Campo di CLARA EST- CLARA NW

Aggiornamento al 31/12/21

Il campo di Clara Est è ubicato nell'offshore Adriatico circa 45 km al largo di Ancona a una profondità d'acqua di circa 75 m, nella concessione B.C13.AS evidenziata in Figura 1.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
B.C13.AS	27/05/2025	Eni	Eni	51%	Marche
			Energean Italy	49%	

Il giacimento è costituito da un'anticlinale pleistocenica, con asse orientato NW-SE e si estende per circa 70 km^2. La serie mineralizzata è compresa tra 750 m e 1200 m slm e interessa i livelli della serie PLQ della Formazione Carola (Figura 2). Il campo di Clara Est è stato scoperto nel 1968 con la perforazione dal pozzo Clara Est 1; dal 1972 al 1996 sono stati perforati i pozzi Clara Est 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 per delimitare la struttura. Nell'ottobre 1998 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Clara Est con la perforazione di 4 pozzi e la posa del relativo *sealine* di collegamento. Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse*) del maggio 1998. Tale profilo stimava un recupero di 3120 MSm^3 di gas in 29 anni con un picco di produzione giornaliera di 1200 kSm^3/g. La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è risultata pari a 10 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 15 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 4.3 km verso la costa.

In seguito al Decreto VIA n° 4470 del 7/02/00 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo 1999-2000 si è sviluppato il campo con la perforazione di 4 nuovi pozzi (Clara Est 10, 11, 12 e 13) da una piattaforma di tipo BEAF. La produzione è stata poi avviata nell'ottobre 2000 con una portata iniziale di circa 840 kSm^3/g.

Nel maggio 2007 si è fatta una nuova revisione degli studi di giacimento (statico e dinamico) dei campi del *Clara Complex* (Clara Est, Clara Nord, Calpurnia) e di Calipso per valutare anche possibili fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra detti campi.

A tale proposito si è proceduto a:

- costruire un unico modello statico di giacimento per i 4 campi dell'area; modello che è stato esteso anche agli acquiferi idraulicamente connessi ai livelli produttivi;
- simulare il comportamento dinamico di tali campi con un unico modello *Eclipse* sia per calibrarne il modello statico, sia per tener conto di possibili interferenze dinamiche fra loro. Per la calibrazione si sono utilizzate le informazioni acquisite durante lo sviluppo e tutta la loro storia produttiva (aggiornata al 31/12/06).

Nel caso di Clara Est (rel. *Eni-INPE n° 066c-07 del maggio 2007*) tale revisione ha portato a una riduzione di circa il 10% del GOIP totale rispetto al volume inizialmente stimato (*GOIP studio statico del maggio 1988 pari a 5330 MSm^3, GOIP revisione studio statico del maggio 2007 pari a 4830 MSm^3).* Anche questo nuovo modello ha previsto una diminuzione delle riserve producibili a vita intera; il nuovo volume delle riserve, infatti, è risultato di 2193 MSm^3 al 2021, con un calo, quindi, di circa 30% rispetto alla stima iniziale del maggio 1998.

Le riduzioni delle riserve recuperabili a vita intera emersa dallo studio di giacimento del maggio 2007, consegue dalla riduzione del GOIP e dal fatto che, con la taratura del modello dinamico di giacimento, si è tenuto conto del reale comportamento produttivo dei pozzi, rivelatosi inferiore alle attese a causa della produzione d'acqua di formazione.

Nel 2011, nell'ambito di una rivalutazione complessiva dei campi del *Clara Complex*, di Calipso e della struttura di Elettra (ipotesi di sviluppo), si è nuovamente rivisto lo studio statico e dinamico del giacimento di Clara Est (rel. *Eni-GISE n° 14-11 del novembre 2011*) con l'obiettivo di ottimizzare i recuperi di gas dai livelli già in produzione e di svilupparne altri ubicati nell'area NW del giacimento stesso di Clara Est e mai posti in produzione.

A tale scopo si è prevista una nuova piattaforma (progetto "Clara NW") da cui perforare nel 2015 quattro nuovi pozzi (Clara NW 1 Dir, Clara NW 2 Dir, Clara NW 3 Dir e Clara NW 4 Dir). È stata inoltre considerata la possibilità di sviluppare il potenziale residuo dell'area Est perforando un *side-track* del pozzo CLE-12 Dir e un pozzo di *infilling* CLE-14V equipaggiato con testa pozzo sottomarina o monotubolare.

Tale revisione (novembre 2011*)* ha portato a un aggiornamento del valore del GOIP totale del campo (culminazioni di Clara Est e Clara NW), pari a 12614 MSm^3 , rispetto al volume stimato in precedenza per la sola culminazione di Clara Est (GOIP revisione studio statico del maggio 2007*)* pari a 4830 MSm^3.

Le riserve producibili a vita intera (fine 2028), stimate in quest'ultima revisione, si sono incrementate del 40% rispetto a quanto valutato nello studio del maggio 1998, ammontando complessivamente a 4354 MSm^3.

Nel 2013 è stata fatta un'altra revisione dello studio dinamico del giacimento di Clara Est *(rel.Eni-GISE-11/2013_CLARACOMPLEX-Aggiornamento modello di giacimento per modello geomeccanico - Scheda riassuntiva - aprile 2013)* con l'obiettivo di ottimizzare i recuperi di gas dai livelli già in produzione e di svilupparne altri ubicati nell'area NW del giacimento stesso e mai posti in produzione.

Tale revisione ha portato a un profilo di produzione con riserve producibili al 2034 pari a 6416 MSm^3 con un aumento del 47% rispetto allo studio del 2011 grazie al contributo complessivo dei seguenti interventi:

- sviluppo dell'area NW;
- ottimizzazione del potenziale residuo dell'area Est con la perforazione dei due *side-track* dei pozzi CLE-12 Dir e CLE-13 Dir;
- perforazione dei due pozzi di *infilling* CLE-14D e CLE-15D.

Nel 2015, infine, si è nuovamente aggiornato il modello di giacimento *(Rel. GISE-11/15 - Campo di Clara Est Area Sud-Est - Rivalutazione scenari di sviluppo del luglio 2015)*, con una nuova valutazione delle riserve a vita intera stimate in 5485 MSm^3 producibili al 2030.

Questo aggiornamento è stato funzionale al nuovo progetto di sviluppo del campo nell'area Nord-Ovest, che ha visto la realizzazione di quattro nuovi pozzi, CLNW-1d, CLNW-2d, CLNW-3d e CLNW-4d, perforati a partire dalla seconda metà del 2015 dalla nuova piattaforma Clara Nord Ovest ed entrati in produzione ad aprile 2016. Sulla base dei risultati dei nuovi studi (statico e dinamico) di giacimento fatti nel corso delle varie revisioni sopra descritte, di volta in volta si sono aggiornate le previsioni di subsidenza del campo Clara Est e degli altri campi dell'area.

Nel 2017 è stato eseguito un nuovo studio integrato per un nuovo modello (statico e dinamico) dei giacimenti dell'area del Clara Complex, Calipso ed Elettra *(Eni-IPET-8056D689-0 - Clara Complex – Aggiornamento Studio di Giacimento per geomeccanica - Scheda integrativa- dicembre 2017)* che aggiorna le riserve di Clara Est in 5122 MSm^3 (caso "DO NOTHING") producibili al 2038.

A partire dai risultati degli studi (statico e dinamico) di giacimento fatti nel corso delle varie revisioni sopra descritte, di volta in volta si sono aggiornate le previsioni di subsidenza del campo di Clara Est-NW e degli altri campi dell'area.

Sulla base della nuova revisione del modello di giacimento del 2017 si è aggiornato anche il modello geomeccanico (rel. *Eni-EORG* 07/2017*: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza-Management Summary - dicembre 2017*) simulando 3 diversi scenari di produzione:

I risultati dello studio, per il campo di Clara Est, mostrano per il caso "DO NOTHING" (scenario produttivo di riferimento) un valore di subsidenza massimo sulla piattaforma di 69 cm al 2037, che rimane stabile fino a fine simulazione (2061). Per tutti gli scenari considerati nello studio, inoltre, la massima estensione della subsidenza prevista, corrispondente alla curva di iso-subsidenza dei 2 cm, si mantiene a oltre 29 km dalla costa e dalla città di Ancona, per l'intera durata della simulazione di tutti gli scenari di produzione considerati.

Lo studio di giacimento del 2017 è stato, quindi, aggiornato nel corso del 2021 (*Campi di Clara Complex - Aggiornamento dello Studio di Giacimento per studio Geomeccanico. Scheda riassuntiva., Rel. IPET-2F0DE718-0 - dicembre 2021*).

I risultati del nuovo aggiornamento restituiscono per il campo di Clara Est riserve producibili pari a 5998 MSm3 al 2042 (Figura 4).

In Figura 3 è riportato l'andamento storico della produzione di gas del campo (kSm3/g), e di acqua (m3/g). In Figura 4, Figura 5 e Figura 6 è riportato, invece, il confronto tra la produzione reale annuale e cumulativa e quella prevista dal modello Eclipse 2021.

Al 31/12/2021 la produzione cumulativa del campo è pari a 4337 Mm3.

Nella Figura 7 è presentato il confronto del profilo di pressione calcolato dal modello Eclipse del 2021 con le pressioni statiche misurate in due livelli rappresentativi del campo (livello PLQ-AE e livello PLQ1-A). Si evidenzia un buon accordo tra le pressioni misurate e quelle simulate.

Nel corso del 2020 l'emergenza sanitaria COVID-19 ha determinato pesanti ripercussioni sulle attività operative che sono state necessariamente ridotte e limitate a seguito delle opportune misure precauzionali adottate. Si è così determinata l'impossibilità di acquisizione, per il 2020, delle misure di pressione in pozzo, così come comunicato via PEC con nota Eni prot. n.529 del 26.06.2020, poichè tali operazioni avrebbero comportato movimentazione di mezzi navali a tempo pieno, attrezzature per lavori in off-shore e personale contrattista dedicato, incompatibili con la fase emergenziale e con le disposizioni in vigore in termini di salute e sicurezza. Il nuovo studio di giacimento è stato utilizzato per un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico (*rel. Eni- IPET-89477285-0: Campi del Clara Complex, Calipso ed Elettra Modello Elasto-Plastico di Subsidenza - Management Summary - dicembre 2021*).

Per le simulazioni del modello geomeccanico (estese fino al 2050) si sono considerati 2 diversi scenari di produzione:

- **DO NOTHING**: prevede di proseguire lo sviluppo del giacimento senza ulteriori interventi;
- **FD** considera lo sviluppo del campo di Calipso con la messa in produzione di un nuovo pozzo

I risultati mostrano, per il campo di Clara Est, un valore di subsidenza massima di 112 cm a fine simulazione (2050).

Per tutti gli scenari considerati nello studio, la massima estensione della subsidenza prevista, corrispondente alla curva di iso-subsidenza dei 2 cm, anche per il periodo 2021-2050 ad oltre 30 km dalla costa e dalla città di Ancona.

In Figura 8 è mostrata l'evoluzione nel tempo, rispettivamente della linea dei 2 cm e della subsidenza prevista su Clara Est, per entrambi gli scenari (DN e FD).

La Tabella 1 riporta per i cinque campi e per lo scenario di *forecast* FD, i valori massimi di subsidenza ottenuti e le date alle quali si conseguono.

Tabella 1– Valori massimi previsti di subsidenza alle date sotto indicate

	Clara Est	Clara Nord	Calipso	Calpurnia	Elettra
2021	0.31	0.48	0.28	0.17	0.12
2026	0.52	0.44	0.79	0.16	0.21
2031	0.73	0.43	1.09	0.15	0.24
2041	0.99	0.41	1.13	0.14	0.27
2050	1.12	0.39	1.13	0.14	0.27

Il fatto che tutti gli studi geomeccanici sino ad ora eseguiti per valutare i possibili effetti 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 30 km), ha una spiegazione nel particolare assetto geologico dell'area stessa, come del resto già accennato in precedenza.

Tale assetto, rappresentato nello sketch stratigrafico-strutturale di Figura 10 e basato su un'interpretazione sismica controllata con dati di pozzo, definisce uno schema di rapporti verticali e laterali tra le formazioni che costituiscono i giacimenti (*reservoir* e copertura) e il substrato che limitano l'estensione del fenomeno subsidenziale verso costa.

Infatti, 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 rappresenta un'importante barriera idraulica verso costa.

Il substrato dell'offshore anconetano presenta, inoltre, una successione carbonatica pre-pliocenica posta talora a poche centinaia di metri di profondità – (pozzo Brezza 1) che localmente affiora sulla costa (promontorio M.te Conero) in corrispondenza di alti strutturali appenninici, mentre la successione terrigena di copertura è relativa a intervalli stratigrafici differenti dalle zone *reservoir* del *Clara Complex* e campi limitrofi. Tutto ciò limita sensibilmente la possibilità che si possa verificare una depressurizzazione e conseguente compattazione dei sedimenti sulla costa e nelle fasce antistanti al litorale.

E, pertanto, del tutto comprensibile, quindi, che:

- sia per la presenza di tale barriera idraulica di tipo sedimentologico-strutturale interposta tra il complesso dei giacimenti in esame e la costa,
- sia per l'elevata distanza dei giacimenti stessi dalla costa (ad es. 45 km per Clara Est),

in tutte le previsioni il fenomeno di subsidenza si esaurisca rapidamente in direzione della costa e, quindi, la distanza del cono di subsidenza dalla costa stessa risulti elevata (almeno 30 km). Tra la fine del 2007 e l'inizio del 2008 è stato eseguito un rilievo batimetrico *multi-beam* di un'area (superficie 1662 km^2) comprendente i campi del *Clara Complex*, di Calipso ed Elettra. L'andamento molto irregolare del fondale marino, soprattutto in corrispondenza del settore sud-occidentale del rilievo (area dei campi Clara Est e Calipso), e l'entità molto modesta della subsidenza, indotta, non consentono però di evidenziare in modo chiaro alcuna anomalia batimetrica significativa che si possa ritenere indotta dalla produzione di gas dal campo Clara Est (rel. *Eni-Università di Urbino dell'agosto 2008 trasmessa a MATTM in data 11/11/2008 - prot. UGIT ET/mv 1410*. Un nuovo rilievo batimetrico, da confrontarsi con quello base del 2008 è in corso di valutazione.

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di Controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia-Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell'Ambiente), è rilevata con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una cadenza triennale come raccomandato nelle "*Linee Guida per lo Studio del Fenomeni di Subsidenza nell'Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas*" emesse dal Dip. DMMMSA dell'Università di Padova nel 2007. Le specifiche tecniche adottate sono quelle ora in uso per i rilievi della rete Eni e rispettano le indicazioni contenute nelle già citate linee guida emesse dall'Università di Padova. Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della documentazione e della metodologia utilizzata a un ente esterno, che attualmente è l'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM.
La rete di livellazione rilevata nel 2020 (ultimo rilievo eseguito), integrata nel 2017 con l'aggiunta dell'area del campo di Agosta, è suddivisa nelle seguenti aree di attività:

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

- 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.

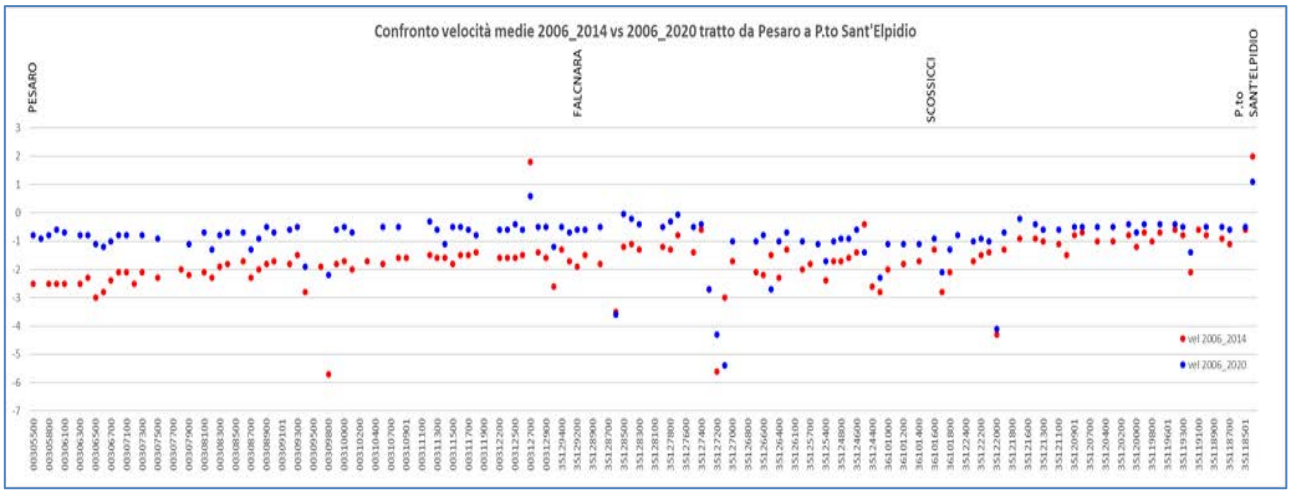
Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisori e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati. I parametri matematici della compensazione rientrano nei canoni 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 Clara Est e 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 $\mathbf{V_a}$ 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.

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 nella zona di Ancona), oppure fenomeni d’innalzamento del suolo (es. nella zona di P.to Sant’Elpidio) sono scarsi di numero e isolati: sono, quindi, poco significativi dal punto di vista areale. Non si possono inoltre escludere fenomeni localizzati, dovuti a instabilità dei capisaldi stessi, che saranno comunque oggetto di verifica nelle prossime campagne di misura. Il confronto tra i dati CGPS delle stazioni ubicate nell’area in esame (Fano, Falconara e P.to San Giorgio) con le misure delle livellazioni mostra andamenti che, fatte salve le diverse precisioni in termini di ripetibilità, sono assolutamente compatibili.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura *SAR* (dicembre 2021) per un’analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 11).

Le attività di monitoraggio sono state progressivamente potenziate mettendo in opera un numero crescente di stazioni CGPS sulle piattaforme offshore operate da Eni. Dal 2007, infatti, ne sono state installate sulle piattaforme di Regina e Calpurnia (giugno 2007), di Anemone B (agosto 2007), di Annalisa (ottobre 2007), di Calipso, Tea-Lavanda-Arnica, Clara Est e Clara Nord (novembre 2007), di Barbara NW (gennaio 2008), di Bonaccia (febbraio 2008), di Annamaria A e Annamaria B (gennaio 2010), di Clara W (ottobre 2010) e di Guendalina (agosto 2011). Le stazioni CGPS di Naide e PCC sono, invece, operative dal luglio 2005, mentre la postazione Naomi-Pandora è attiva dal giugno 2002. In tempi più recenti sono state installate anche le nuove stazioni CGPS di Elettra (luglio 2014), di Fauzia (settembre 2014), di Barbara E (novembre 2014), di Bonaccia NW (settembre 2015), e, infine di Clara NW (marzo 2016). Il sistema di monitoraggio è stato, poi, ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche *SSU* (*Satellite Survey Unit*) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite 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 assestimetrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.
Inoltre, come detto in precedenza, sono state monumentate altre 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, il cui completamento è avvenuto nel dicembre 2009, tutte equipaggiate con 2 bersagli radar e con un caposaldo di livellazione.
Allo stato attuale la stazione di Ortona non è, però, più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico, completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017.
Nel corso del 2018, sono state installate due nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. sulle postazioni di Pomposa (ACPO – installata a settembre 2018) e di Po di Tolle (POTO – installata nel mese di luglio 2018).
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 Clara Est, certificati fino al 2020 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 31/12/2021 (Figura 12), si sono utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati come mostrato in Tabella 2.

Tabella 2 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2020

	Dati Non Certificati				Dati Certificati				Delta (Non Cert.- Cert.)		
Stazione	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
Clara-Est	15.87	20.81	-14.47		15.91	20.94	-14.88		-0.04	-0.13	0.41

A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche CGPS, da utilizzarsi per una verifica/taratura dei modelli previsionali di subsidenza, non possono essere considerate sufficientemente attendibili per

dataset relativi a periodi di osservazione inferiori ai 36 mesi, come indicato dall'Ente che certifica tali dati.

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

In generale:

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

Le elaborazioni sono state fatte con software scientifico Bernese vers.5.2, strategia OBSMAX, utilizzando i prodotti finali (effemeridi precise e file del polo) messi a disposizione dall'IGS (International GNSS Service) e il sistema di riferimento ITRF2014.

Per le nostre elaborazioni il sistema di riferimento è materializzato dalle stazioni appartenenti alla rete EUREF disponibili tra: Bucarest, Genova, Graz, Matera, Medicina, Padova, Penc, Sofia, Torino, Zimmervald. L'eliminazione degli *outlier* delle serie storiche è effettuata mediante test a 3 SIGMA iterativo.

Per il campo di Clara Est, sulla base di una serie storica di misure GPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare la velocità di subsidenza totale[1] pari a -14.39 mm/anno di fatto senza variazioni rispetto alla velocità rilevata a fine 2020 (-14.47 mm/a), mentre per il CGPS di Clara NW (campo Clara Est), la velocità media di subsidenza totale è pari a -23.27 mm/anno, anche in questo caso, senza variazioni rispetto alla velocità rilevata a fine 2020 pari a -23.78 mm/a (Figura 12, Figura 13 e Figura 14). Si sono, poi, confrontate le previsioni di subsidenza del modello geomeccanico del 2021 con le misure di subsidenza totale[1] rilevate dai CGPS (Figura 15) senza che quest'ultime siano state depurate dalla componente di subsidenza naturale. Si può notare come il modello geomeccanico sia abbastanza in linea con quanto misurato dal CGPS sulla piattaforma di Clara Est. Nel caso della piattaforma di Clara NW, il modello risulta sovrastimare l'andamento della subsidenza misurata dal CGPS.

In sintesi, le indicazioni del modello previsionale di subsidenza e i monitoraggi fatti da Eni consentono di escludere che l'eventuale subsidenza indotta dalla produzione di gas dai campi del *Clara Complex* (in particolare da Clara Est), dal campo di Calipso e da quello di Elettra possa avere qualche impatto sull'andamento altimetrico del tratto di litorale monitorato.

Si segnala infine che:

a) in Figura 16 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
b) in Figura 17 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

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

Figura 1 - Ubicazione del campo di Clara Est

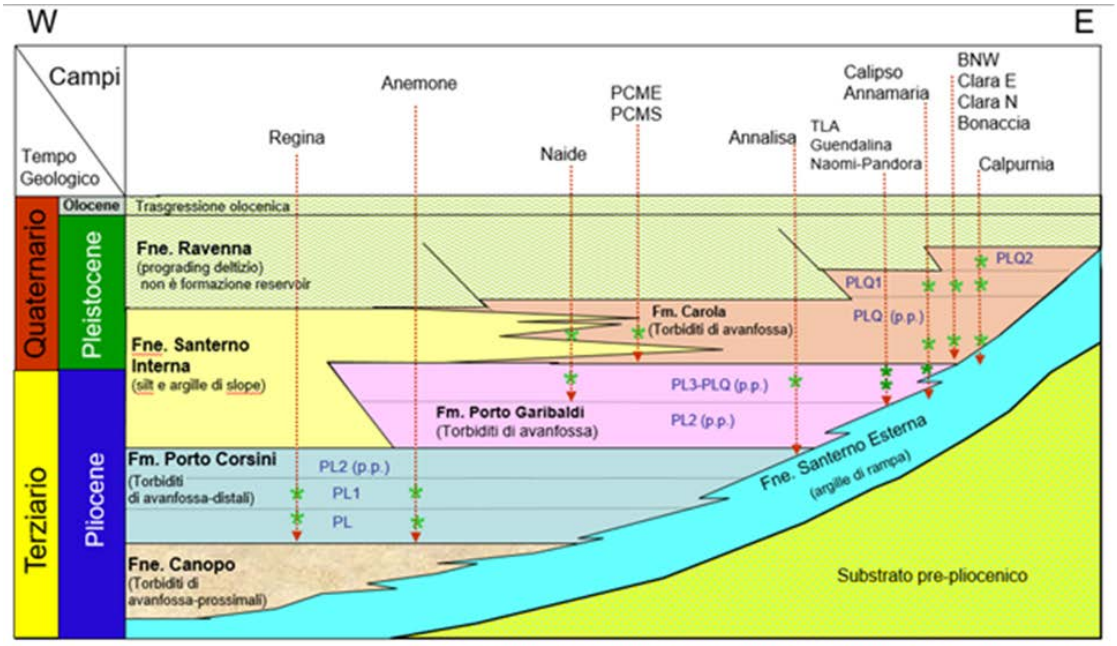


Figura 2 - Bacino Adriatico settentrionale: esempio di schema dei rapporti stratigrafici e dei principali reservoir (*) sviluppati dai campi

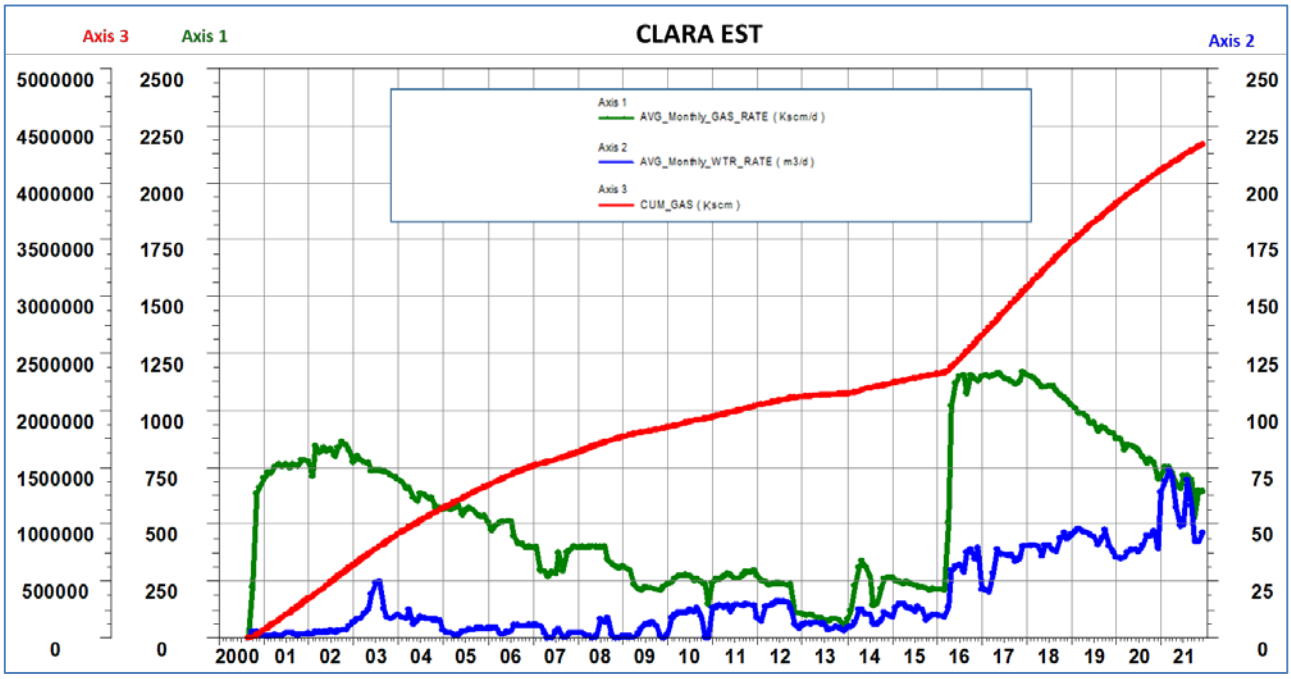


Figura 3 - Campo di Clara Est: grafico di produzione storica

CAMPO DI CLARA EST					
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	
2000	46	46	46	46	1%
2001	274	274	320	320	5%
2002	298	298	619	619	10%
2003	273	273	892	892	15%
2004	231	231	1122	1122	19%
2005	204	204	1326	1326	22%
2006	170	170	1496	1496	25%
2007	123	123	1620	1620	27%
2008	137	137	1756	1756	29%
2009	88	88	1844	1844	31%
2010	91	91	1935	1935	32%
2011	99	99	2034	2034	34%
2012	81	81	2115	2115	35%
2013	32	32	2146	2146	36%
2014	82	82	2229	2229	37%
2015	86	86	2314	2314	39%
2016	308	308	2622	2622	44%
2017	418	417	3040	3039	51%
2018	403	380	3443	3419	57%
2019	347	329	3790	3748	63%
2020	297	273	4087	4021	68%
2021	249	249	4337	4270	72%
2022		258		4528	
2023		208		4737	
2024		176		4912	
2025		145		5057	
2026		113		5171	
2027		91		5262	
2028		80		5342	
2029		71		5413	
2030		60		5473	
2031		57		5530	
2032		55		5585	
2033		52		5637	
2034		50		5686	
2035		47		5734	
2036		45		5779	
2037		43		5822	
2038		41		5863	
2039		38		5901	
2040		36		5937	
2041		31		5968	
2042		30		5998	

Figura 4 - Campo di Clara Est: produzioni reali e da modello Eclipse 2021

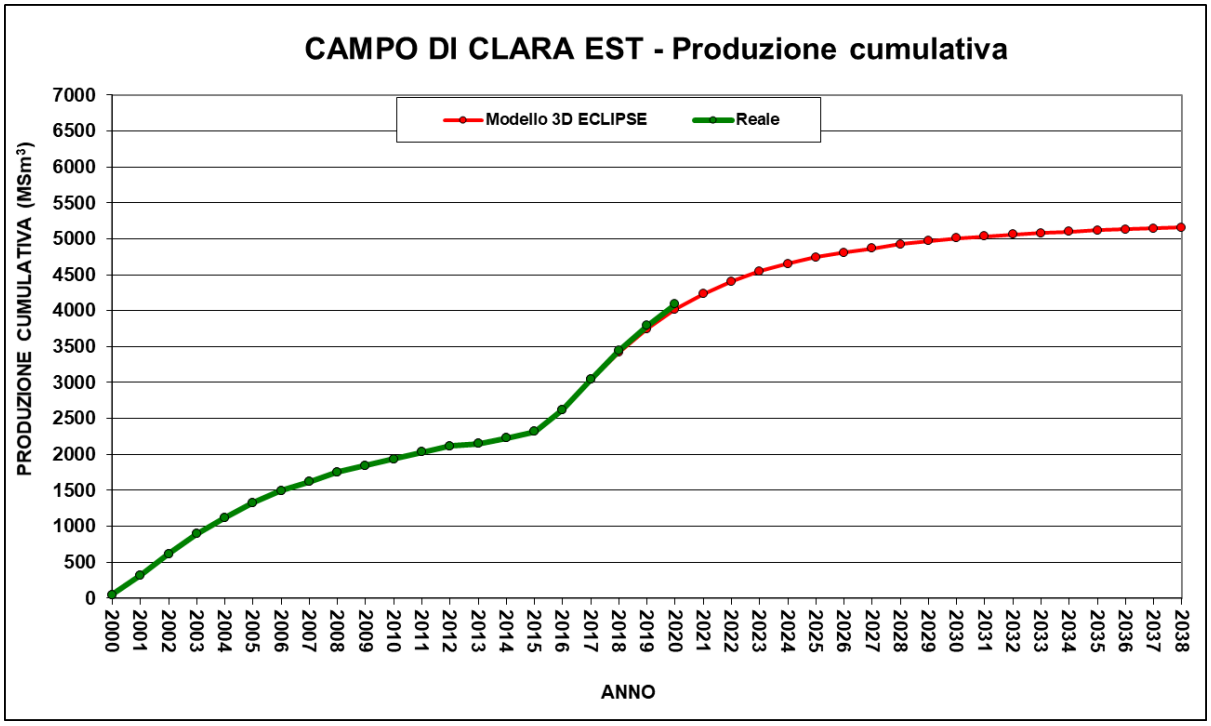


Figura 5 - Campo di Clara Est: produzione reale e da modello Eclipse 2021

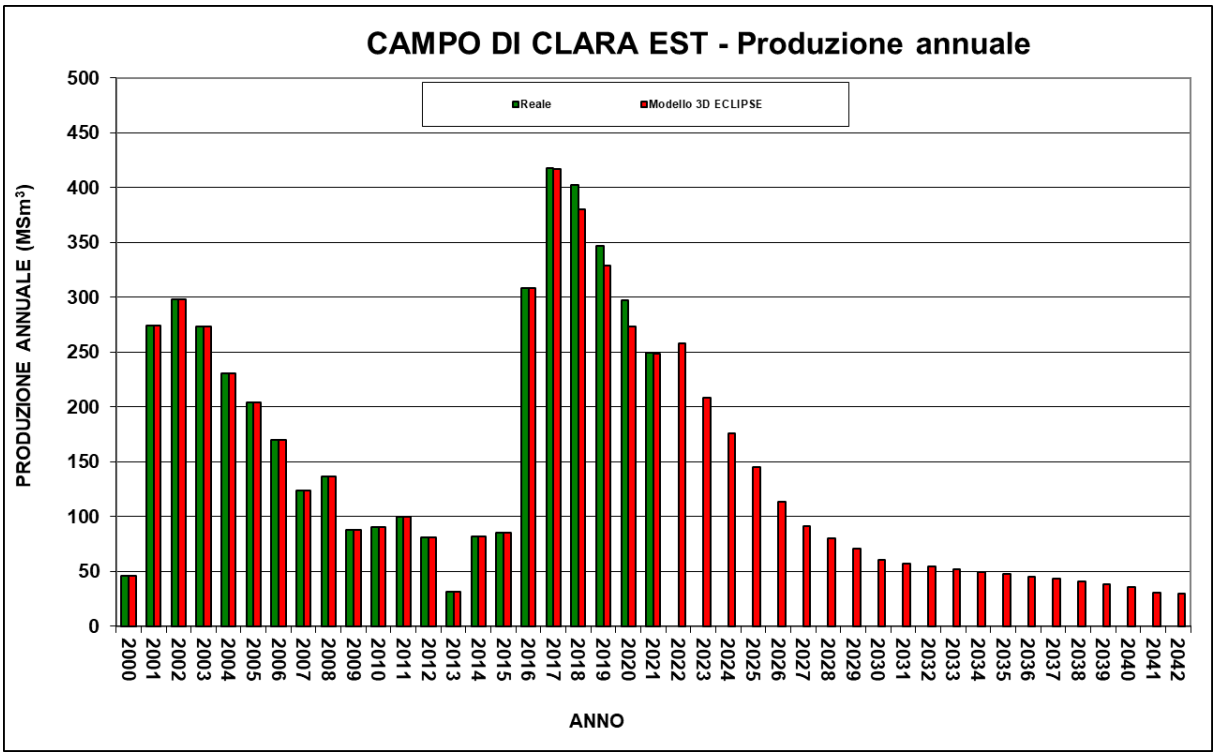


Figura 6 - Campo di Clara Est: produzione (annuale) reale e da modello Eclipse 2021

CAMPO DI CLARA EST						
Data	Livello PLQ-AE			Livello PLQ1-A		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/04/2000	109	10				
02/04/2003	86		10 C			
01/06/2003	85		12 C			
17/04/2005	78		12 C			
03/04/2007	80		10 C			
12/02/2010	80		10 C			
20/11/2011	79		10 C			
07/12/2013	86		10 C			
01/07/2014	81		10 C			
24/02/2015	67		12 C*			
06/07/2015				78	NW 2 Dir	
29/09/2016	71		12 C*			
28/09/2017	74		12 C*			
25/12/2017				71		NW 2 C
03/12/2018	72		12 C*	69		NW 2 C
28/10/2019	74		12 C*			
07/11/2019				68		NW 2 C
21/05/2022				68		NW 2 C
30/05/2022	30		12 C*#			

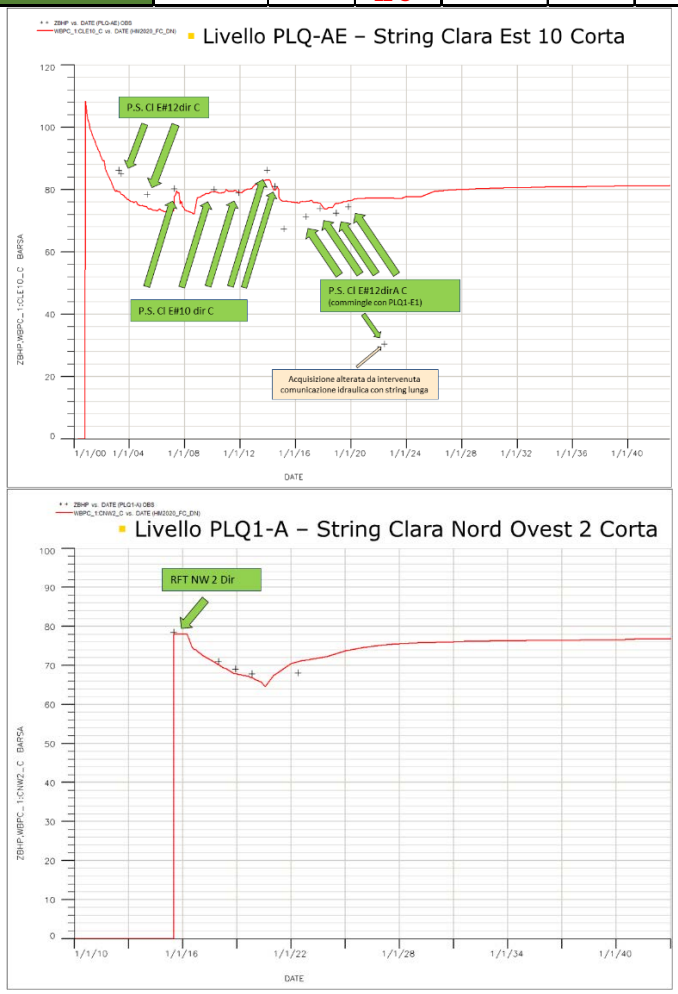


Figura 7 - Campo di Clara EST-NW: confronto tra dati di pressione da profili statici e modello Eclipse 2021

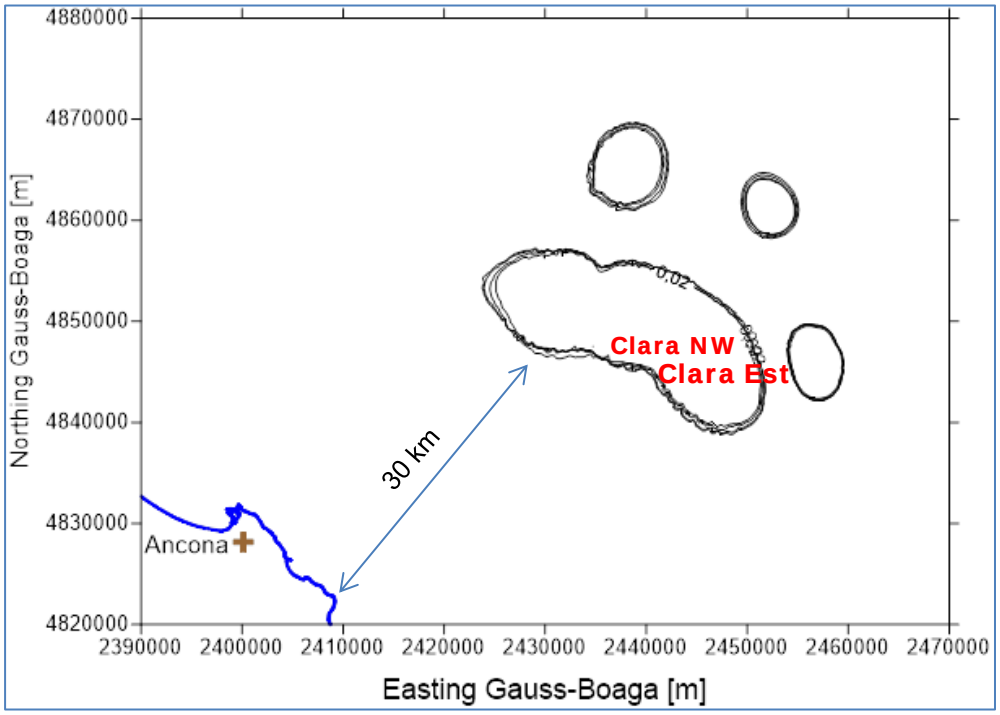


Figura 8 - Campo di Clara Est: mappa con la posizione della linea di iso-subsidenza 2 cm nel periodo 2021-2050 per entrambi gli scenari considerati (DN e FD). La distanza minima resta pari o superiore ai 30km, e rimane pressoché invariata per l'intera durata del periodo.

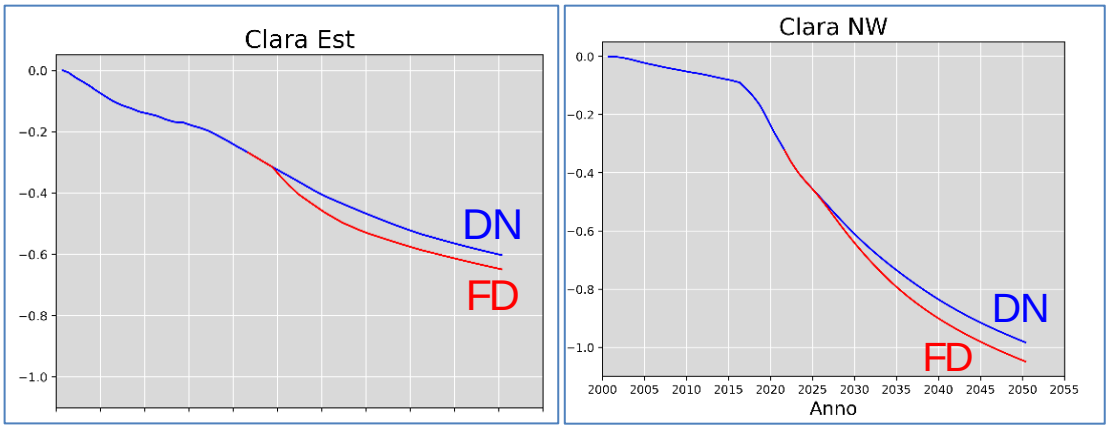


Figura 9 - Evoluzione temporale della subsidenza prevista sulle piattaforme di Clara Est e Clara NW nei due scenari considerati (DN e FD)

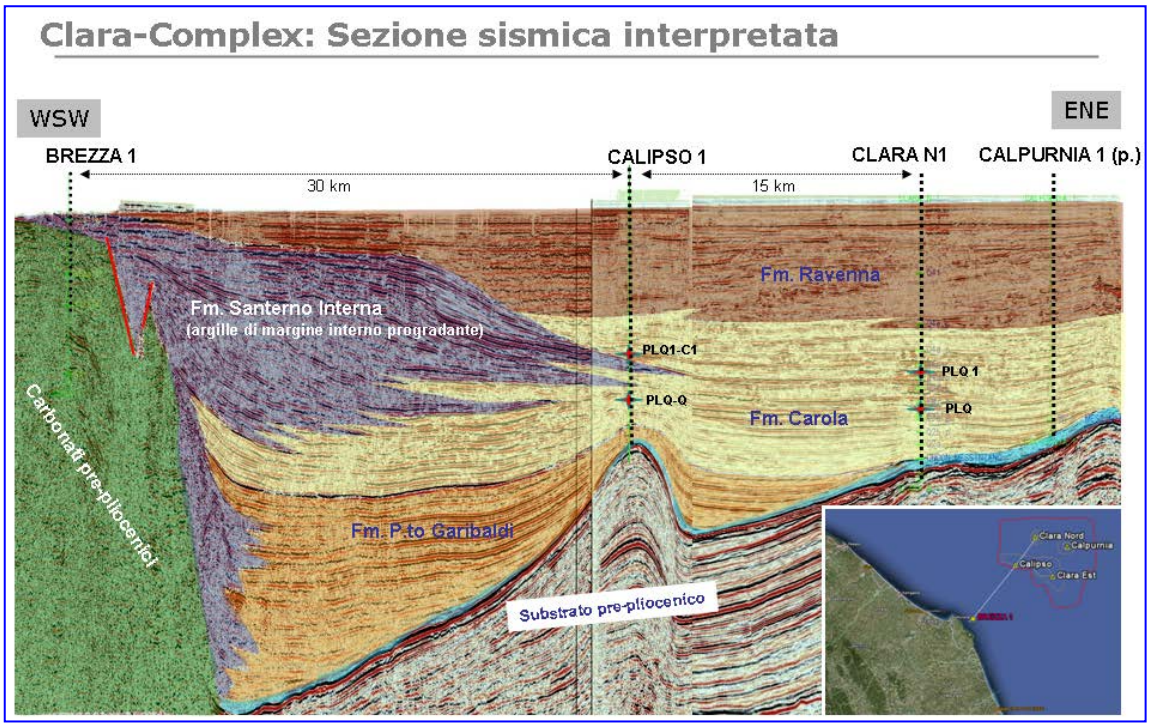


Figura 10 - Sezione sismica interpretata

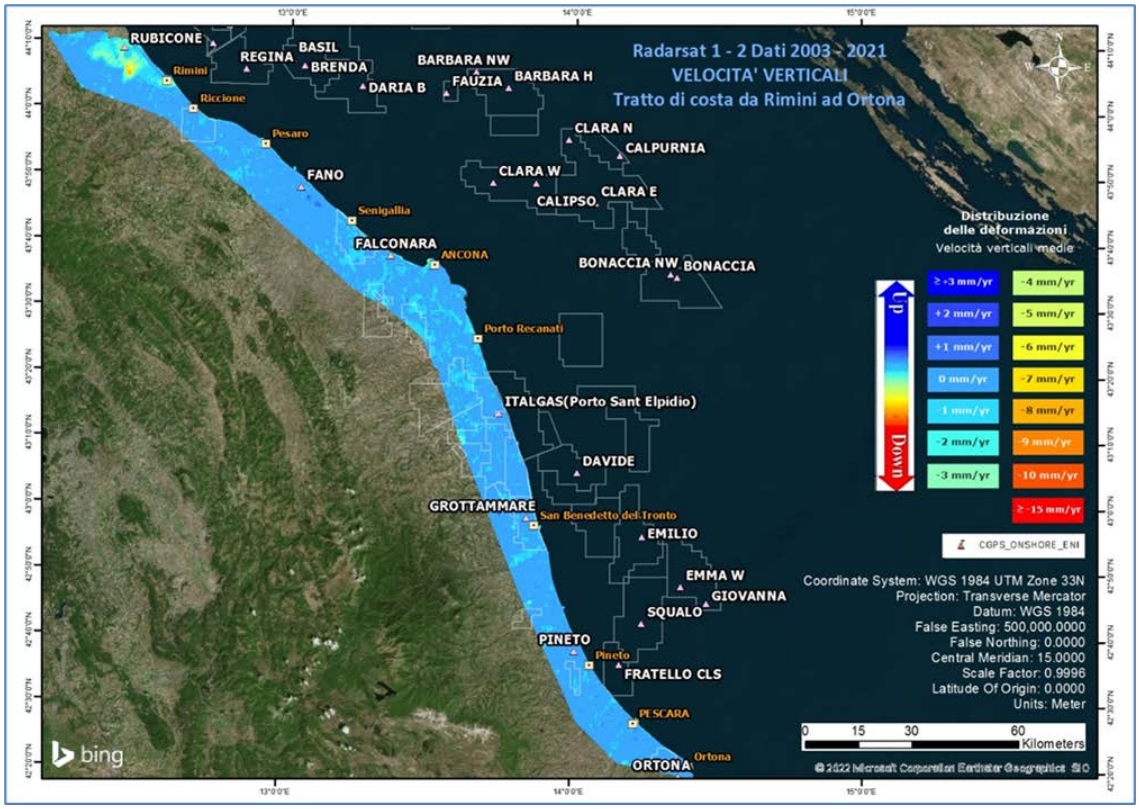


Figura 11 - Campo di Clara Est: analisi dati SAR dal 2003 al 2021

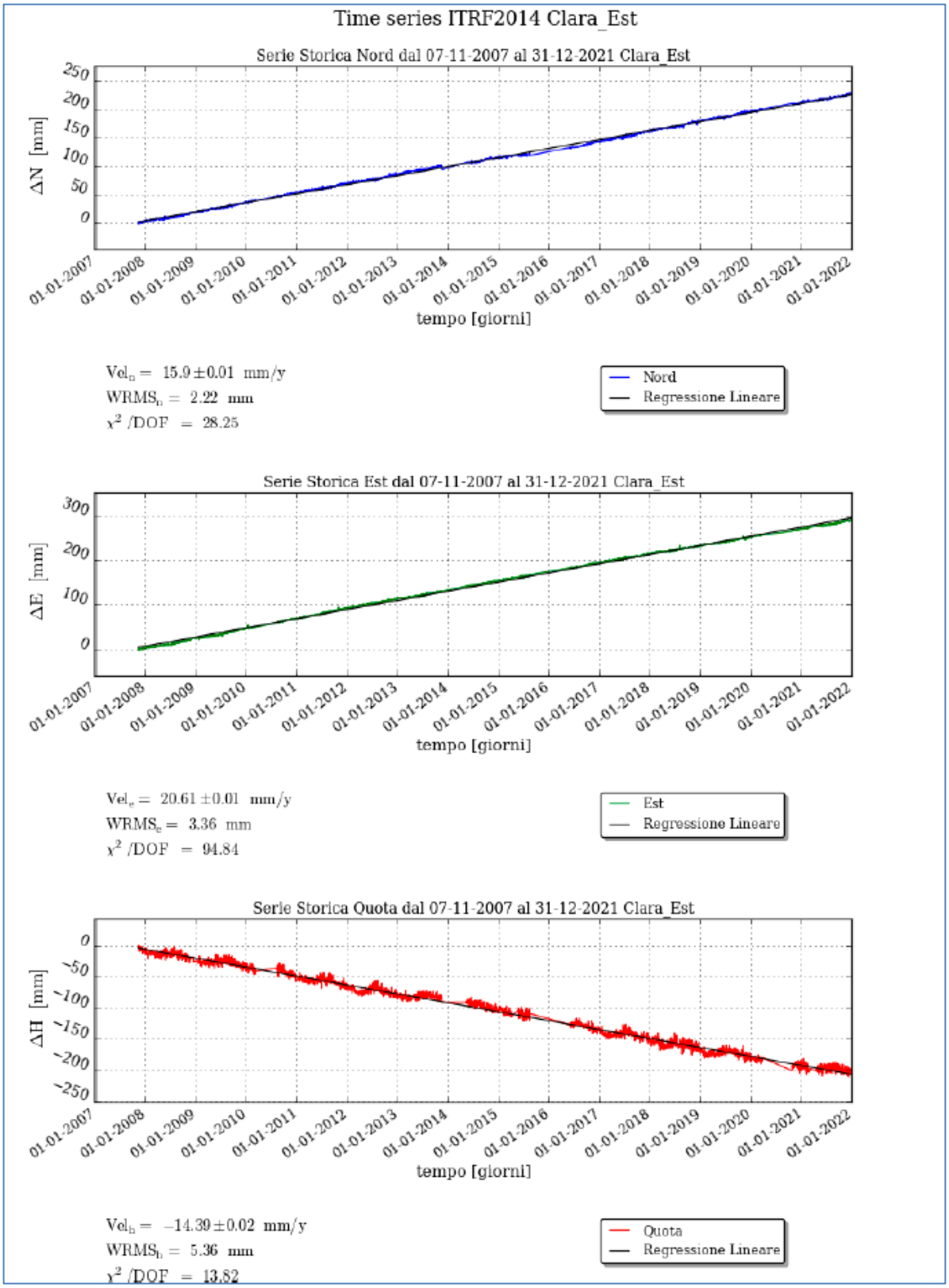


Figura 12 - Campo di Clara Est: serie storiche di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Clara Est)

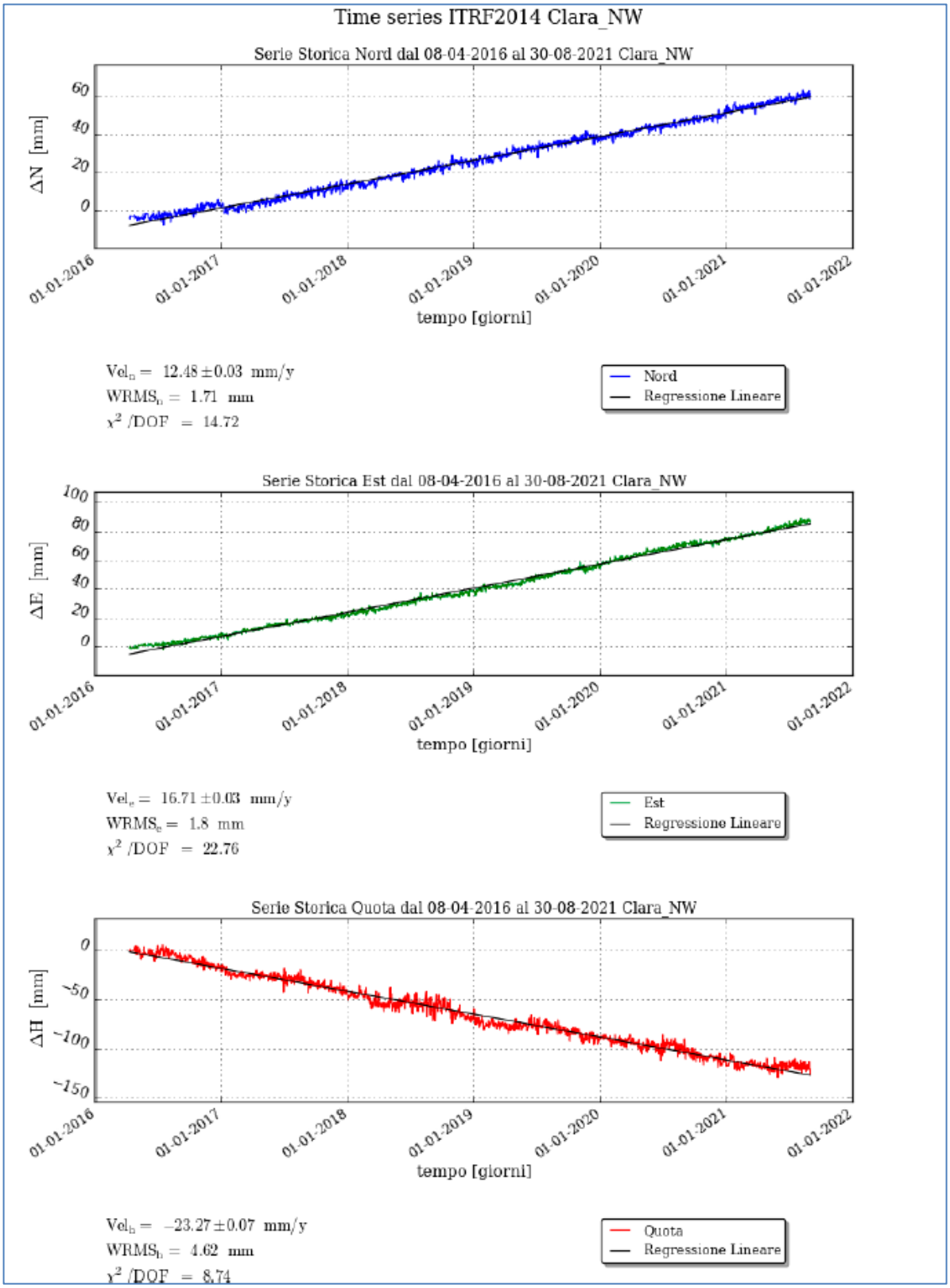


Figura 13 - Campo di Clara Est: serie storiche di misure CGPS (stazione CGPS installata sulla p.ma Clara NW)

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2021	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio geomeccanico	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2020	vel.media (mm/a) @ dic.2021	Variazione velocità di subsidenza 2021 vs. 2020
ANEMONE	1978	2019	100%	-49cm al 2049	2019	2007	-4,54	-4,45	0,09
ANNALISA	2000	> 2021	101%	-9cm al 2027	2018	2007	-3,5	-3,08	0,42
ANNAMARIA B	2009	2038	86%	-138cm al 2051	2021	2005	-94,17	-87,78	6,39
BARBARA NW	1999	2026	97%	-66cm al 2023	2021	2008	-25,91	-25,05	0,86
BONACCIA	1998	2026	99%	-233cm al 2073	2018	2008	-64,94	-63,13	1,81
BONACCIA NW	2015					2015	-38,64	-35,18	3,46
CALIPSO	2002	2031	80%	-113cm al 2041	2021	2007	-13,51	-13,51	0
CALPURNIA	2000	2021	100%	-17cm al 2021	2021	2008	-0,44	-0,44	0
CLARA EST	2000	2042	72%	-112cm al 2050	2021	2007	-14,47	-14,39	0,08
CLARA NW	2016					2016	-23,78	-23,27	0,51
CLARA NORD	2000	2018	100%	-48cm al 2021	2021	2007	-16,35	-15,47	0,88
ELETTRA	2014	2027	87%	-27cm al 2041	2021	2014	-15,37	-13,18	2,19
FAUZIA	2014	2024	84%	-6cm al 2062	2021	2014	-3,65	-3,21	0,44
GUENDALINA	2011	2022	92%	-8,5cm al 2055	2018	2011	-6,1	-5,99	0,11
NAIDE	2005	2027	93%	-13cm al 2060	2021	2005	-3,58	-3,56	0,02
NAOMI - PANDORA	2001	2040	68%	-9cm al 2040	2022	2002	-2,13	-2,06	0,07
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-4,0cm al 2025	2020	2005	-3,8	-3,7	0,1
REGINA	1997	2022	100%	-131cm al 2053	2021	2007	-21,76	-20,67	1,09
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	100%	-5cm al 2023	2019	2007	-3,55	-3,45	0,1

Figura 14 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di misure

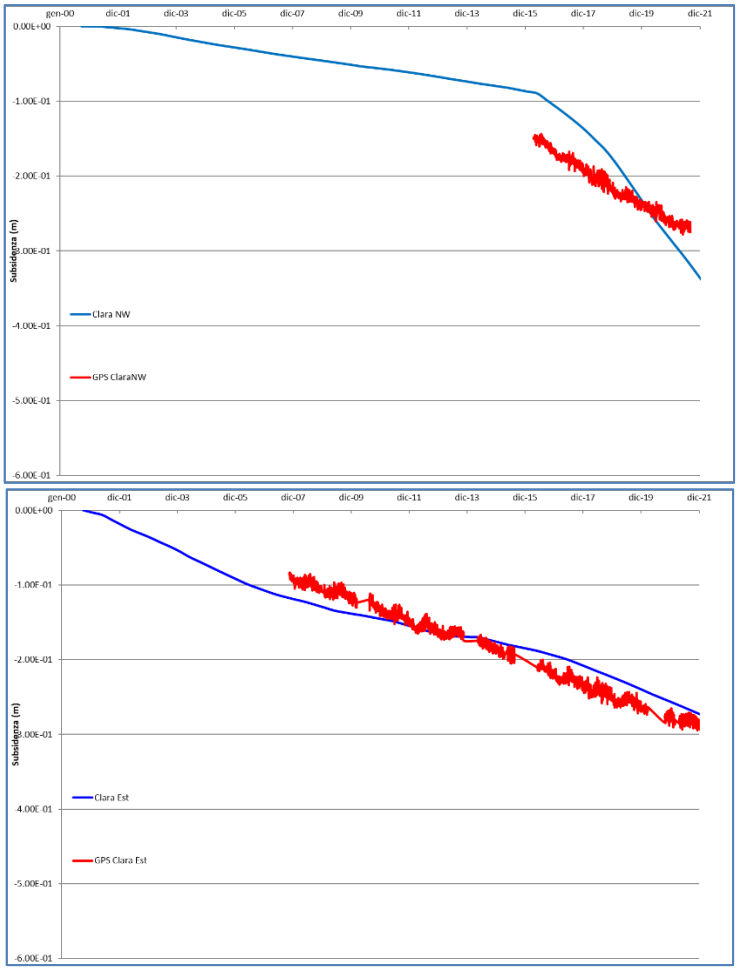


Figura 15 - Clara NW e Clara Est: andamento della subsidenza misurata (CGPS in p.ma) vs. modello.

campi CLARA EST- CLARA NW (J.V. Eni 51% - Energean Italy 49%)

DATI DI CAMPO

UBICAZIONE	offshore - 45 - 50 km a NE di Ancona		
PROFONDITA' FONDALE	73 / 76 m		
LITOLOGIA	sabbie fini		
FORMAZIONE RESERVOIR	CAROLA		
ZONA MINERARIA	PLQ1- PLQ		
PROFONDITA' RESERVOIR	750-1300 (TVDSS)		
TIPO DI PIATTAFORMA	BEAF		
CARATTERISTICHE GEOLOGICHI	TORBIDITI SOTTILI		
	CLARA EST CLARA NW	DEC/VIA @ FEBB.'00 DEC/VIA @ SETT.'14	@ 31 dic. 2021
CONCESSIONE	B.C13.AS		
DATA SCADENZA CONCESSION	27/05/2025		
N. POZZI (produttori)		4	8
Clara Est		4	4
Clara Nord Ovest		0	4
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm^3)		3120	5998
START UP PRODUZIONE	sett.2000 CLE apr..2016 CLNW		
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2029	2042
GAS PRODOTTO (MSm3)			4337
Clara Est			2686
Clara Nord Ovest			1651
% RISERVE PRODOTTE			72%

CLARA EST (DEC VIA n. 4470 del 7/02/2000) - **CLARA NW** (DEC VIA n. 227 del 17/09/2014)

AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (CLARA COMPLEX)

	SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "ottobre '98"	Clara Complex - Agg. studio giacimento per studio geomeccanico. Rel. IPET-2F0DE718-0 (dic. 2021)
RISERVE (MSm^3)	3120	5155
MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ DICEMBRE 2021
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	10 (dopo 15 anni)	112 @2050 - scenario FD
MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	#	> 30 Km (linea isosubsidenza -2cm)

STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI

LIVELLAZIONI	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 ENTRAMBI LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2023 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO
MARKERS	NON PRESCRITTI
CGPS	NEL CORSO DEL 2007 e 2016 SONO STATI INSTALLATI, NELLE 2 PIATTAFORME DI CLARA EST e NW, I RISPETTIVI CGPS. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO UN CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FALCONARA (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LE PIATTAFORME
SAR	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC.2021 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LE PIATTAFORME PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.ME CLARA E e CLARA NW NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO
BATIMETRIE	ESEGUITO RILIEVO BATIMETRICO. DATA RILIEVO SETT.2007-FEBBRAIO 2008

Figura 16 - Campo di Clara Est: scheda di sintesi dati campo

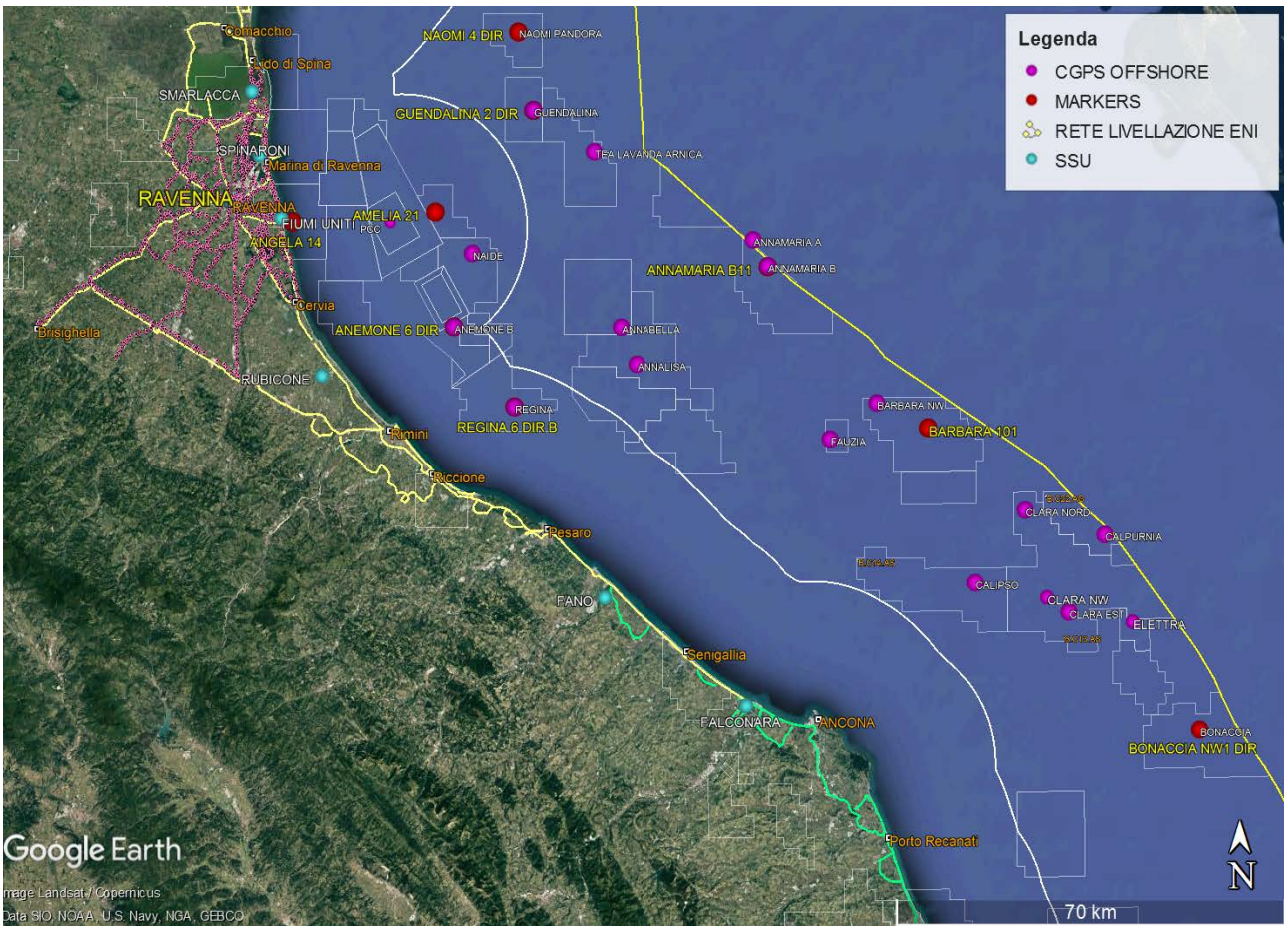


Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2021

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2003 – 2021 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 – 2021

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 di raggio centrato nel corrispondente CGPS (Tab. 1), si è scelto di accorpare i data-set in 2 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**	**-6,02**	**0,01**	**-3,02**	**2,07**	**-3,00**	**2,08**
	SPINARONI	-6,91	0,01	-3,72	1,89	-3,19	1,93
	FIUMI UNITI	-13,15	0,02	-10,38	5,78	-2,77	5,80
FANO-AN-CONA	RUBICONE	-2,21	0,03	-2,91	1,94	0,70	1,97
	FANO	-0,2	0,02	0,12	0,87	-0,32	0,89
	FALCONARA	-0,3	0,02	-0,18	1,39	-0,12	1,41
	ITALGAS	-0,09	0,02	0,30	1,09	-0,39	1,11

Tab. 1. Taratura dato InSAR con misure CGPS

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 2.98 mm/anno di media per i primi 3 CGPS, mentre per gli ultimi 4 CGPS si notano differenze medie intorno a -0,03 mm/anno.

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

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

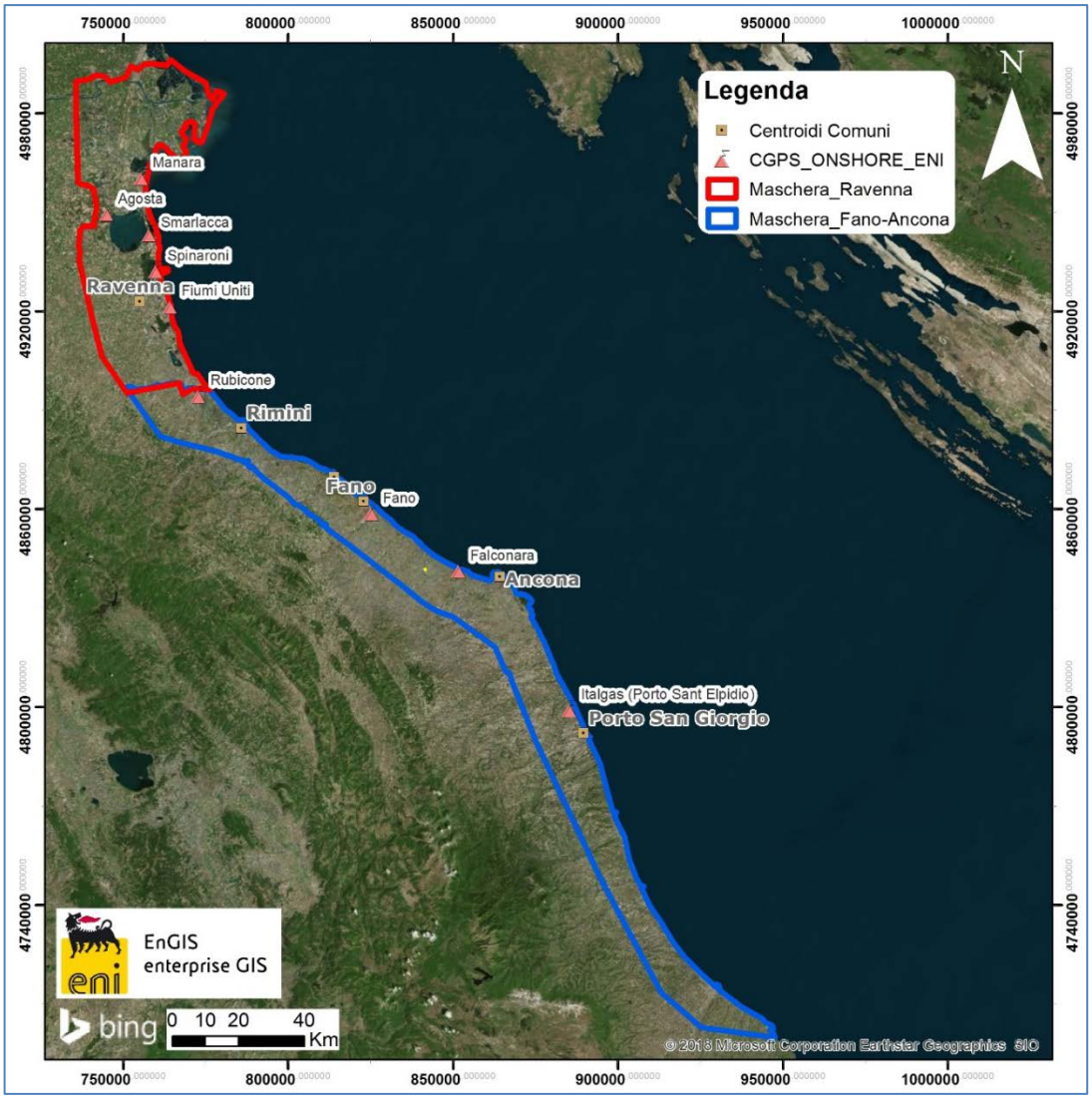


Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

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 -3,02 ± 2,07 mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di -6,02 ± 0,01 mm/anno, si rileva una differenza di -3,00 ± 2,08 mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di -3,00 ± 2,08 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.

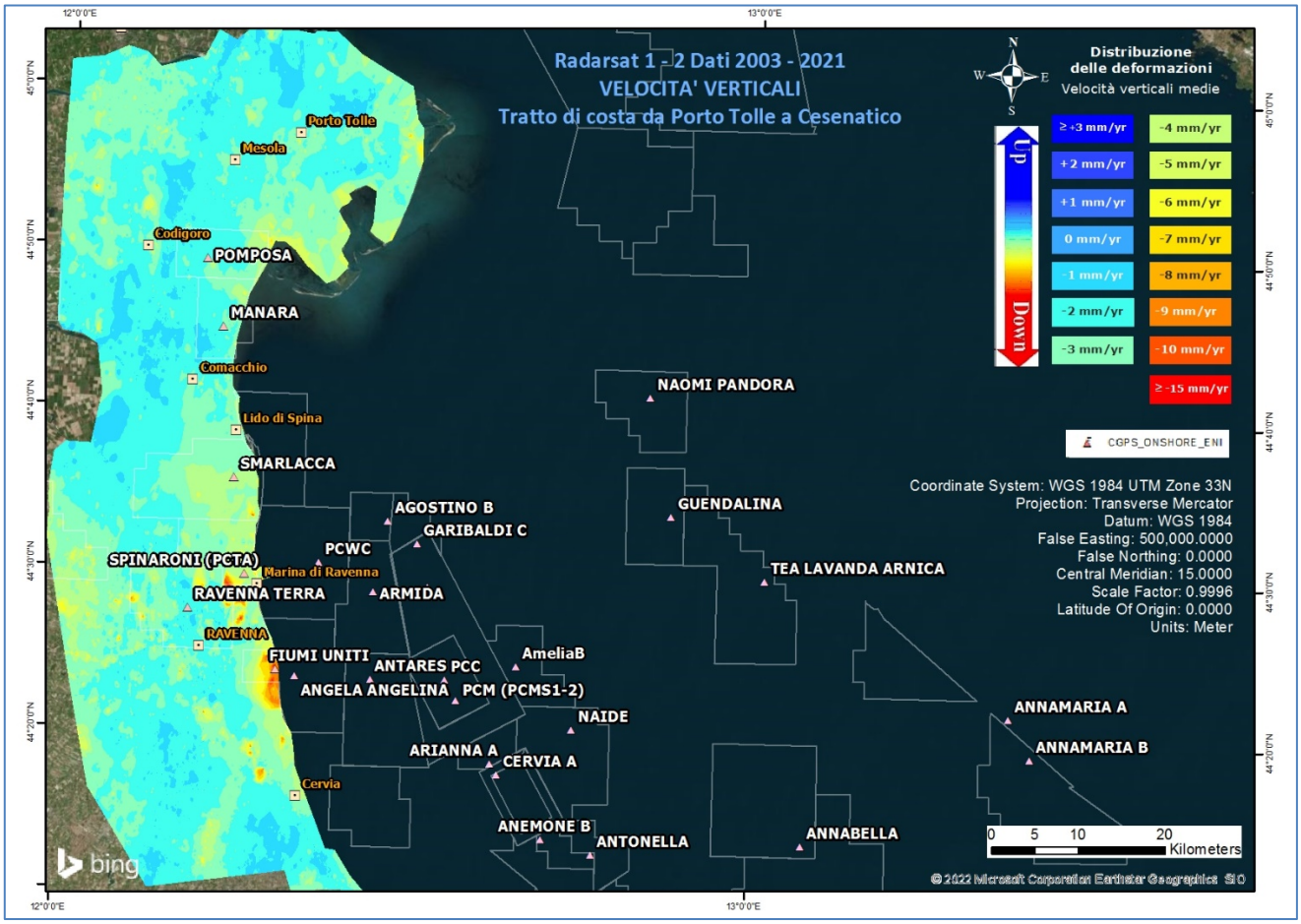


Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2021, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

Come già effettuato precedentemente, il data set dell'area di Fano-Ancona (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 una differenza inferiore a 1 mm (Tab. 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m di raggio, e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono all'interno di questo intorno. Considerata la differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR

(-0,32 ± 0,89 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 0,03 mm/anno in media.

In Fig. 3 è visualizzata l'interpolazione dei dati raggruppati, 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®.

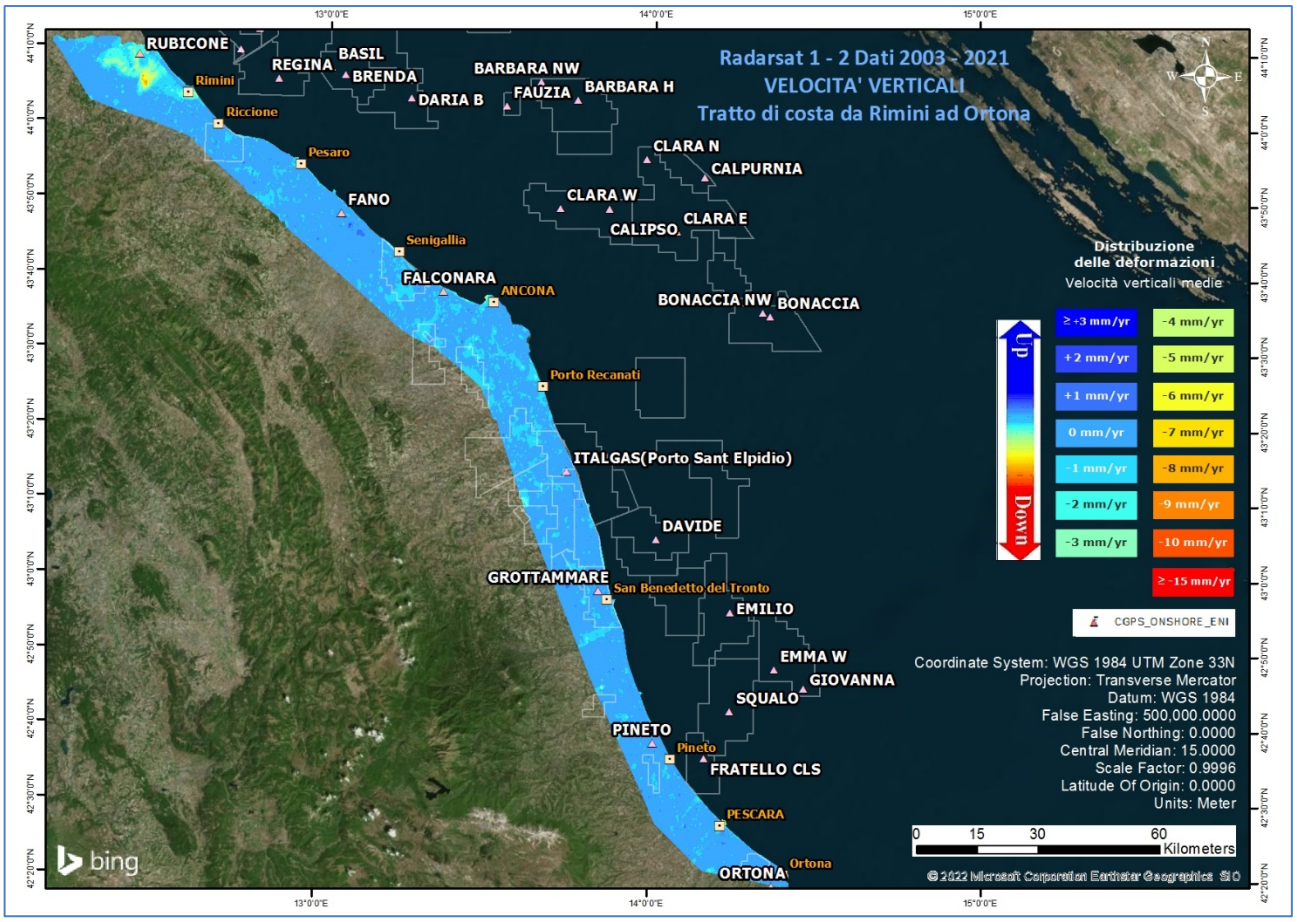


Fig. 3 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2021Tratto di costa da Rimini ad Ortona, con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

Confronto dati SAR 2003 – 2020 vs 2003 – 2021

Il processo di sottrazione tra IDW 2020 e IDW 2021 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 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.

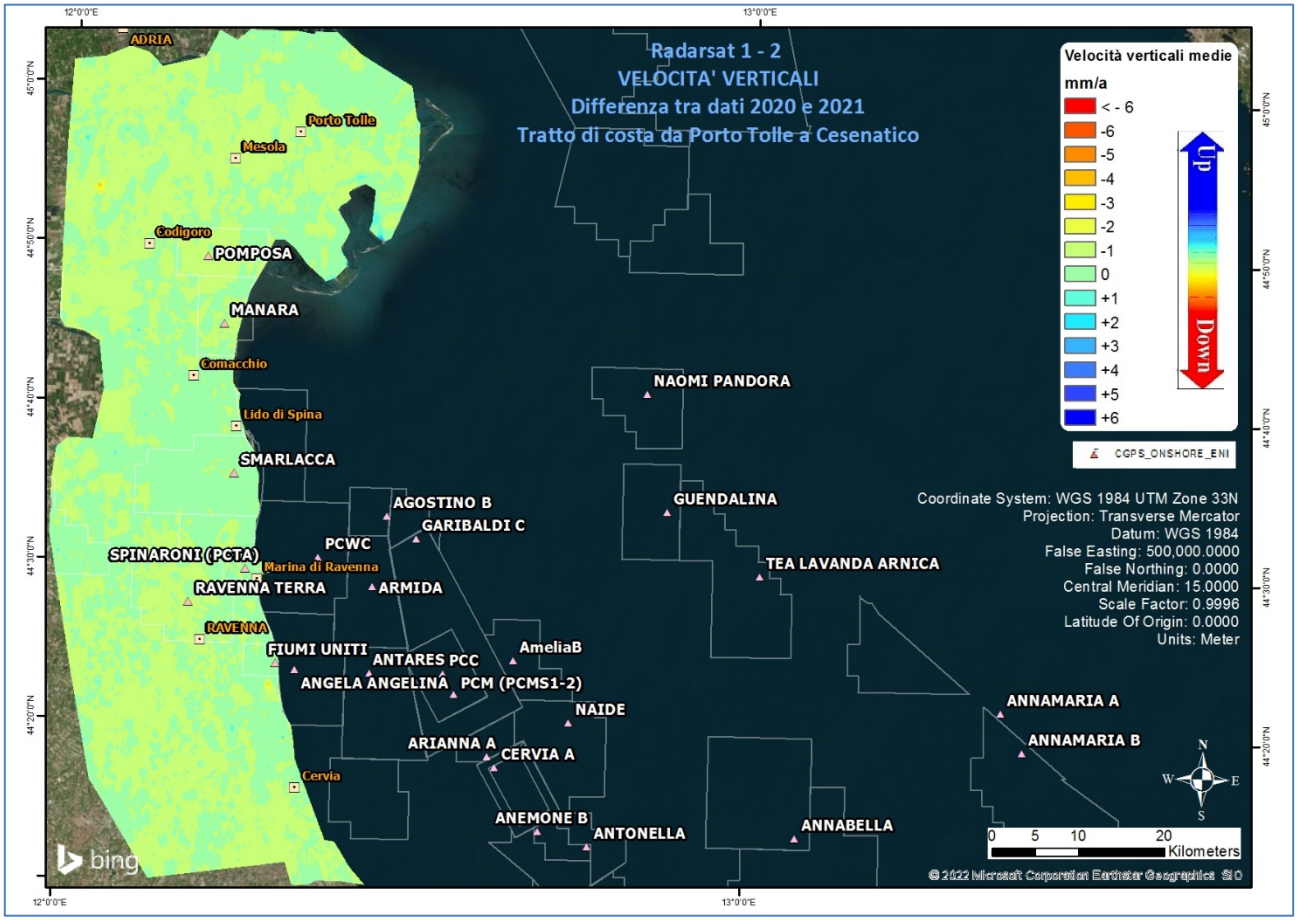


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003 – 2020 e il 2003 - 2021, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

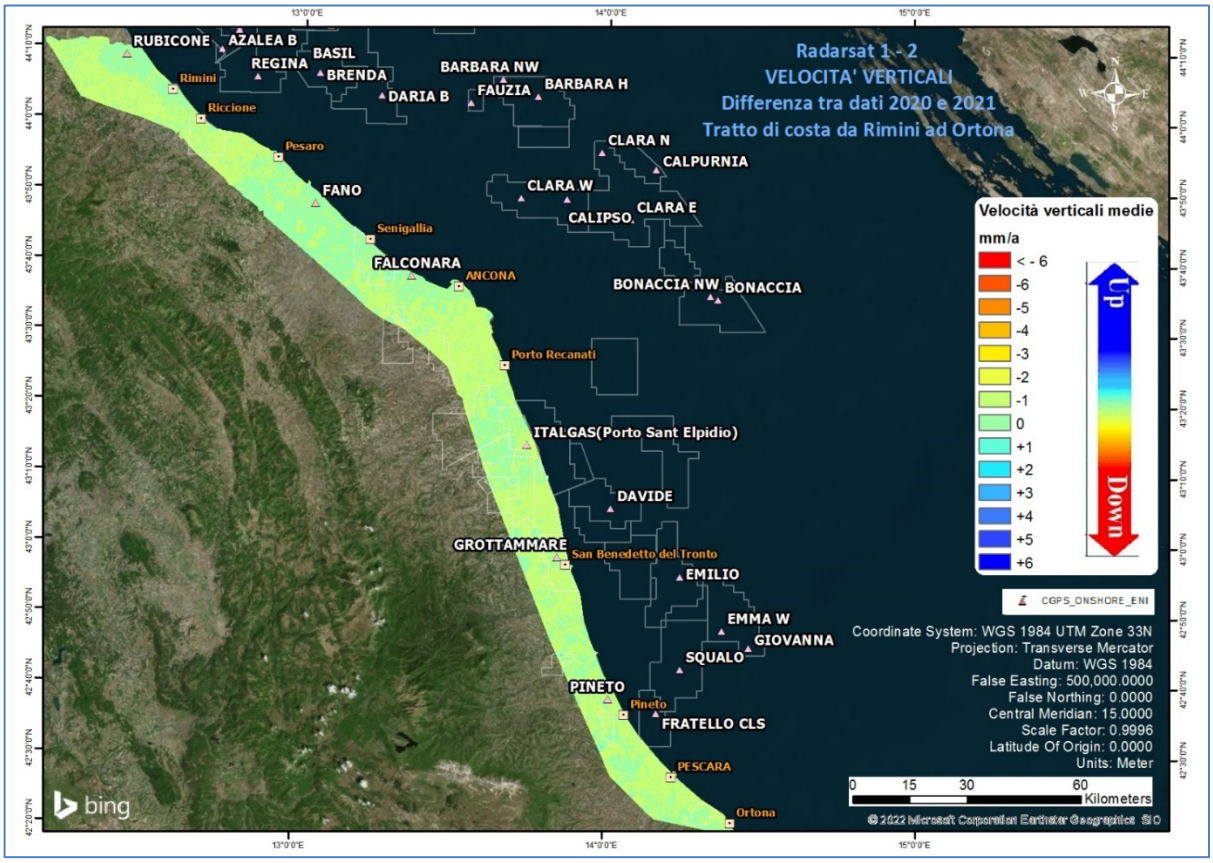


Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003 – 2020 e il 2003 - 2021, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

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

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

tano caratteristiche tali da permettere misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio così da poter evidenziare spostamenti relativi dei PS nel tempo anche solo di pochi millimetri. L'interferometria differenziale si basa su un sensore SAR a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e riceve il segnale retrodiffuso. Misurando il ritardo di fase tra il segnale inviato e quello retrodiffuso si può determinare con estrema precisione la distanza tra il sensore ed il bersaglio. Se l'oggetto si trova in un'area soggetta a fenomeni di deformazione superficiale, il sensore, passando in istanti successivi sulla stessa area di interesse, rileva tra un'acquisizione e l'altra una variazione di distanza. Questo dato, dopo una complessa elaborazione per l'identificazione dei punti di misura e la rimozione dei contributi spuri (ritardi atmosferici, imprecisione nella conoscenza delle orbite, ecc.), rende possibili misure estremamente accurate di eventuali spostamenti superficiali lenti dell'area di interesse. Una delle peculiarità del metodo PSP è quella di sfruttare solo le proprietà del segnale relative a coppie di punti vicini, sia per identificare sia per analizzare i Persistent Scatterers. Infatti, due punti vicini sono affetti allo stesso modo da artefatti atmosferici ed orbitali, ed in generale da tutti i contributi correlati spazialmente (anche i movimenti non lineari nel tempo). Il metodo PSP presenta le seguenti differenze rispetto alle tecniche PSI standard:

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

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

Appendice B: Stazioni *EPSU* lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - aggiornamento a dicembre 2021

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.

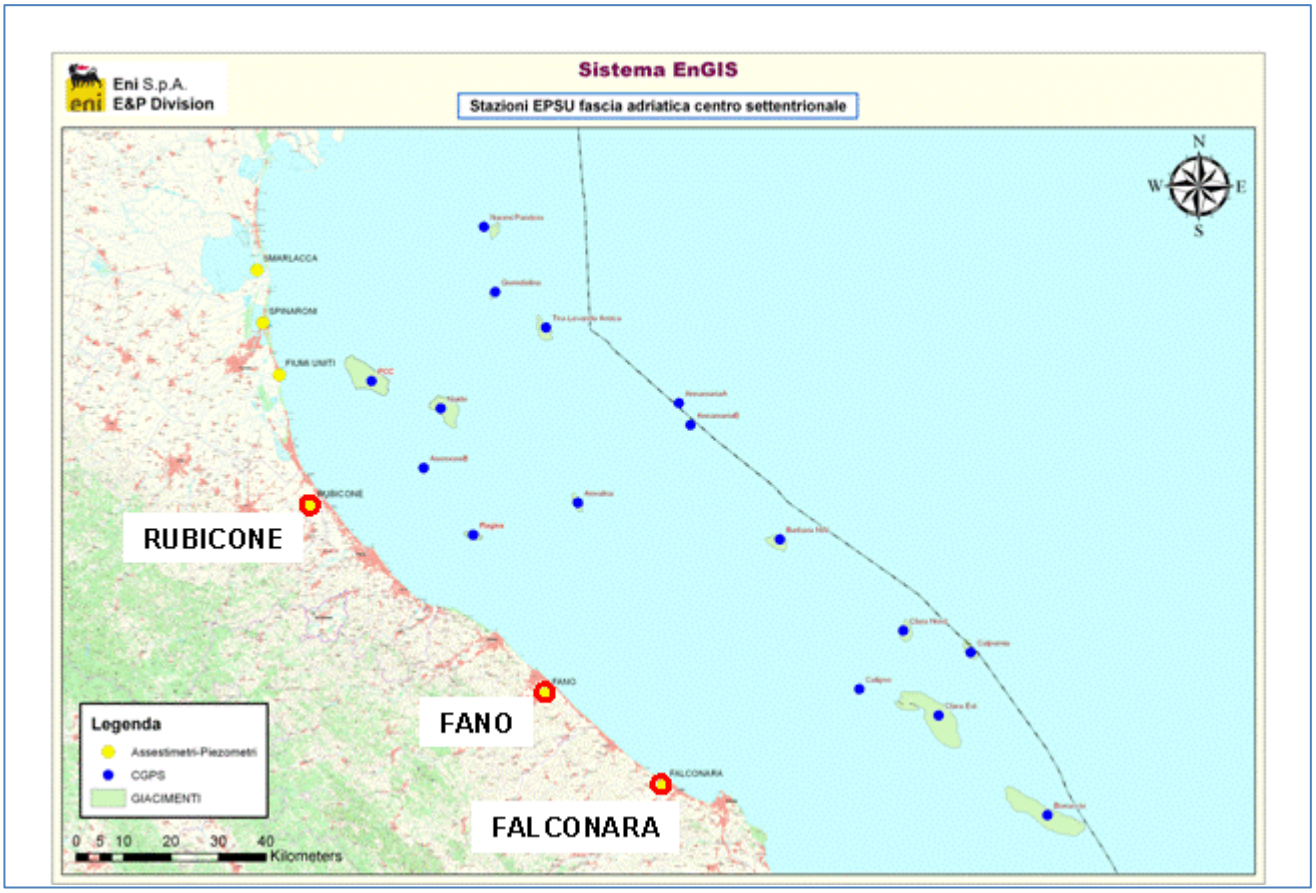


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

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

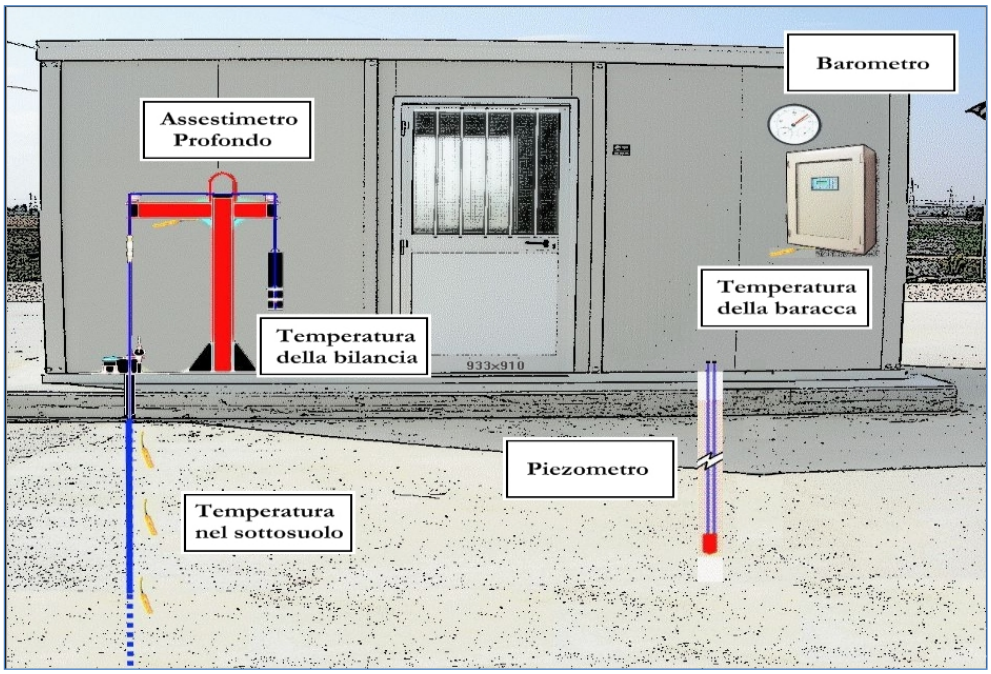


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

Località	Pozzo	Strumentazione	Profondità (da P.C.)	Data d'installazione
Rubicone	CGRA-1	Assestimetro profondo	320 m	Gen. 2009
	CGRP-1	Piezometro cella singola	178 m	Gen. 2009
	CGRP-2	Piezometro cella doppia	146 m e 70 m	Gen. 2009
Fano	CGFNA-1	Assestimetro superficiale	40,8 m	Lug. 2008
	CGFNP-1	Piezometro superficiale	6,1 m	Lug. 2008
Falconara	CGFLA-1	Assestimetro superficiale	40,3 m	Lug. 2008
	CGFLP-1	Piezometro cella singola	21 m	Lug. 2008

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata dicembre 2009)

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

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

Strumentazione:

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

La strumentazione messa in opera nella stazione è illustrata schematicamente nelle Figure 4B e 5B mentre la Figura 6B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzo assestimetrico e dalle 2 verticali piezometriche.

La raccolta dati è iniziata l'8 aprile 2009.

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

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

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

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

A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) - il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi fosse comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri: le letture

manuali, effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili presentando per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1 cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati integri e affidabili per restituzione dei dati. A giugno 2018 è stato sostituito un trasduttore di pressione del piezometro a 178 m. Verso la fine del 2021 nelle giornate 01 e 02 dicembre è stata effettuata un'attività di lavaggio e spurgo dei 3 piezometri del sito, con anche un controllo generale della strumentazione. Dopo il lavaggio, di ogni singolo piezometro, sono state eseguite le prove di dissipazione dell'acqua immessa (carico idraulico) nei piezometri, durante l'attività di spurgo e lavaggio. Con queste prove si è potuto verificare il corretto funzionamento delle celle filtranti, attraverso una serie di misure manuali (con freatimetro), durante la fase di deflusso dell'acqua, rilevando il tempo necessario al ristabilirsi del livello di falda, che era stato misurato prima e poi dopo l'attività di pulizia dei piezometri.

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

Tutti e 3 i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dati. Durante l'esecuzione del lavaggio sui due piezometri installati nello stesso foro (-70 m e -146 m), sono state eseguite misure con freatimetro all'interno di un tubo del piezometro profondo (-146 m) durante il lavaggio del superficiale e viceversa durante il lavaggio del piezometro profondo, senza mai notare nessuna interferenza o variazione dei livelli di falda, potendo così escludere comunicazione idraulica tra le due verticali piezometriche. Da segnalare che al termine delle operazioni di spurgo/lavaggio il piezometro a -70 m ha evidenziato un livello dell'acqua a bocca tubo "quasi statico", con dissipazione praticamente assente nelle ore immediatamente successive al lavaggio (Figura 3B), gli altri 2 piezometri hanno ristabilito quasi immediatamente il loro livello piezometro di "pre-lavaggio". Nel pozzo piezometrico a 178 m di Figura 3B vengono indicati anche i livelli piezometrici (178.1 m e 178.2 m) di entrambi i trasduttori di pressione installati nei due tubi dello stesso piezometro. Il piezometro a -70 m, anche in attività di pulizia effettuate negli anni passati, ha sempre presentato il medesimo comportamento ossia un maggiore ritardo nel ristabilire il livello piezometrico originario; probabilmente il livello freatico -70 m ha un livello di permeabilità molto più basso degli altri due acquiferi monitorati.

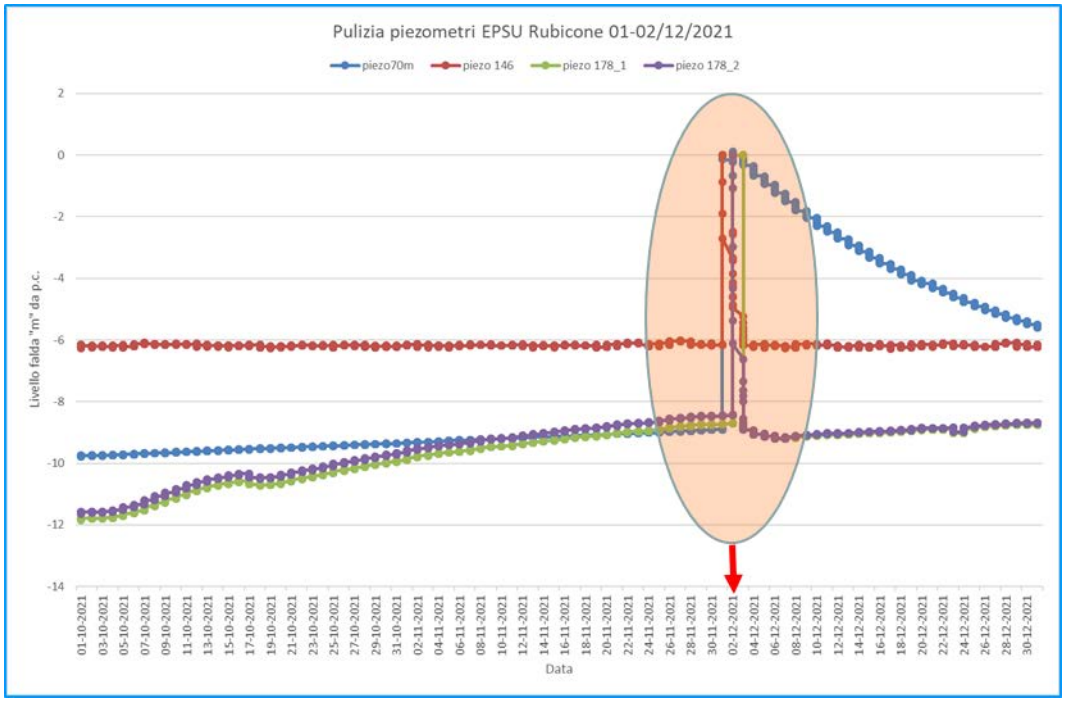


Figura 3B – Andamento livello piezometrico dei piezometri pre e post lavaggio. Da notare il comportamento del piezometro a -70 m che ristabilisce il suo livello piezometrico più lentamente rispetto agli altri 2.

Per tutto il 2021 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

Nel corso del 2020 e del 2021, a causa della situazione pandemica è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione in data 02 agosto 2021, 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 7B) 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. o 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 8B e 9B). Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestimetro si correla molto bene con le variazioni di livello dell'acqua nelle tre falde monitorate dai piezometri rispettivamente a 70 m, 146 m e 178 m di profondità. Per tutto il periodo osservato si nota, infatti, un ritardo medio di circa 1÷1.5 mesi nella espansione/compattazione del terreno rispetto all'escursione massima (marzo/aprile) e minima (agosto/settembre) dei livelli di tali falde Figura 8B e Figura 9B (confronto delle misure piezometrica profonda e assestimetrica dell'ultimo anno).

Analisi dei dati piezometrici

Nei grafici dei piezometri (Figura 7B) 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 8B è stata eliminata l'informazione della pressione barometrica e si può meglio apprezzare l'elevata correlazione tra le pulsazioni del terreno, registrate dall'assestimetro, e la dinamica annuale delle falde freatiche, che accanto alla componente naturale sembra essere l'unica responsabile della compattazione totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestimetro.
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 – vedi tabella di pagina 34). Nel mese di ottobre 2012 sono stati puliti e controllati i 3 piezometri, verificando il loro buon funzionamento. Un nuovo spurgo è stato fatto a fine

settembre 2014 e si può osservare dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua.

A dicembre 2017 è stata fatta una manutenzione straordinaria con spurgo e lavaggio dei tre piezometri con controllo di tutti i trasduttori di pressione.

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

Tutti e 3 i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dei dati. Nell'occasione sono stati ritarati tutti i trasduttori di pressione, la cui affidabilità è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatimetro.

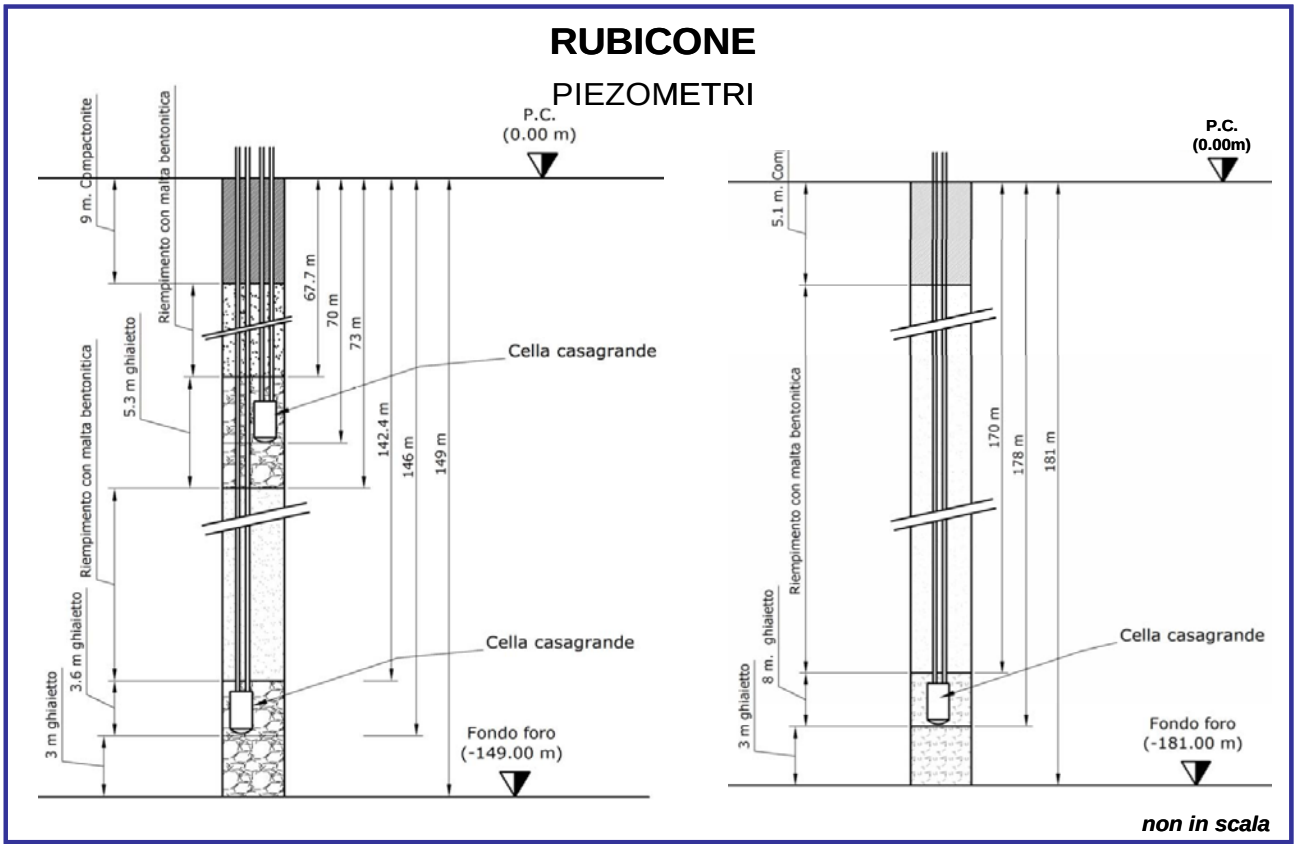
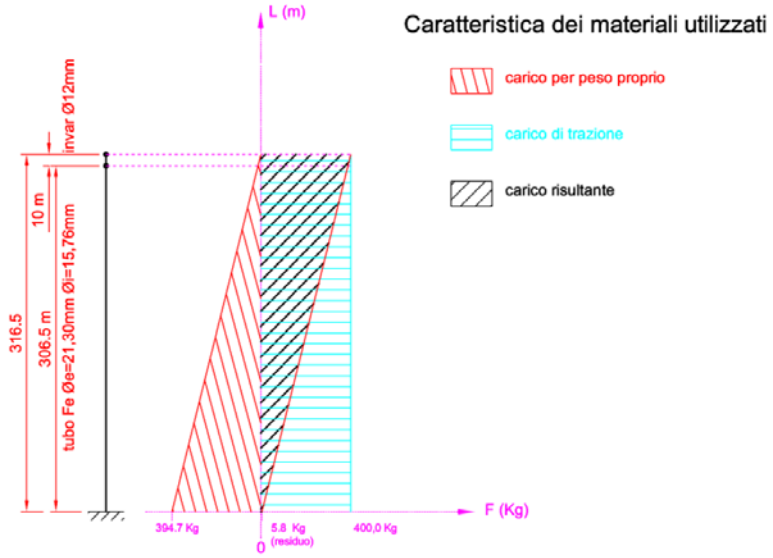


Figura 4B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

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.



BARRA IN INVAR:
- lunghezza totale = 10 m
- Ø barra = 12 mm (S = 113,1mm²)
- E = 142 000 MPa
- Rs = 280 MPa
- A% = 30%
- ρ = 8,125 Kg/dm³
- massa totale = 9,2 Kg

TUBO IN Fe:
- lunghezza totale = 306.5 m
- Øe = 21,3 mm x Øi = 15,76 mm (S = 161,2 mm²)
- E = 210 000 MPa
- Rs = 195 MPa
- A% = 20%
- ρ = 7,8 Kg/dm³
- massa totale = 385.5 Kg

Figura 5B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

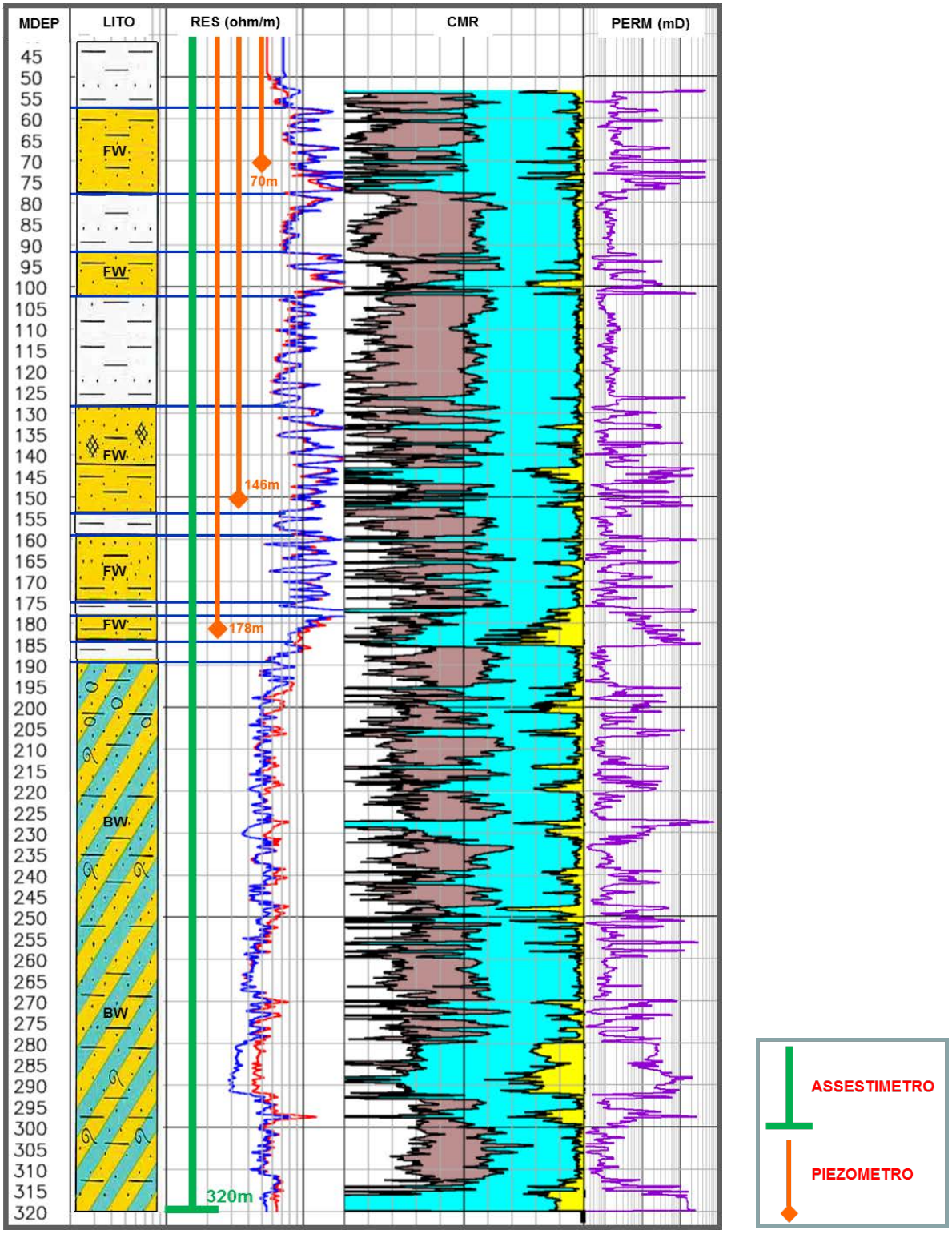


Figura 6B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)

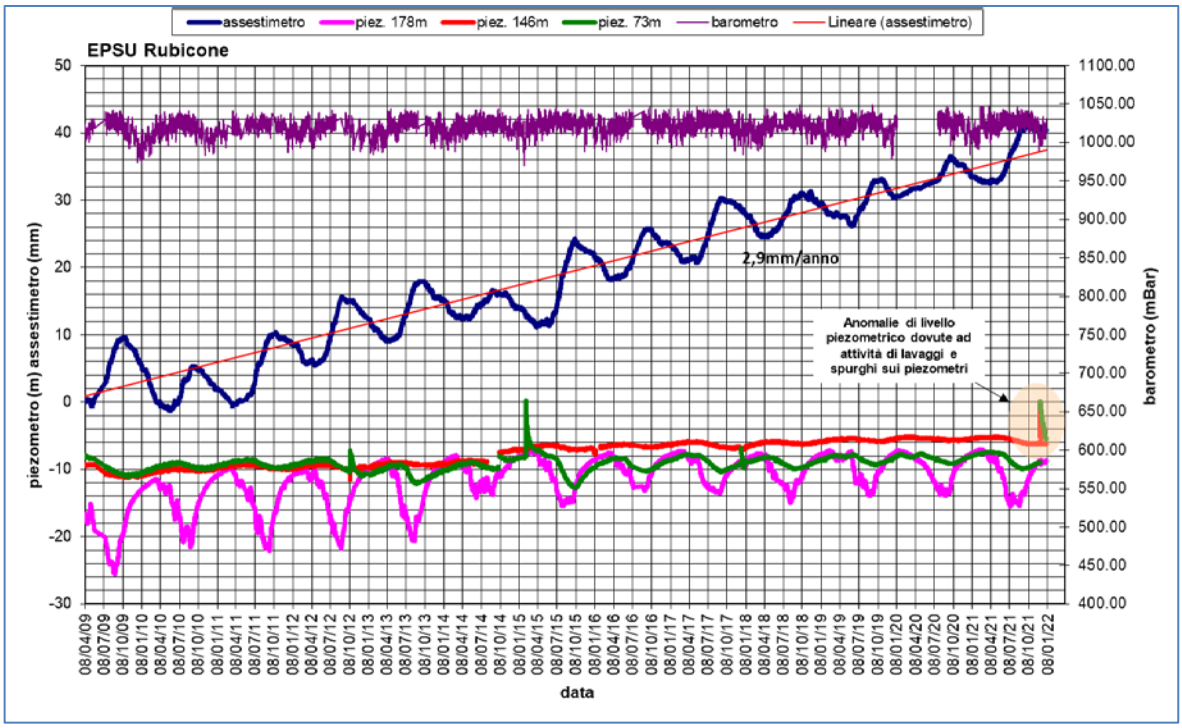


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche

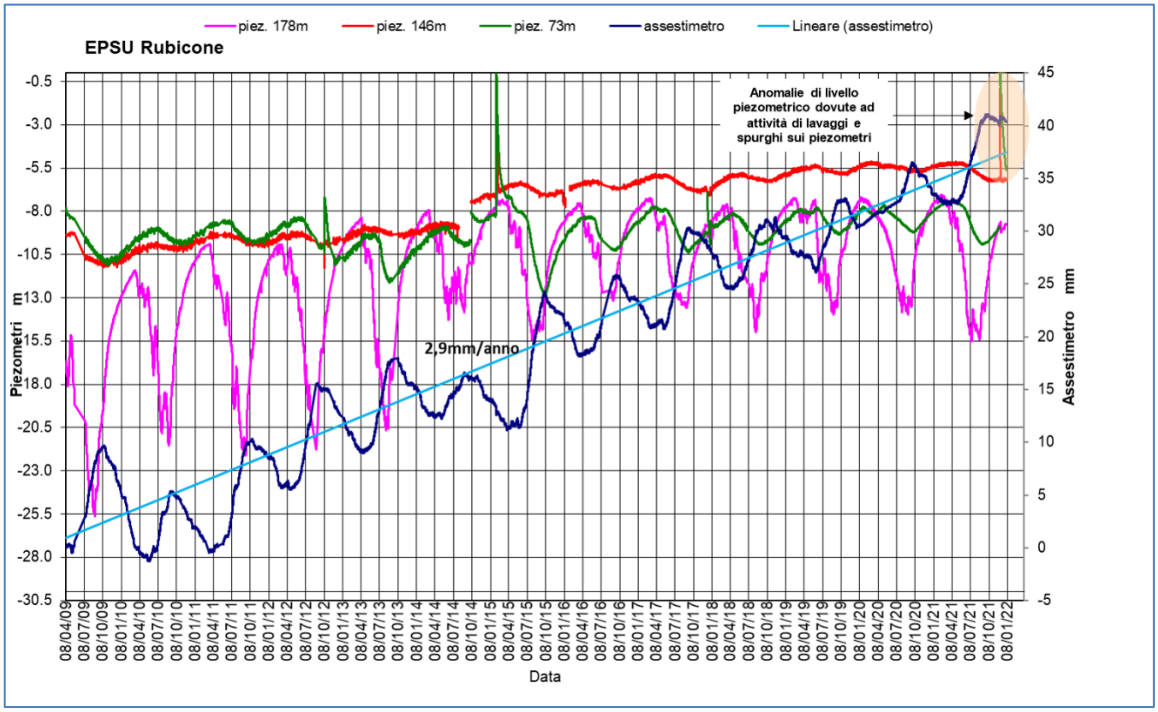


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche e assestimetriche.

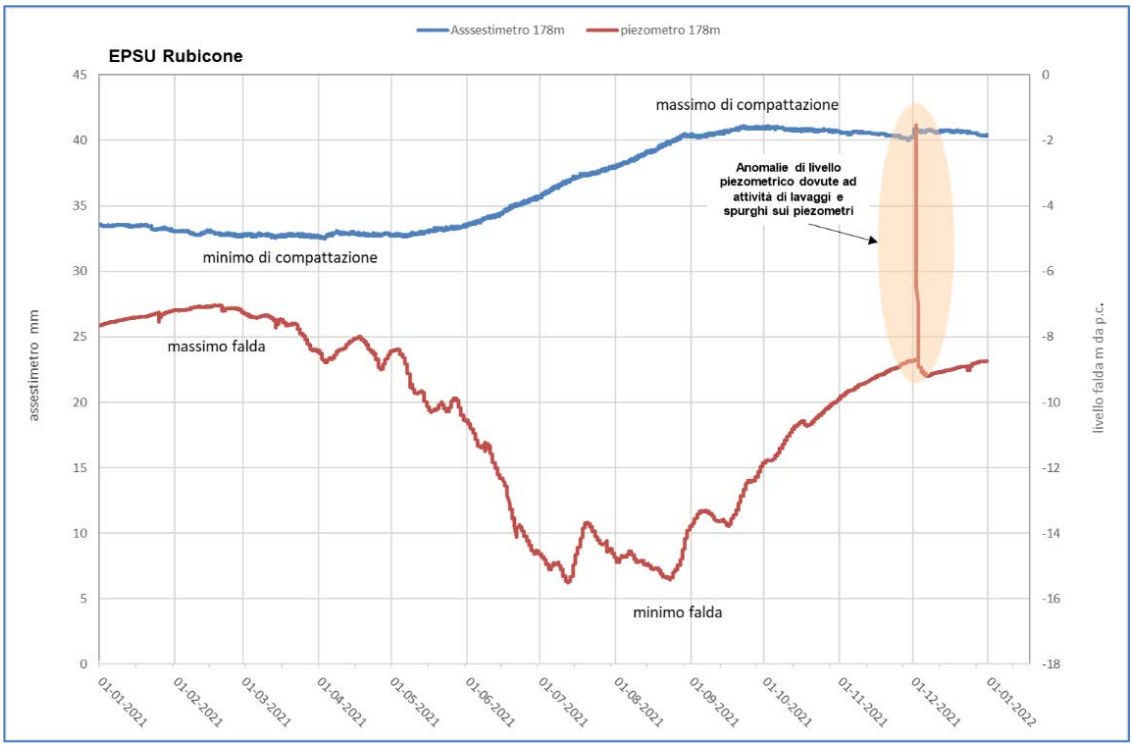


Figura 9B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

Stazione *EPSU* di FANO (installata ottobre 2008)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 43° 48’ 28.37’’N e 13° 02’ 25.78’’E.
La stazione è ubicata, ad una altitudine di 13.5 ms.l.m., a circa 4.5 km a SSE della città di Fano (PU), lungo la sponda sud (destra) del fiume Metauro, a circa 2.5 km dal mare Adriatico ed all’interno della centrale gas Eni denominata “Fano”.

Strumentazione:

- 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;
- dal 19 maggio 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

Nel periodo monitorato (10/2008 - 12/2021) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico né a livello di apparecchiatura d’acquisizione dati; per tutto il 2021 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie storiche registrate.
Come nel 2020, nel corso del 2021, a causa della situazione pandemica, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 02 agosto 2021, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.
Il 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1” ½ .

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nel grafico allegato (Figura 12B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. In particolare, la quota piezometrica, ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna, è riportata in metri. Il valore della pressione atmosferica, con cui sono state corrette le piezometrie, è indicato in mbar. I dati relativi all'assestimetro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero").

Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

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

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

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

Nel corso del 2021 (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 2021 l'assestimetro registra, quindi di nuovo, una compattazione di ca. 1 mm (0.97) con una compattazione complessiva totale nell'anno nulla (Figura 13B).

Le misure assestimetriche, acquisite nei circa 13 anni di osservazioni in questa stazione, mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del

terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva (-0.003mm/anno) pressoché nulla (Fig.12B) a parte le variazioni cicliche stagionali.
Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestimetrica mostra una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestimetrica si presenta sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 12B e Figura 13B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 11B) quando varia la pressione. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestimetrico.

Analisi dei dati piezometrici

Nel grafico di Figura 12B sono riportati i valori (in m) misurati dal piezometro Casagrande a doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½. L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ±7 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata il 2 agosto 2021. Successivamente, In data 30 novembre è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio e sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione. Al termine dell'attività di manutenzione il piezometro è risultato integro e perfettamente funzionante.

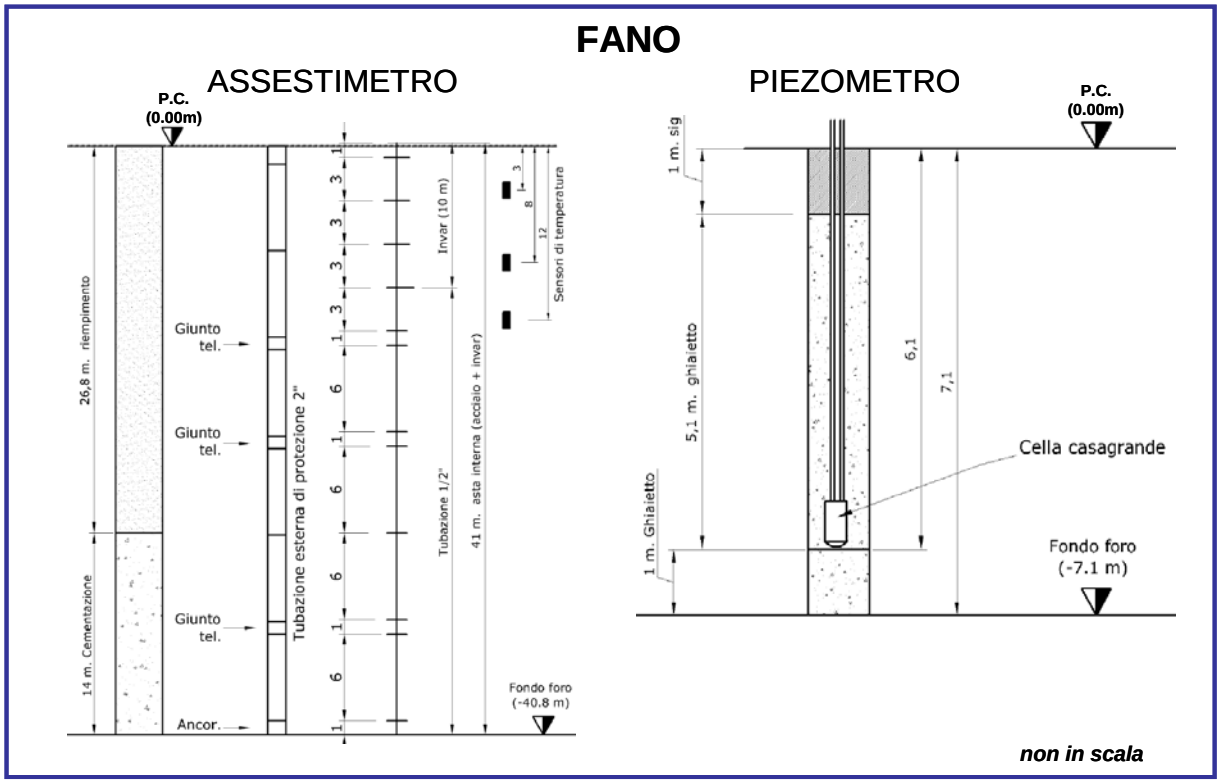


Figura 10B - Stazione EPSU di Fano

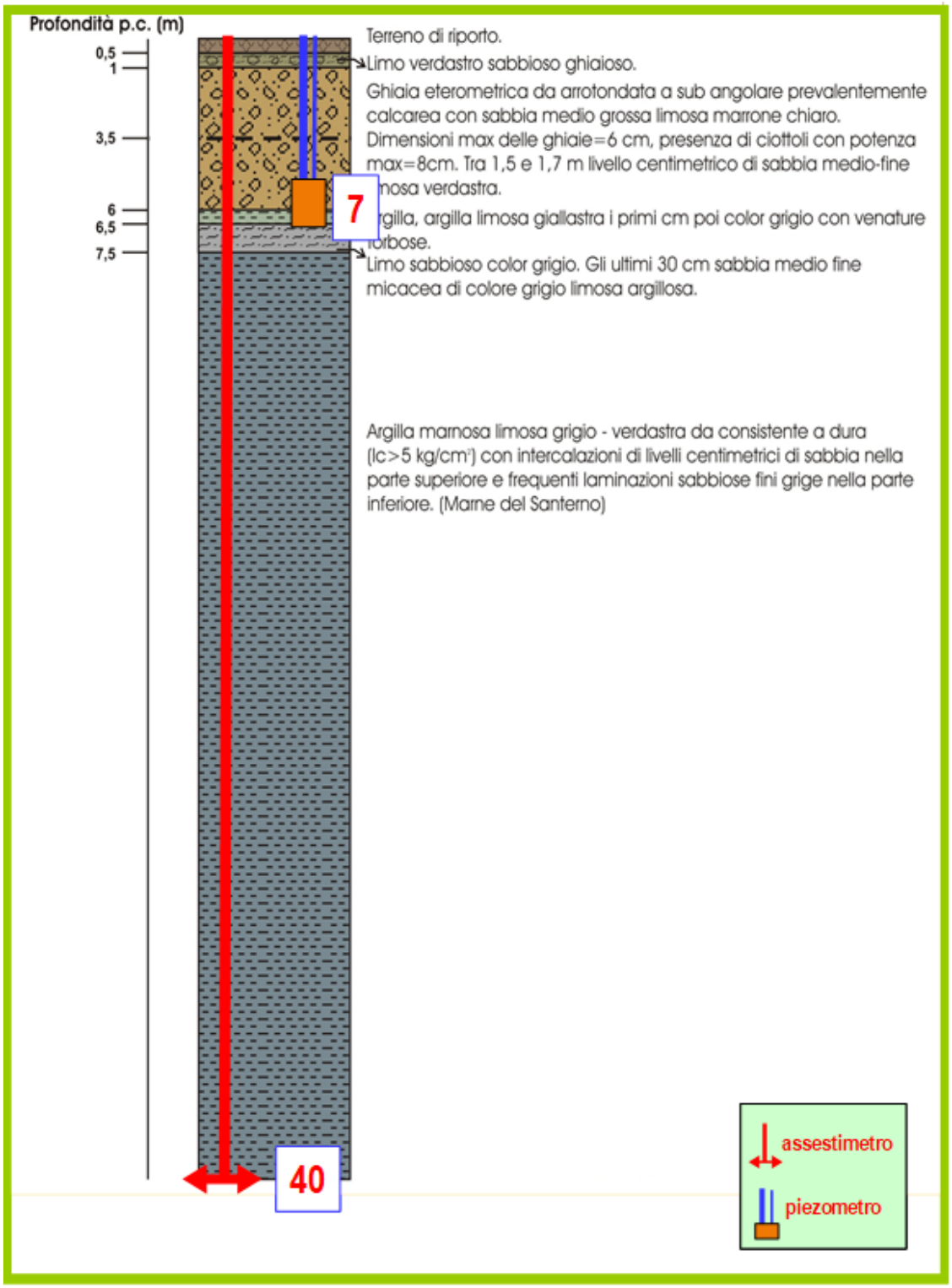


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

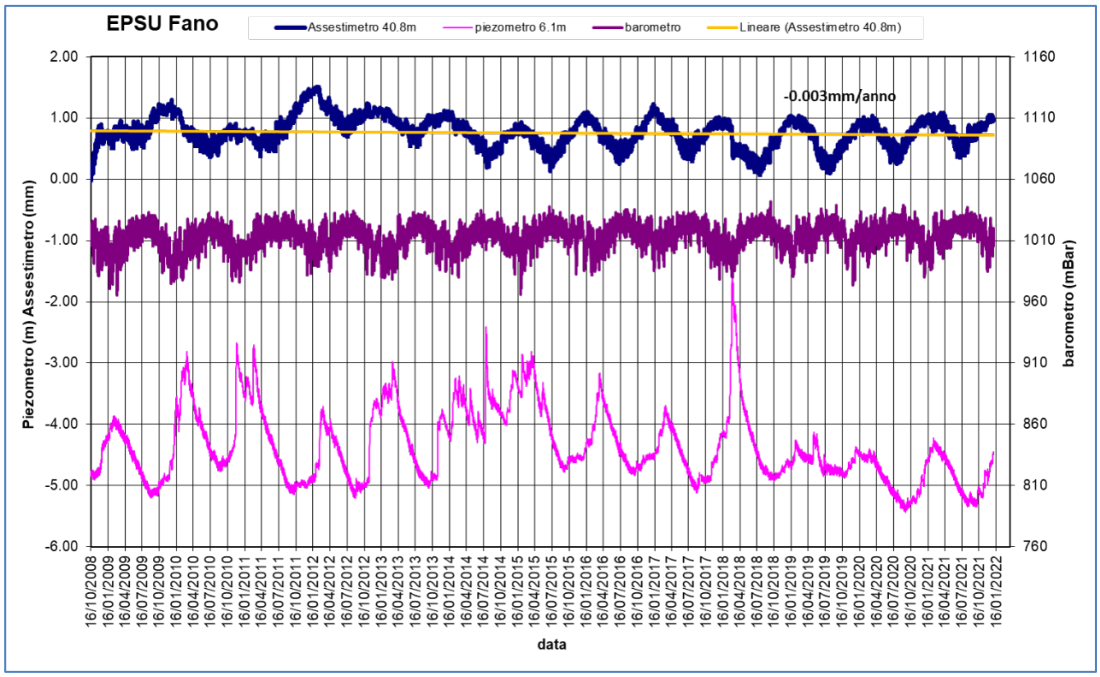


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

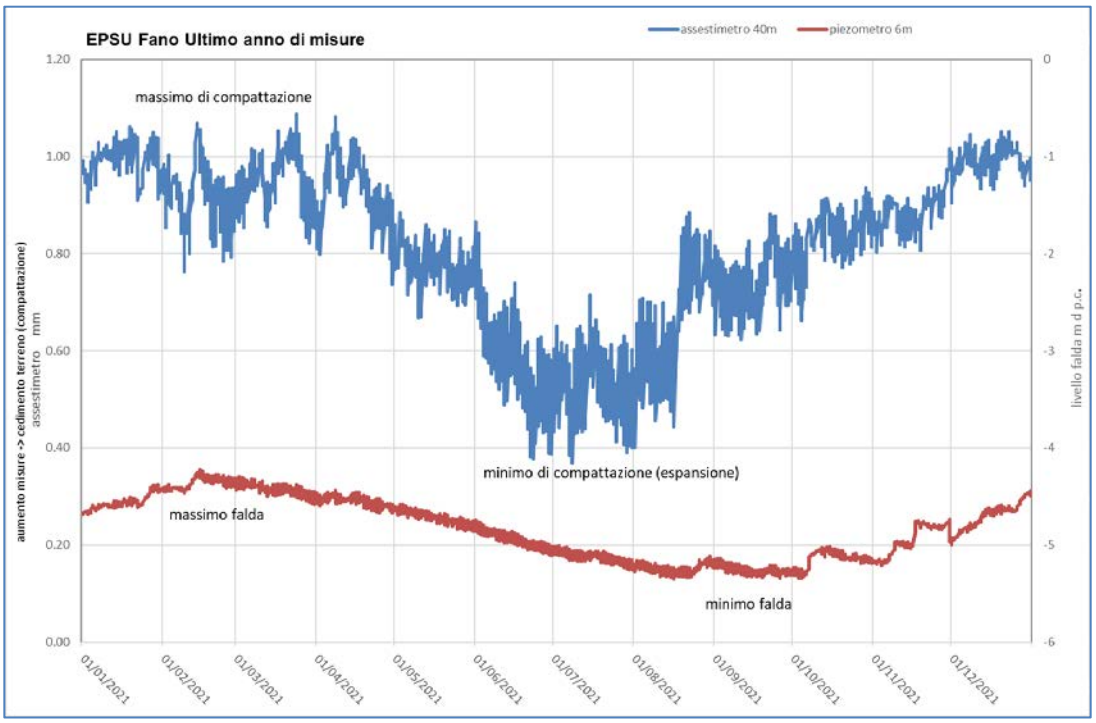


Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata ottobre 2008)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 43° 38’ 28.86’’N e 13° 21’ 23.69’’E.
La stazione è ubicata, ad una altitudine di 3.5 ms.l.m., a circa 750 m a sud-ovest della località Marina di Rocca Priora e dal mare Adriatico, lungo la sponda nord (sinistra) del fiume Esino ed all’interno della centrale gas Eni denominata “Falconara”.

Strumentazione:

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

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 14B, mentre la Figura 15B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.
La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008.
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 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

Nei periodi 07 ottobre 2011- 02 novembre 2011 e 03 dicembre - 13 dicembre 2011 si è avuto un problema d’alimentazione all’apparecchiatura d’acquisizione automatica dei dati, con conseguente mancata registrazione degli stessi. Identico problema si è verificato tra febbraio e aprile 2012; si è perciò sostituito parte dell’hardware del sistema d’acquisizione.
Nel 2021 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.
Come nel 2020, nel corso del 2021, a causa della situazione pandemica, è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 02 agosto 2021, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la taratura di tutti i sensori.
Il 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1” ½.

Analisi dei dati assestimetrici

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

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

Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimetriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio stagionale molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua, a 22 m di profondità, registrate dal piezometro nell'ultimo anno (Figura 17B).

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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.

Come già accenato, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19 è stato possibile effettuare un solo controllo generale della strumentazione il 2 agosto 2021, in cui sono stati fatti i controlli manuali e si è misurato con freatimetro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori: il piezometro è da considerarsi affidabile. In data 30 novembre, come già detto, è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio sul piezometro realizzato con Cella Casagrande e doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½. Anche in questa occasione sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione e Il piezometro sottoposto a manutenzione ha risposto in modo positivo durante l'attività di pulizia, risultando integro e perfettamente funzionante.

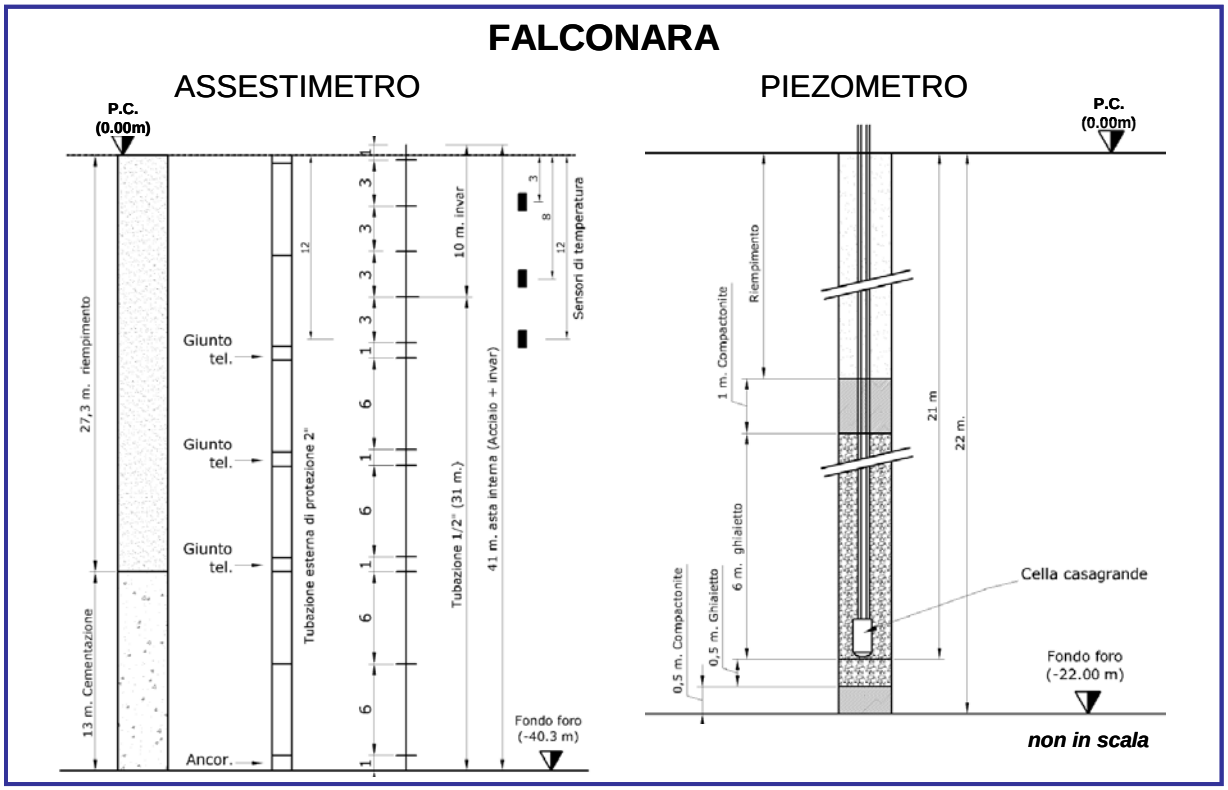


Figura 14B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

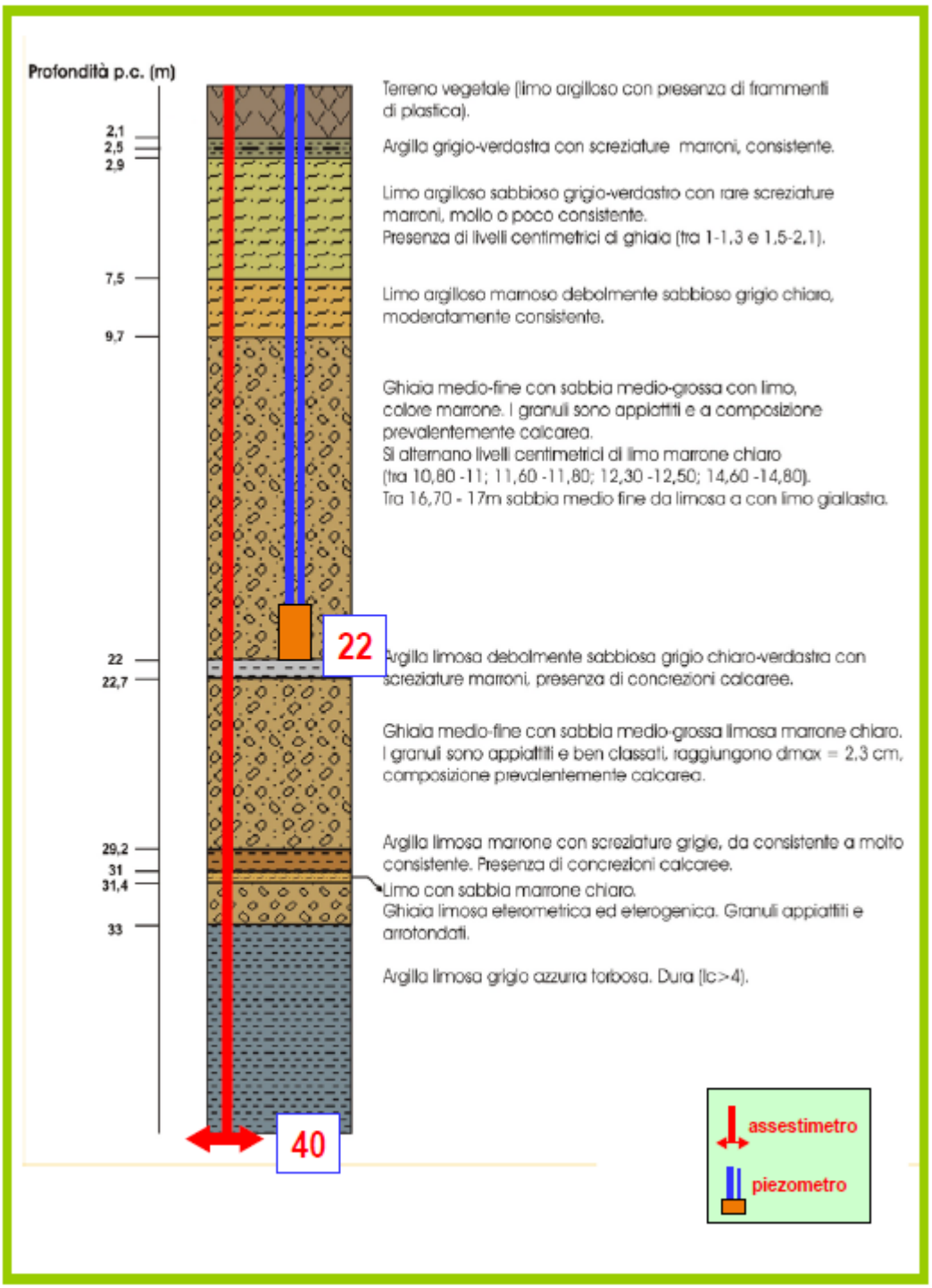


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

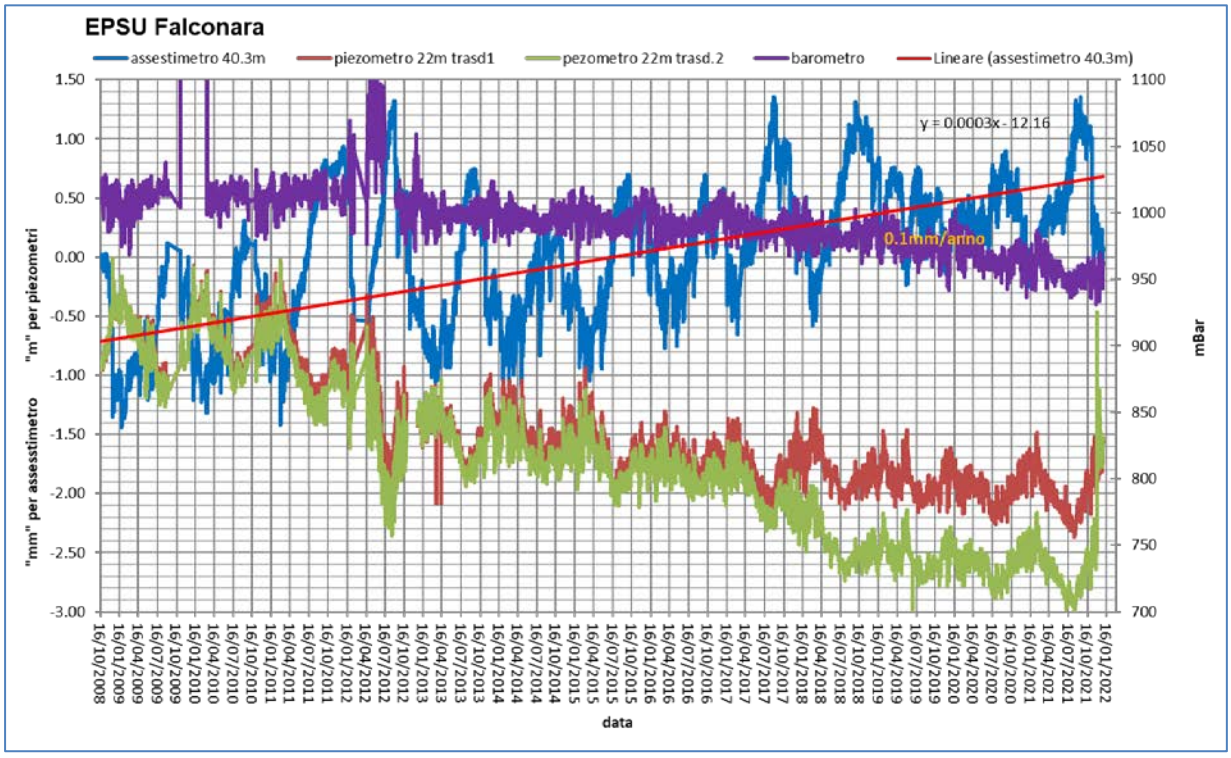


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

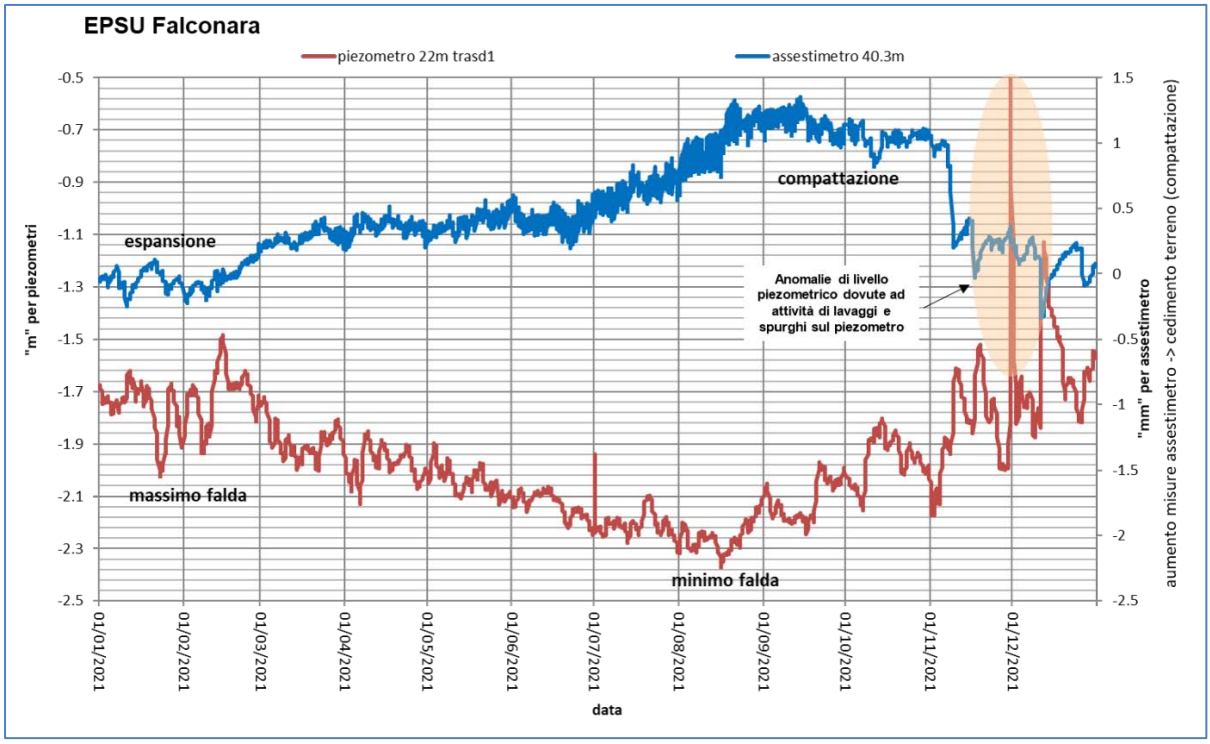


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

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 2021, dopo 12.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 40.3 mm, che equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 3.1 mm/anno. Tale valore resta circa uguale, 2.9 mm/anno, 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 13 e più anni (13.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.97mm). 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 31/12/2021 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2021 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. Questo procedimento potrebbe pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici. Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di compattazione del terreno (valori piccolissimi). In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

Sito	**Anni di osservazione**	**Assestimetro profondo**		**Assestimetro superficiale**	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
Rubicone	12.73	40.3	3.1	n.i.	-
Fano	13.21	n.i.	-	0.97	n.v.
Falconara	13.21	n.i.	-	0.08	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile