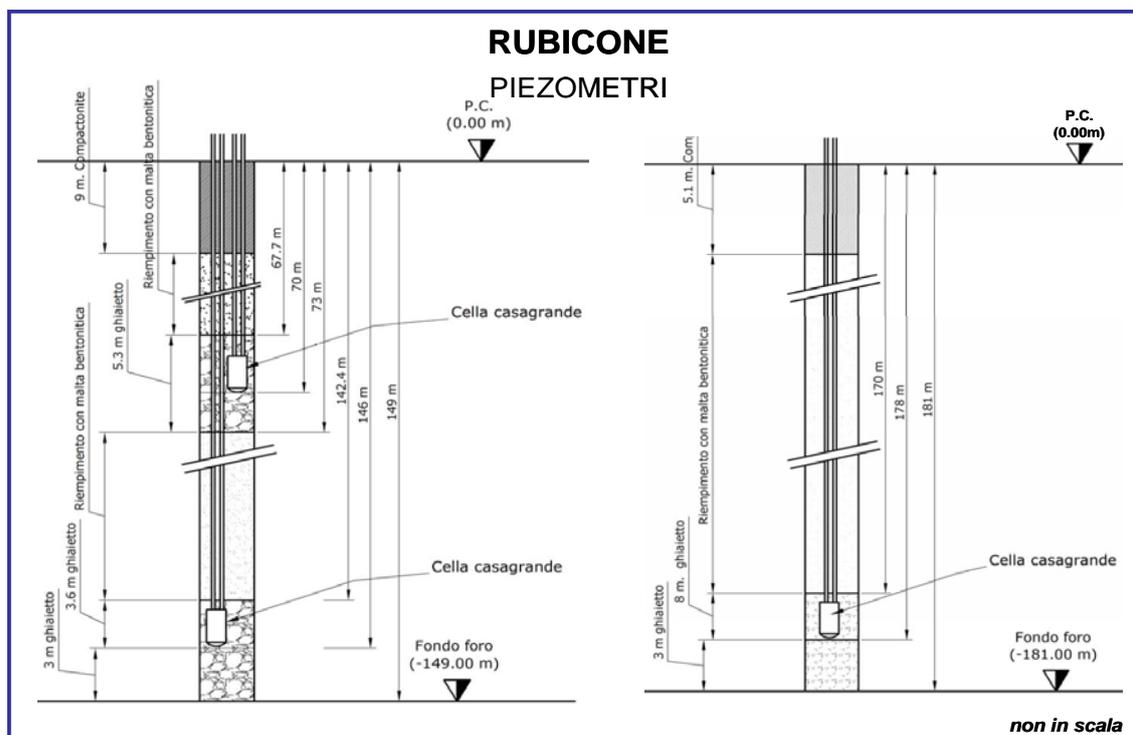


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

RUBICONE ASSESTIMETRO

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

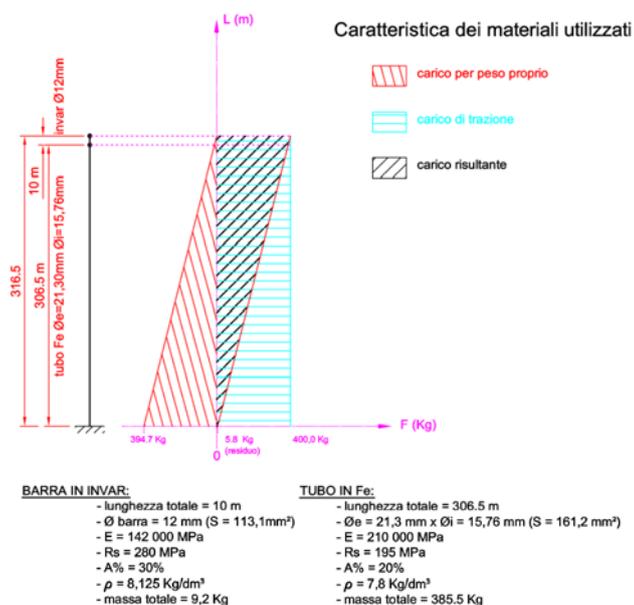


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

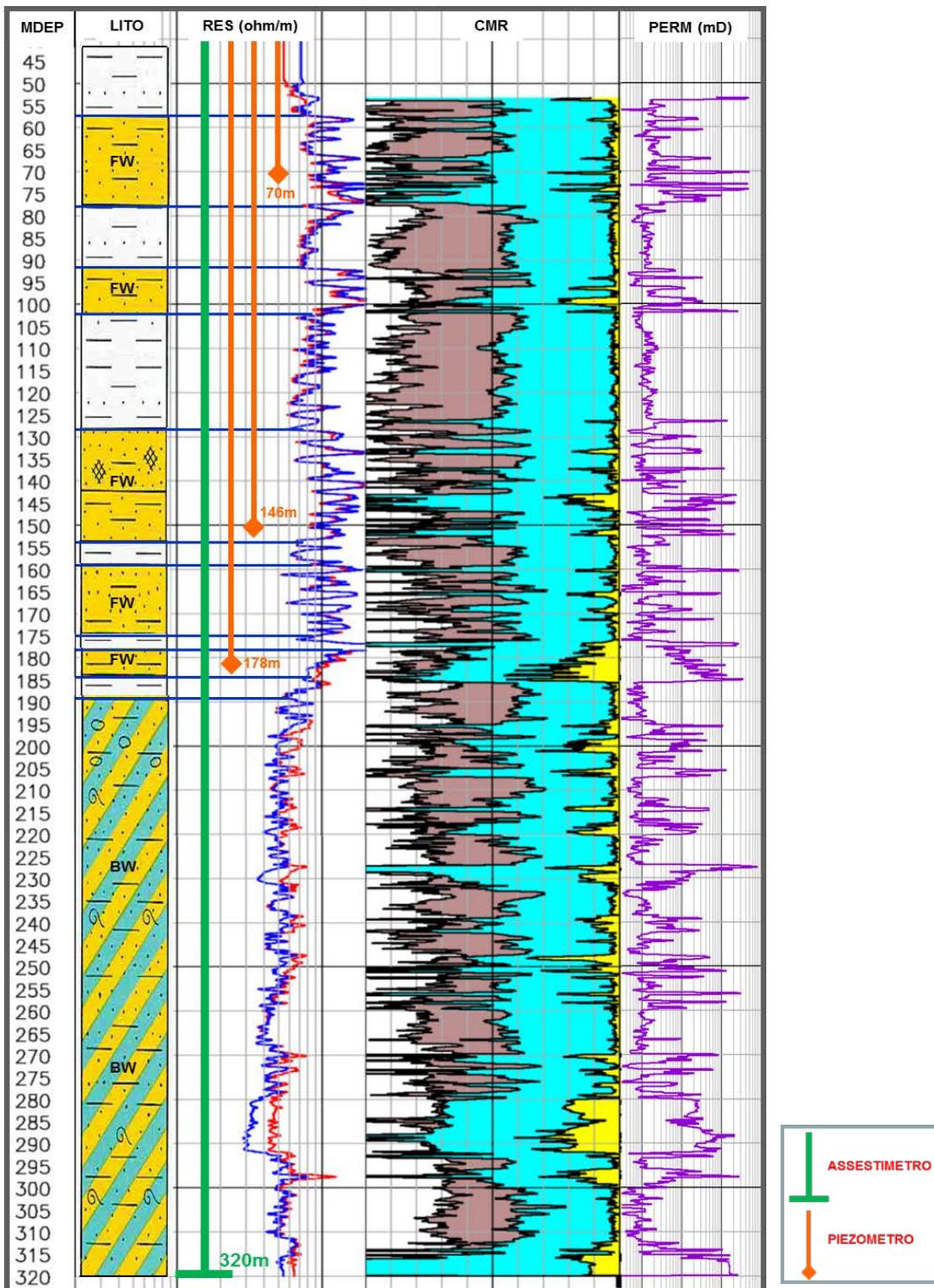


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone

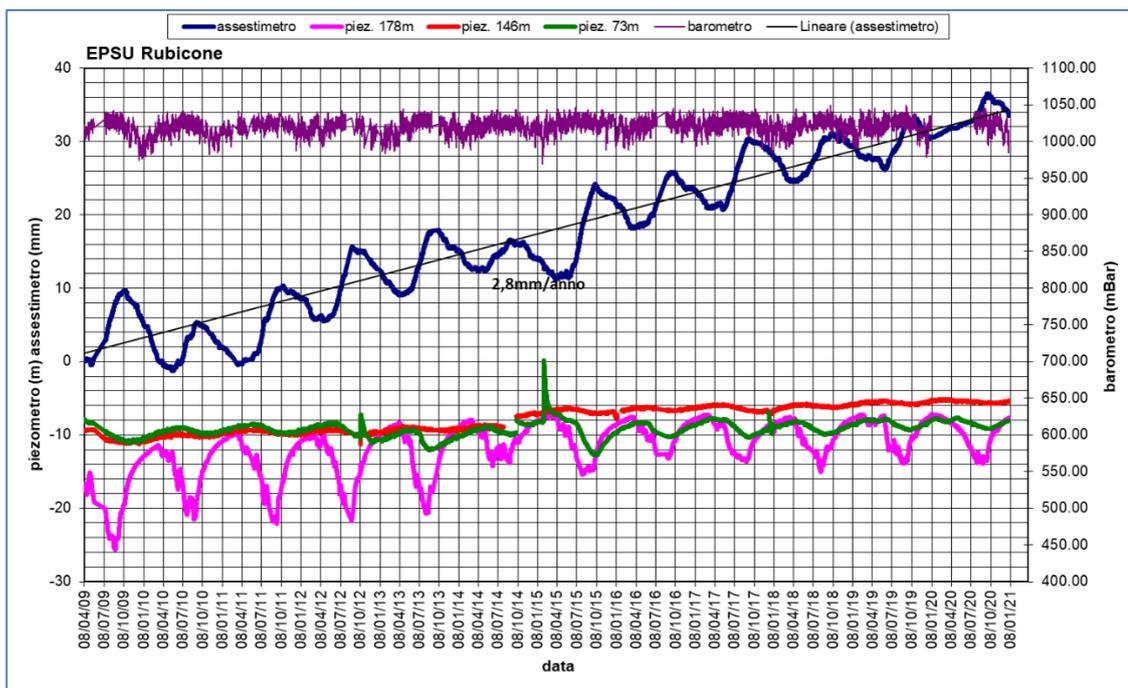


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestmetriche e barometriche

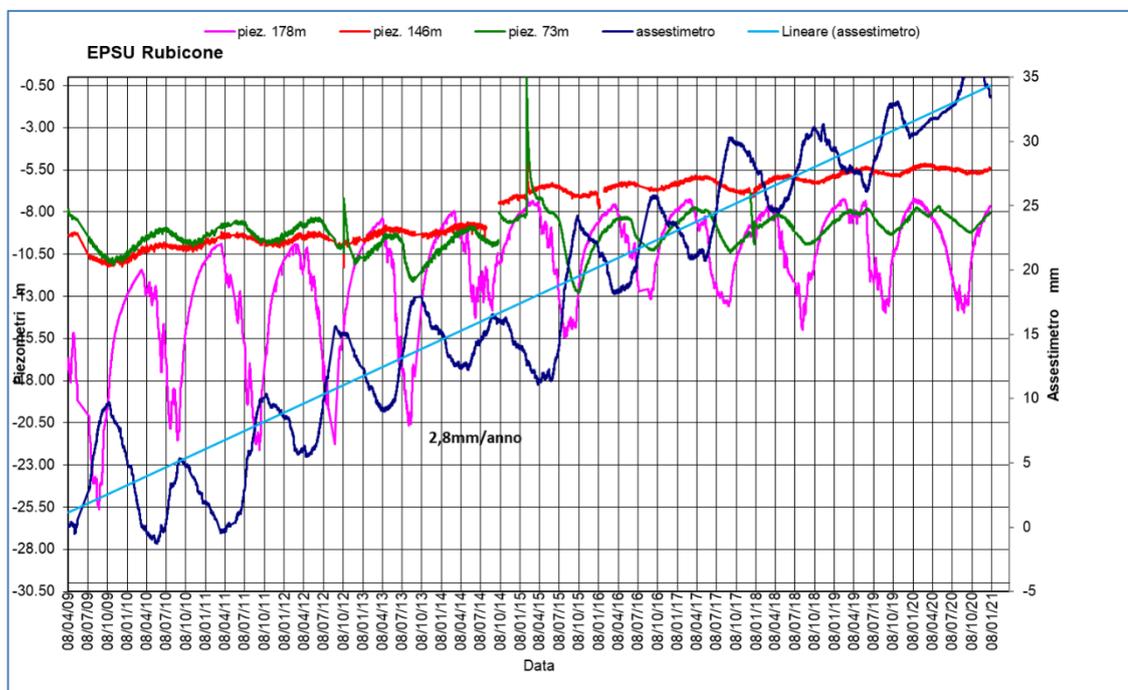


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche e assestmetriche.

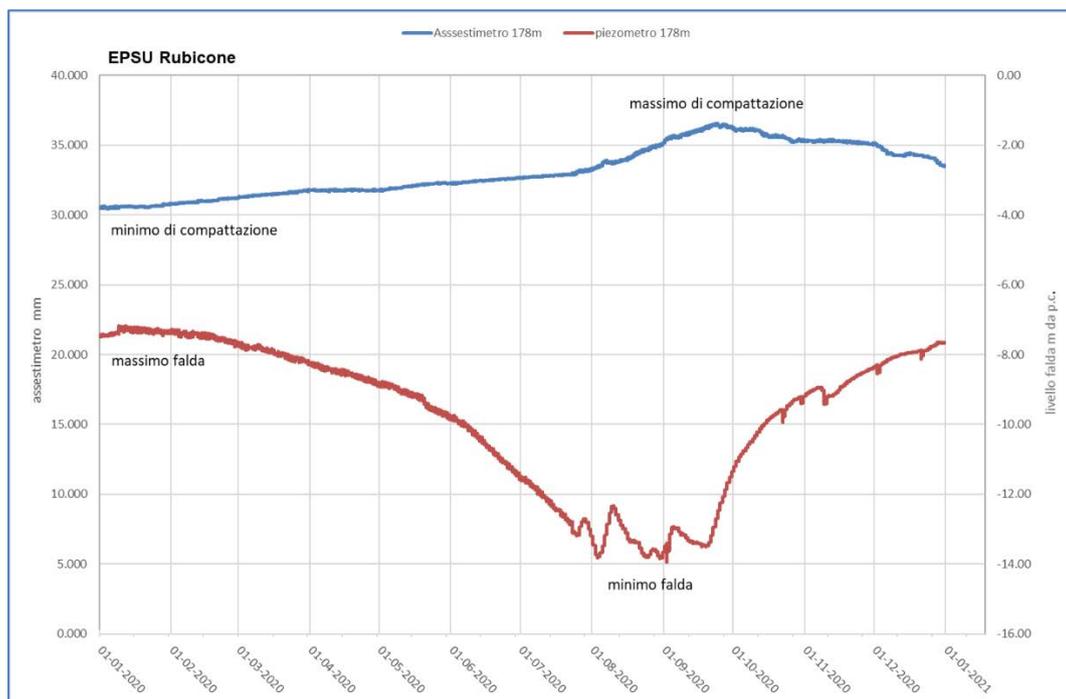


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimentriche, ultimo anno di dati

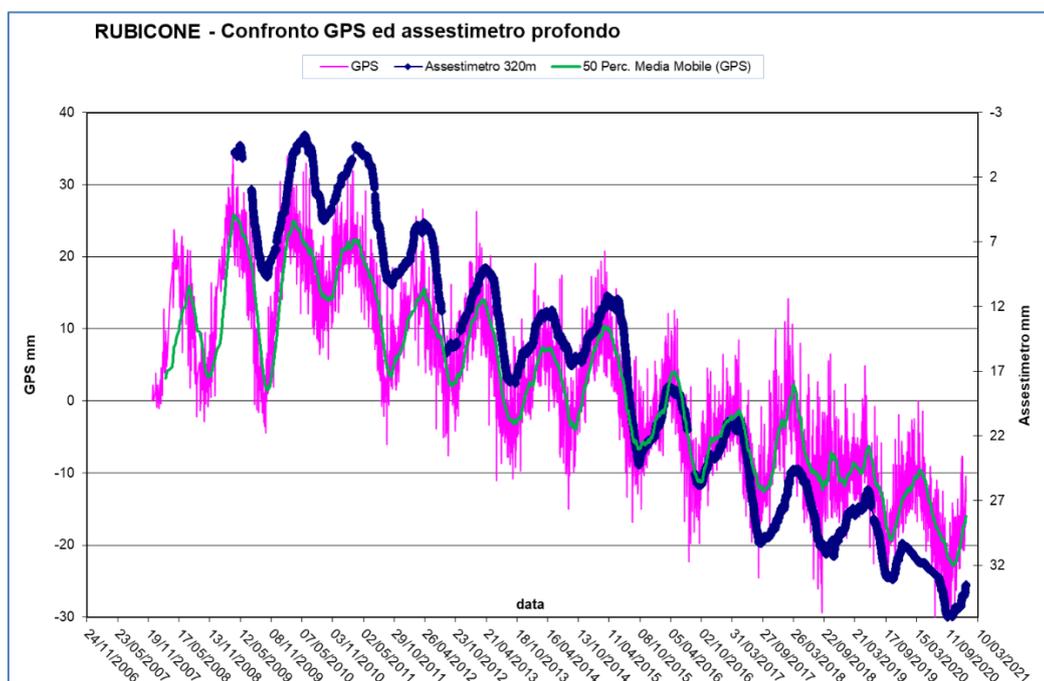


Figura 9B - Stazione EPSU di Rubicone: confronto misure CGPS vs. misure assestimentriche

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 55 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Stazione EPSU di FANO (installata luglio 2008)

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

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

Strumentazione:

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

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

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

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

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

Nel periodo monitorato (10/2008 - 12/2020) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati, per tutto il 2020 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

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

Analisi dei dati assestimetrici

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

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 56 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

assestimetrici, nello stesso grafico è presente anche l'andamento della pressione atmosferica. I dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi (diminuzione dei valori) un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Sin dall'inizio della sua installazione, lo strumento non ha mai fatto registrare significative variazioni di spessore (compattazioni o espansioni) della porzione di terreno monitorato.

Le escursioni cicliche stagionali, infatti, sono dell'ordine di ± 1 mm, con una punta massima di compattazione di circa 1.5 mm registrata all'inizio del 2012.

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

Nel corso del 2020 (Figura 13B) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.91) a inizio anno è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva (metà luglio/inizio agosto), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (compattazione) nel periodo autunno-invernale.

Alla fine del 2020 l'assestometro registra, quindi di nuovo, una compattazione di ca. 1 mm (0.96) con, una compattazione complessiva totale nell'anno nulla (Figura 13B).

Se si prendono in esame tutte le misure assestimetriche, registrate nei 12 anni e poco più (12.21) di osservazioni in questa stazione, queste ultime mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva pressoché nulla (-0.007 mm/anno da regressione lineare sui dati assestimetrici Fig.12B), a parte le variazioni cicliche stagionali.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione *EPSU*. Le misure CGPS danno, infatti, la superficie del suolo stabile, con velocità media di ca. 0.06 mm/a.

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 57 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestimetrica mostra una correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta, però, sfasata rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 12B e Figura 13B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 11B) al variare della piezometria della colonna d'acqua sovrastante. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico. La curva dei dati CGPS, come sopra evidenziato, mostra un'analogia componente stagionale con uno sfasamento rispetto ai dati assestimetrici (Figura 14B). È bene osservare, però, che si tratta di movimenti del suolo di bassissima entità, per cui si è al limite del potere risolutivo delle due tecniche di misura.

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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

L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna del piezometro Casa-grande, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 7 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento.

L'ultimo controllo generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stato per il 2020, come già detto sopra, effettuato il 22 luglio.

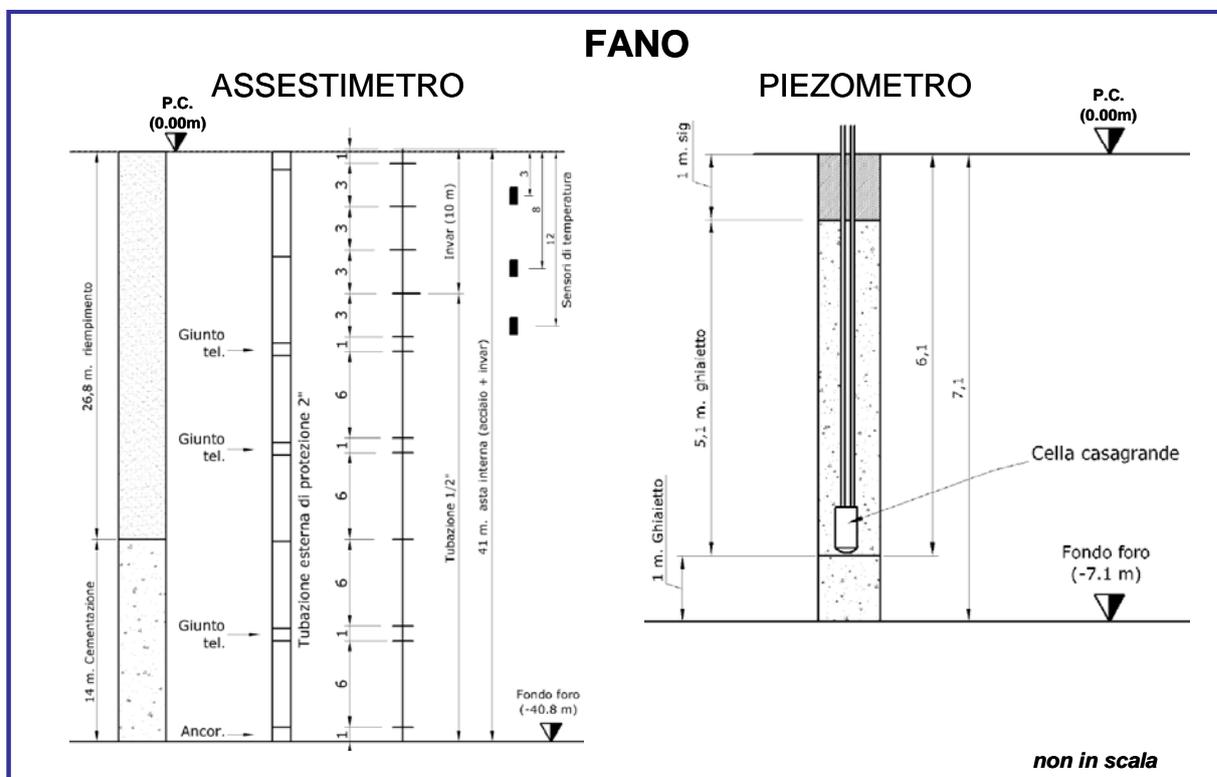


Figura 10B - Stazione EPSU di Fano

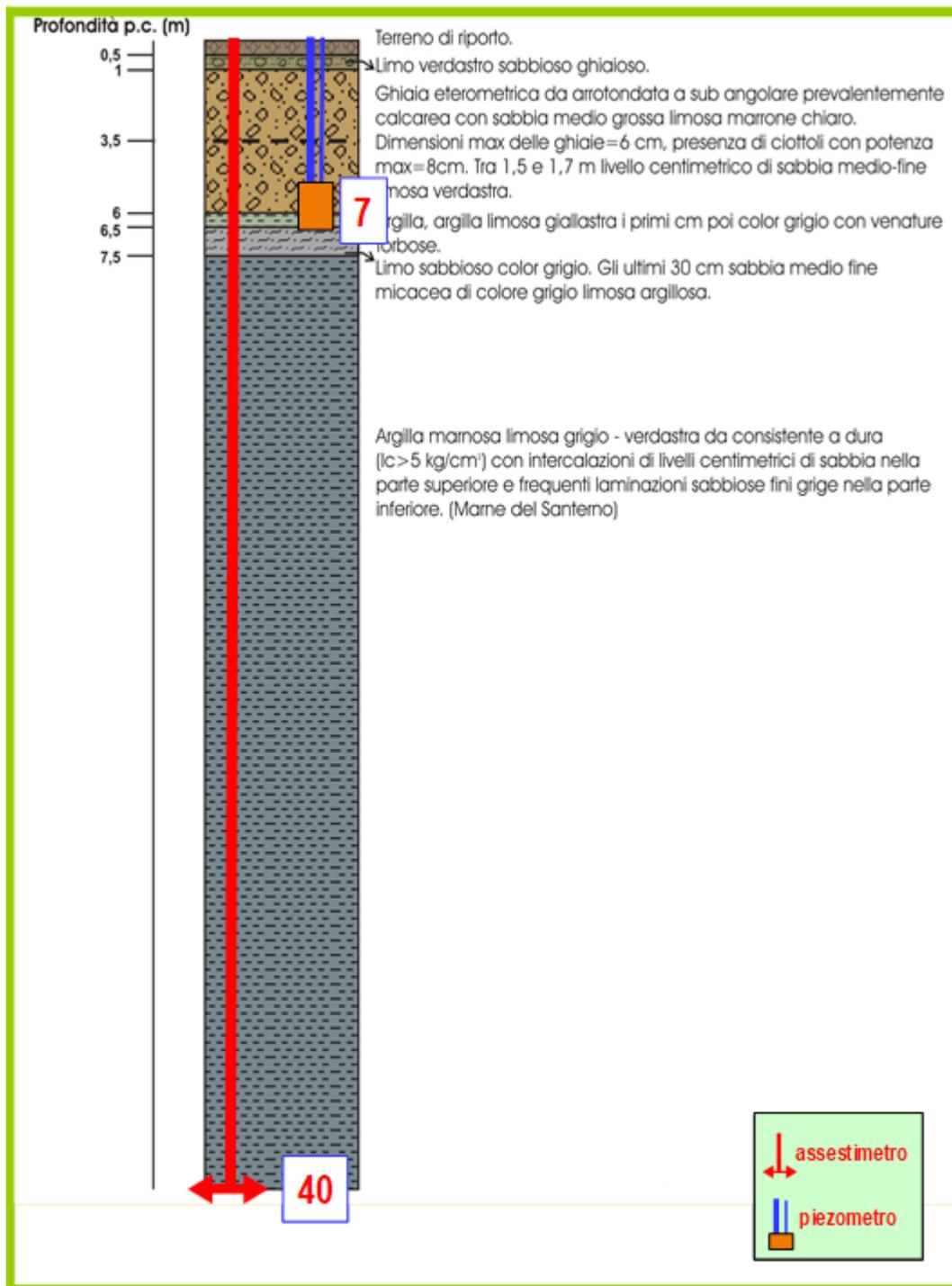


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

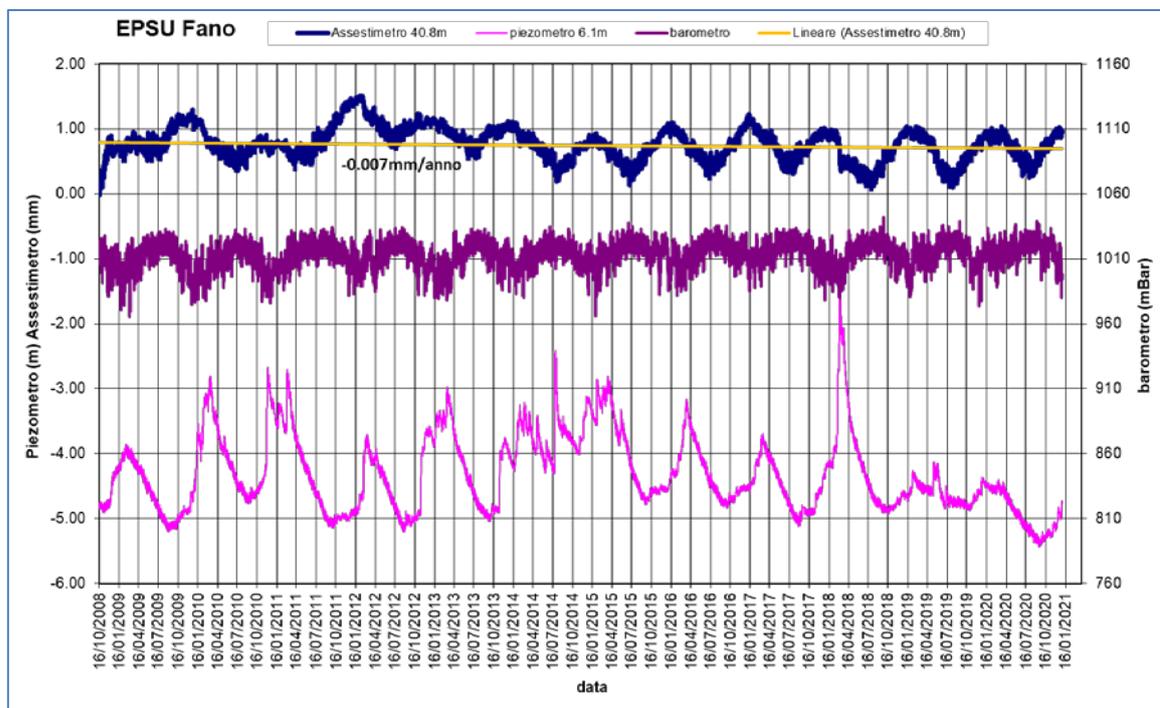


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

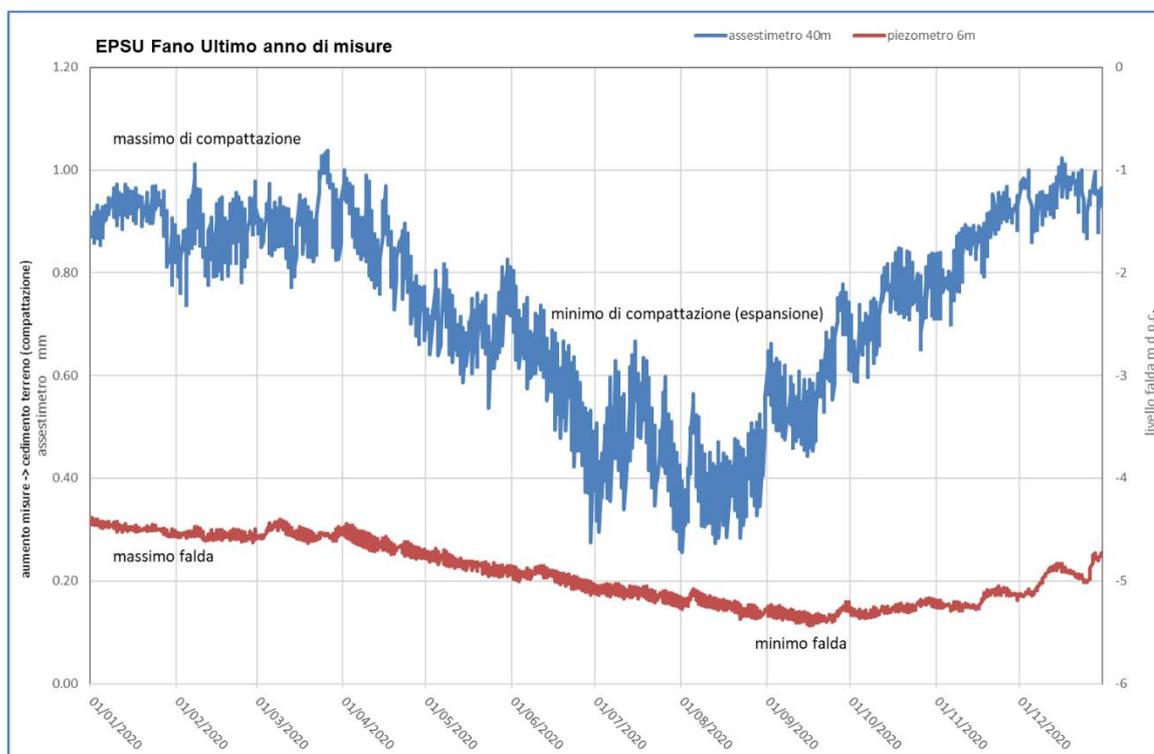


Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

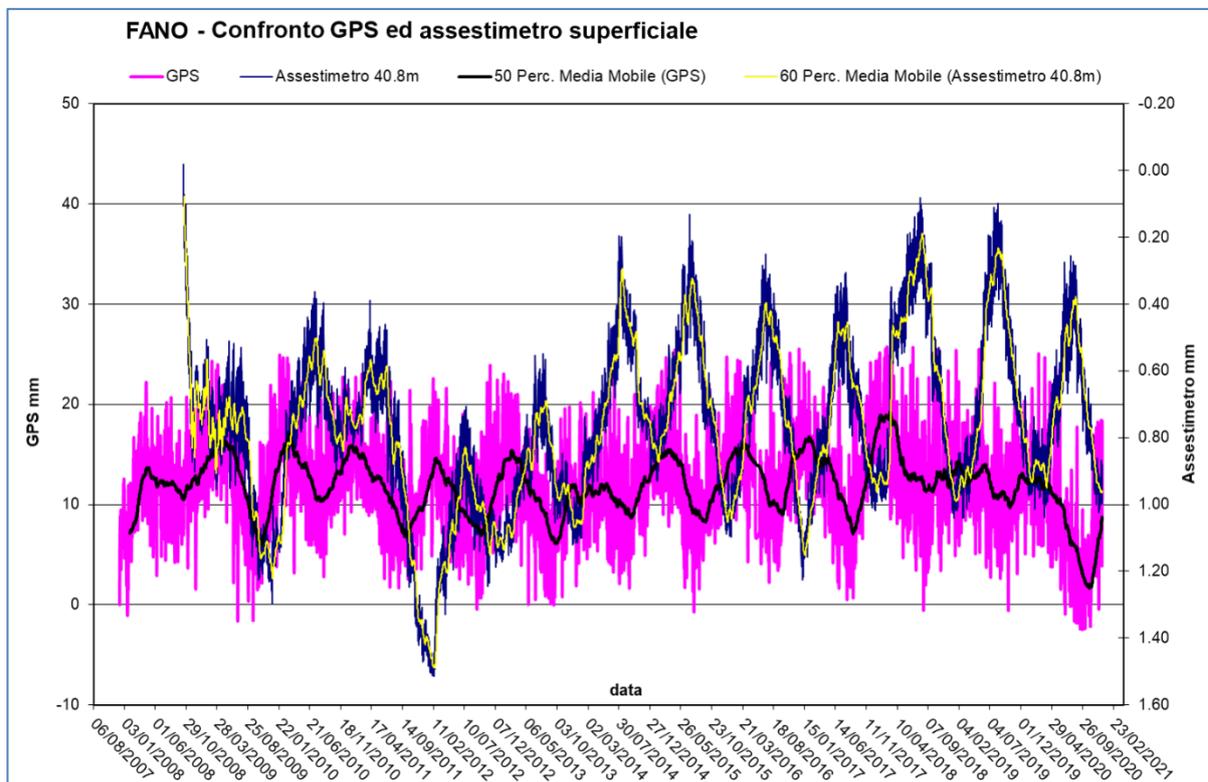


Figura 14B - Stazione EPSU di Fano: confronto fra misure CGPS vs. misure assestimetriche

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 62 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata luglio 2008)

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

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

Strumentazione:

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

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

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

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

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

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

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

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 63 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Analisi dei dati assestimetrici

L'assestometro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra il piano di campagna (p.c.) e il punto più profondo d'ancoraggio dello strumento (40.3 m da p.c.).

Nei grafici allegati sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici e della pressione atmosferica (Figura 17B). I dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e.: espansione) degli strati di terreno monitorati. Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio stagionale molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua, a 22m di profondità, registrate dal piezometro nell'ultimo anno (Figura 18B).

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

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. La correlazione però è stata effettuata praticamente solo con i dati sino al 2019; infatti la stazione, a causa di un guasto, nel 2020 ha funzionato solo sino al mese di gennaio, e a causa della situazione pandemica da COVID19 non è stato possibile ripristinarla nel corso di tutto il 2020.

Comunque, considerando il dato molto esiguo a disposizione nel 2020, per quanto riguarda il loro confronto si può ribadire quanto già emerso per gli anni precedenti: la correlazione tra le due curve, assestimetrica e CGPS (Figura 19B), è estremamente elevata, il loro sfasamento temporale è pressoché nullo e le "pulsazioni" (espansioni e compattazioni) del terreno (tutte di piccolissima entità) sono correlate alle variazioni di livello della falda acquifera. La velocità media annua calcolata con regressione lineare dei dati CGPS risulta pari a -0.3 mm/a (ovvero leggerissimo abbassamento della superficie del suolo).

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 64 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

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

Analisi dei dati piezometrici

Il grafico di Figura 17B oltre ai dati assestimetrici riporta in ordinate sia la quota piezometrica (in m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, sia il valore della pressione barometrica, utilizzato anche per correggere le piezometrie.

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

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

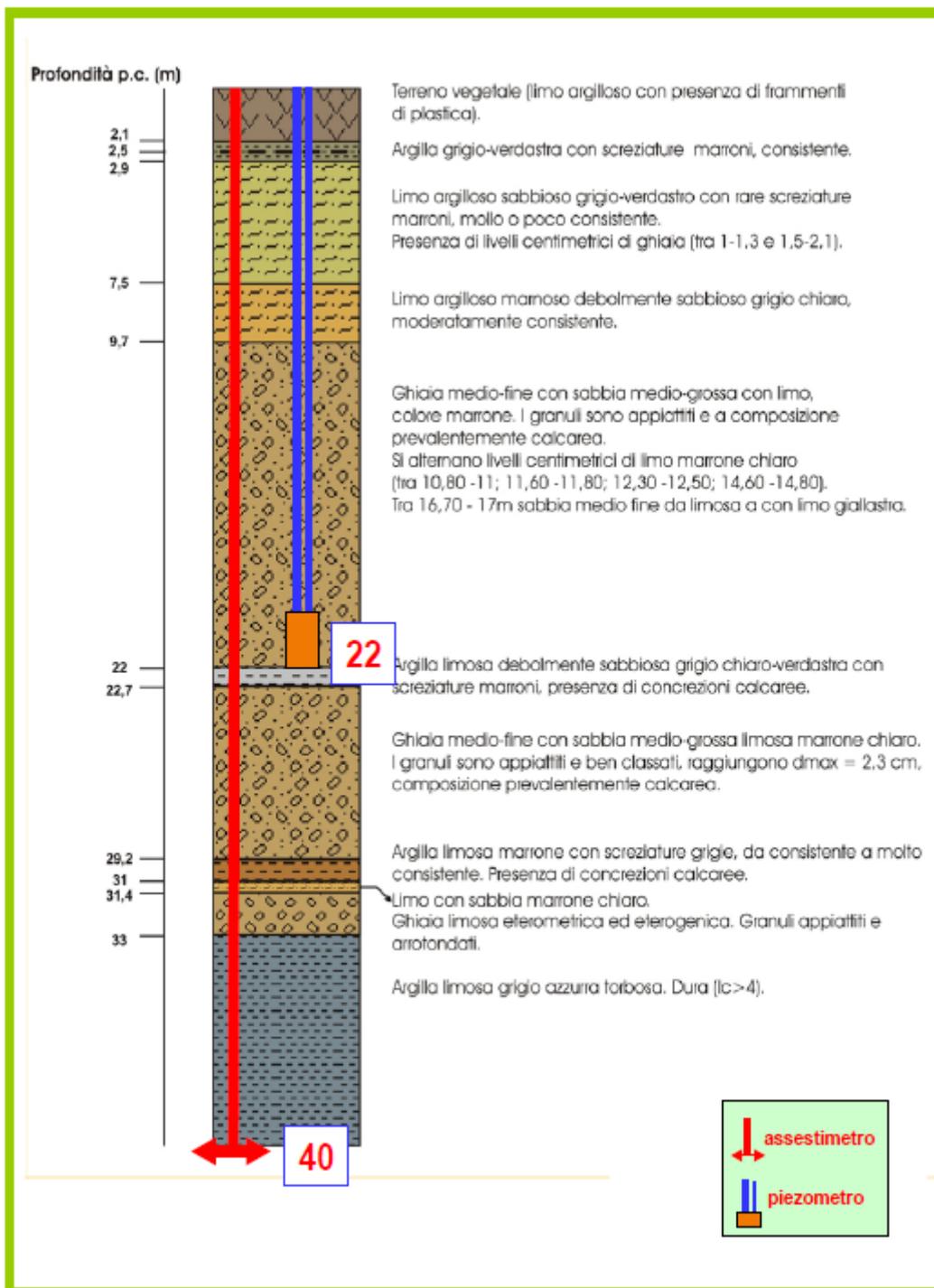


Figura 16B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

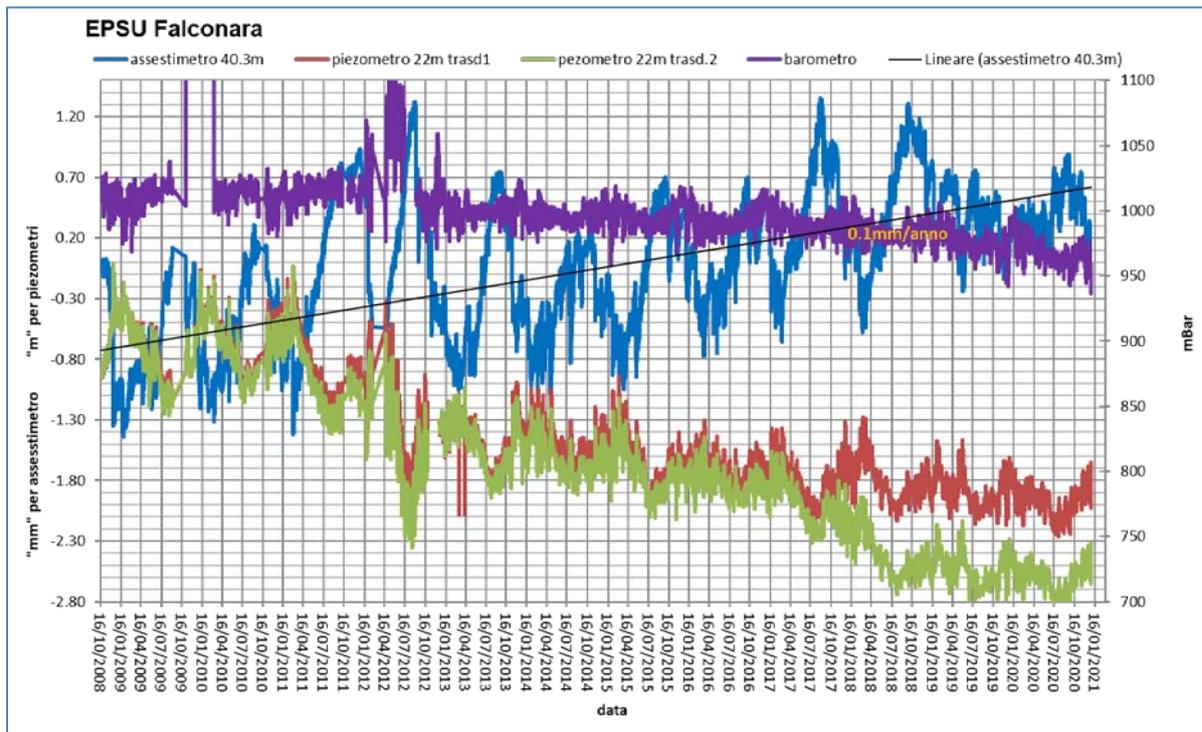


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

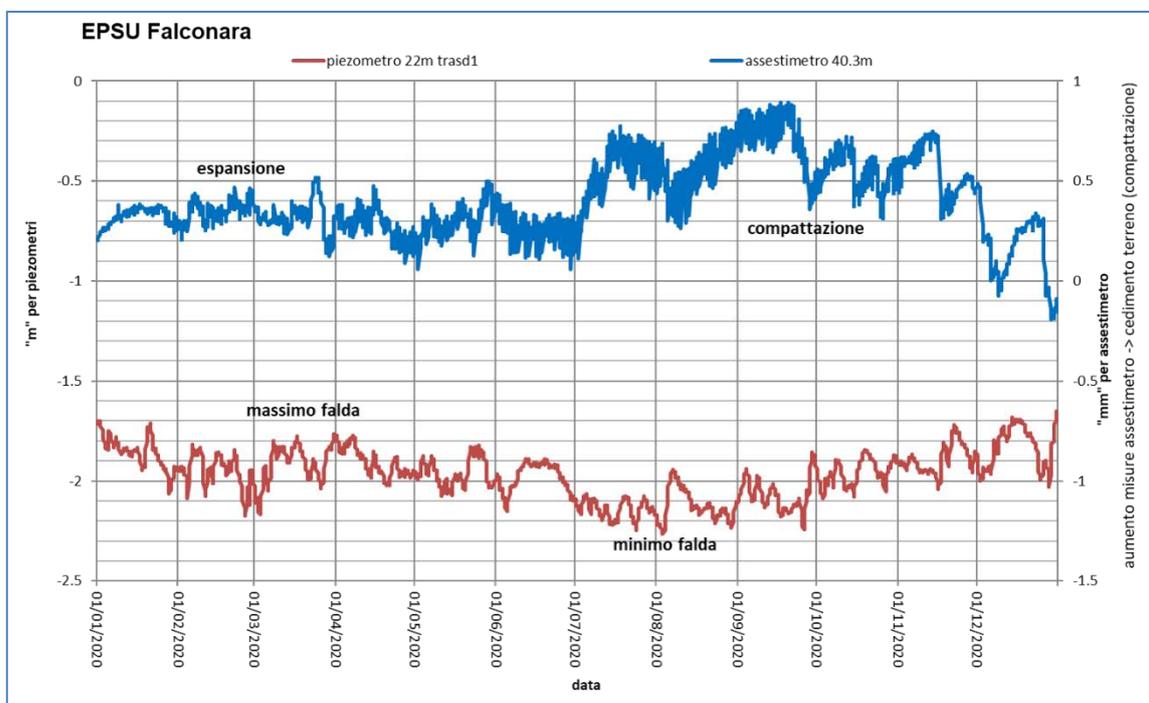


Figura 18B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

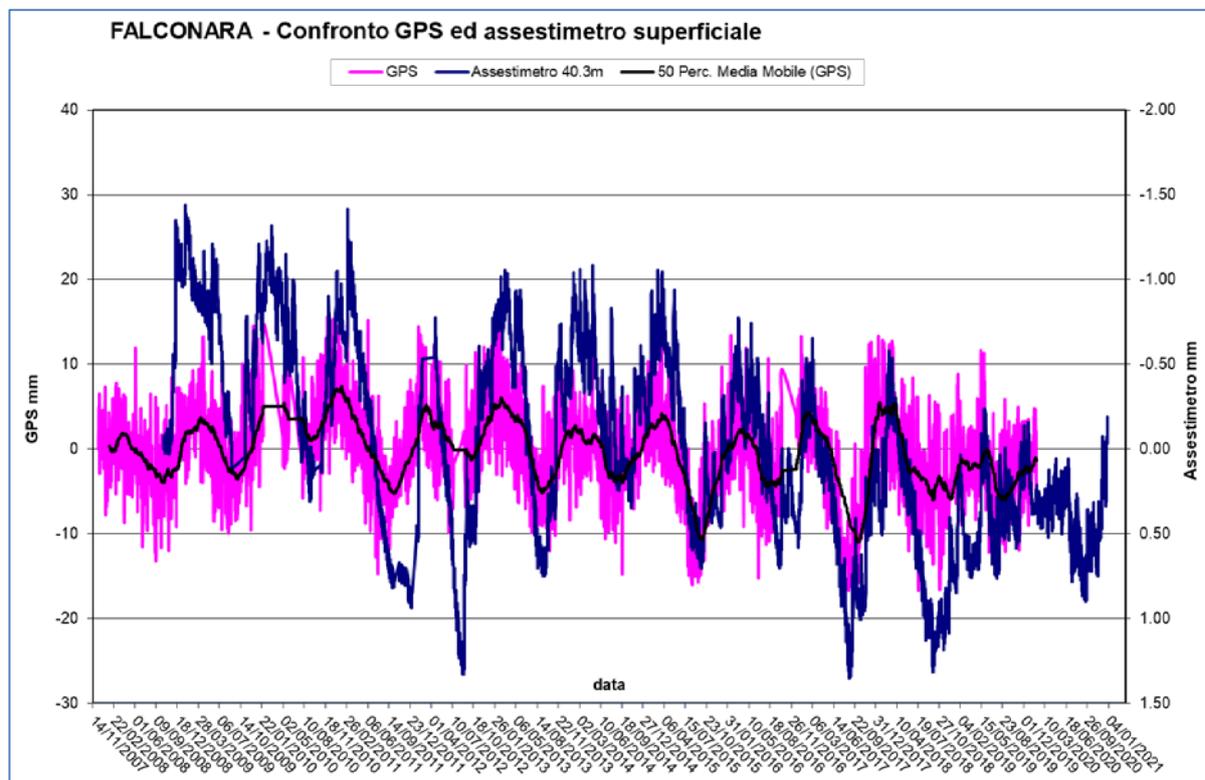


Figura 19B - Stazione EPSU di Falconara: confronto misure CGPS vs. misure assestimetriche

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

 Eni spa	Campo di BONACCIA novembre 2021	Documento GEODCS_REL2021_BONE-W	Page - 69 - of 70
--	------------------------------------	------------------------------------	-------------------

Conclusioni

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

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

Anche nel caso di Rubicone c'è un'ottima correlazione tra i cicli stagionali di compattazione/espansione del terreno monitorati dall'assestimetro e le corrispondenti variazioni di livello delle tre falde registrate dai piezometri. Le compattazioni massime (contrazioni del terreno), infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno dopo circa 1 / 1.5 mesi dai minimi livelli di falda; le espansioni massime si verificano, invece, mediamente verso aprile/maggio di ogni anno e a loro volta sono in buona correlazione con i livelli piezometrici massimi delle stesse falde avvenuti nei mesi precedenti. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo di quelli installati nelle 3 *EPSU*, è anche quello che registra nel tempo un aumento progressivo della compattazione del terreno monitorato (spessore 320 m). Lo strumento a dicembre 2020, dopo 11.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 33.5 mm, che con un semplice calcolo equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 2.8 mm/a. Tale valore resta uguale, circa 2.8 mm/a, se si elaborano i dati delle misure assestimetriche con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato all'interno di uno strato argilloso spesso circa 32 m e scarsamente comprimibile, lo strumento, infatti, nei circa 12 e più anni (12.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.96mm). A tale spessore di litologia argillosa si potrebbero imputare i ritardi nella compattazione espansione del terreno rispetto all'escursione della falda freatica monitorata.

La tabella che segue riporta, per ciascuna stazione, la compattazione complessiva del terreno al 31/12/2020 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2020 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. Questo procedimento potrebbe pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici. Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di compattazione del terreno (valori piccolissimi). In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento compl. (mm)	Velocità (mm/a)
Rubicone	11.73	33.5	2.85	n.i.	-
Fano	12.21	n.i.	-	0.96	n.v.
Falconara	12.21	n.i.	-	0.11	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile