

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 1 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

## Campo di REGINA

Aggiornamento al 31/12/2021

Il campo di Regina è situato nell'offshore Adriatico a circa 16 km dalla costa e a una profondità d'acqua di circa 20 m, nella concessione A.C17.AG (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C17.AG	26/05/27	Eni	Eni Energean Italy	75% 25%	Emilia Romagna

La struttura del giacimento Regina è costituita da un'anticlinale asimmetrica orientata NW-SE, delimitata verso Nord e verso Est da una variazione laterale di facies e a Sud-Ovest da una faglia con direzione NW-SE. La serie mineralizzata a gas è compresa tra i 980 e 1250 m slm e interessa 3 livelli principali della serie PL1 (livelli KLX, PX e R della formazione dell'alto di Canopo); l'estensione massima del giacimento è di circa 6 km<sup>2</sup> (Figura 2 e Figura 3). La revisione del modello geologico eseguita nel 2006 (rel. INPE-GEAU 40/06 del 27/10/06) ha evidenziato che tali livelli sono costituiti da banchi di sabbie grossolane amalgamate di diversi metri di spessore e con buone caratteristiche petrofisiche (permeabilità superiori ai 200 mD), che non trovano corrispondenza in nessuno dei giacimenti della serie pliocenica adriatica.

Il campo è stato scoperto nel 1995 con il pozzo Regina 1, rinvenuto mineralizzato a gas e completato per la produzione. Nel 1996 è stato perforato un secondo pozzo (Regina 2) per meglio definire la struttura. Tale pozzo è stato oggetto di un *side-track* per controllare il culmine della struttura dei livelli PL1 e PL. Nell'aprile 1996 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente lo sviluppo del campo attraverso la perforazione di un massimo di 6 nuovi pozzi da una piattaforma tipo BEAF e la posa del relativo *sealine* di collegamento. Nel documento SIA è stato riportato un profilo di produzione derivante dallo studio di giacimento (modello monocella) dell'agosto 1995. Tale profilo stimava riserve a vita intera pari a 2503 MSm<sup>3</sup> producibili al 2006 con un picco di produzione giornaliera di 1200 kSm<sup>3</sup>/g. La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello del tipo Geertsma cilindrico, risultava pari a 7.2 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; sempre alla stessa

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 2 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) si estendeva per circa 2 km verso la costa.

In seguito al Decreto VIA n° 2734 del 4/04/97 che approvava il programma lavori presentato, nel 1997 si è sviluppato il campo con la perforazione di 3 pozzi (Regina 3D, 4D e 5D) da una piattaforma di tipo BEAF. Il pozzo Regina 3dir, inizialmente progettato come deviato, veniva modificato per essere equipaggiato nella parte più profonda (998÷1218 m) con *marker* per il monitoraggio in situ della compattazione profonda, come prescritto dallo stesso Decreto VIA. I *marker* inizialmente messi in opera sono stati 22; di questi solo 5 hanno interessato il livello principale PX, fortemente ridotto in questo pozzo. Le operazioni di tubaggio del pozzo hanno, purtroppo, portato alla perdita di uno di questi 5 *marker* riducendo così la zona di monitoraggio nel sopracitato livello PX a soli due intervalli (rel. *Eni-TERA 01/2006 dell'ottobre 2006*). Nella serie mineralizzata monitorata anche il livello R è stato interessato da un solo "*marker spacing*", mentre il livello KLX è stato trovato argillificato in questo pozzo. Il campo è entrato in produzione nell'agosto del 1997 con quattro pozzi produttivi (tre nuovi e Regina 1 già esistente) e con una portata iniziale di circa 1500 kSm<sup>3</sup>/g. Nei primi 5 anni di produzione il comportamento produttivo del giacimento e in particolare quello del livello PX (il principale livello del campo) è risultato del tutto in linea con la previsione iniziale, dando così un'apparente conferma della bontà del modello geologico e dei parametri petrofisici assunti nello studio di giacimento dell'agosto 1995. Tale situazione ha indotto, altresì, a ritenere che fosse del tutto "normale" e in linea con la previsione iniziale anche la compattazione dei livelli produttivi.

Questo convincimento, unito anche a considerazioni generali sui rischi operativi connessi con la discesa di sonde in pozzi deviati come Regina 3dir, ha portato a differire nel tempo le misure di compattazione su *marker* dopo i due rilievi iniziali eseguiti nel 1997 (rilievo base del luglio 1997 e successivo rilievo di ottobre 1997).

Nel settembre 2002 e ottobre 2003 si eseguivano nel pozzo i controlli dei *marker*, ben prima, quindi, della seconda fase di sviluppo del campo di cui si dirà nel seguito. Le misure ottenute, pur mostrando una certa compattazione della parte bassa del livello PLX e del livello R, non erano ritenute attendibili perché apparentemente non consistenti con la litologia dei livelli monitorati. Tale ipotesi era anche supportata dal fatto che il campione di misure a disposizione appariva limitato (solo due *marker spacing* nel livello PLX e un *marker spacing* nel livello R) per essere considerato ben rappresentativo.

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 3 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

Nel corso del 2003 veniva fatta una nuova interpretazione dei dati sismici dell'area con una successiva revisione dei modelli statico e dinamico del giacimento per tener conto di probabili compartimentazioni del livello PX emerse dall'analisi delle misure statiche di pressione eseguite alla fine del 2002, e per valutare di conseguenza le azioni necessarie a ottimizzare il recupero di gas. Queste ultime si sono tradotte nel completamento del programma lavori inizialmente approvato che è consistito nella perforazione di ulteriori 3 pozzi (Regina 6, 7 e 8) più un intervento di *work-over* sul pozzo Regina 4, il tutto realizzato nel periodo 2003÷2004. Un ulteriore *survey* dei *marker* eseguito nel luglio 2005 mostrava, però, risultati consistenti con quelli dei rilievi precedenti. Tale fatto, unito ai nuovi dati emersi dalla revisione del modello geologico del 2006, ha portato a riconsiderare tutte le misure dal 1997 e, quindi, utilizzarle poi nello studio di subsidenza completato nel 2006.

Nel settembre 2006 è stata fatta una nuova revisione degli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse*) che ha portato a un aumento del GOIP dei livelli del campo (GOIP studio statico dell'agosto 1995 pari a 3114 MSm<sup>3</sup>, GOIP revisione studio statico del settembre 2006 pari a 4709 MSm<sup>3</sup>) e a una migliore definizione del meccanismo di produzione. Tali risultati si sono tradotti in un incremento delle riserve a vita intera producibili dal campo pari a circa il 59%, in quanto, il nuovo profilo di produzione prevede di recuperare in 18 anni 3986 MSm<sup>3</sup> di gas. In data 20/10/06 il campo di Regina è stato chiuso alla produzione da Eni in ottemperanza con quanto prescritto alla *lettera c.2 del decreto Ministero dell'Ambiente prot. DEC/VIA/2734 del 04/04/97* e come successivamente confermato dal Ministero dell'Ambiente con *nota prot. DSA-2006-0032267 del 12/12/06*. Il campo è stato riaperto in data 28/07/08 con provvedimento del Direttore dell'Ufficio UMNIG XXII sede di Bologna nel rispetto delle condizioni riportate nella *nota n° 3075 del 14/07/08 dell'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia – Ufficio XVIII della Direzione Generale per l'Energia e le Risorse Minerarie del Ministero dello Sviluppo Economico*. La durata complessiva di tale chiusura (circa 21 mesi) è stata considerata nel nuovo aggiornamento dello studio di agosto 2010. Nel corso del 2010 si è, infatti, proceduto a un nuovo aggiornamento del modello di giacimento (*rel. GISE n° 40/10 dell'agosto 2010*) per i livelli principali del campo PL1-PX e PL1-KLX, livelli che contribuiscono a più del 95% del totale della produzione. L'aggiornamento è proseguito, nel corso del 2011, considerando nel modello anche i livelli profondi che hanno contribuito a meno del 5% della produzione totale. La revisione dello studio di giacimento per i livelli

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 4 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

principali del campo (modello *Eclipse* agosto 2010) ha portato a una migliore taratura del meccanismo di produzione, evidenziando sia un ridotto contributo degli acquiferi al sostegno di pressione dei livelli produttivi, sia l'esistenza di barriere a parziale trasmissibilità (faglie) che interessano il livello PL1-PX. Con la revisione del 2010 sono state, inoltre, ridotte (circa 10%), rispetto allo studio 2006, le riserve a vita intera producibili dai soli livelli principali.

Il nuovo profilo di produzione prevede, infatti, il recupero al 2016 di 3596 MSm<sup>3</sup> di gas.

Nel 2013 è stato fatto un ulteriore aggiornamento del modello dinamico di giacimento (rel. *GISE n.36/2013*) i cui risultati confermano sostanzialmente, per i livelli superficiali, quanto ottenuto con lo studio dell'agosto 2010, essendo state stimate riserve pari a 3661 MSm<sup>3</sup> producibili al 2013. Nel 2013 è stata, inoltre, fatta una valutazione del potenziale residuo dei soli livelli profondi (*Appendice studio di giacimento - Sviluppo livelli profondi, Rel. GISE-01/13 - luglio 2013*) della serie PL1 e PL drenati solo in minima parte dai pozzi esistenti nel campo. Il giacimento, infatti, a oggi è stato sviluppato quasi esclusivamente nei livelli principali PL1-KLX e PL1-PX. La revisione del campo ha portato a un aumento di circa il 10% delle riserve producibili a vita intera pari a 4142 MSm<sup>3</sup> recuperabili al 2023. Sulla base di questo studio si sono programmati interventi per ottimizzare il recupero di gas dal campo; tali interventi, realizzati nel 2014, sono consistiti nella perforazione di 3 *side-track* (Regina 6dirB, Regina 4dirB e Regina 5dirA) dalla piattaforma Regina.

Nel 2017 (*Campo di Regina - Aggiornamento modello dinamico, Rel. GISE-EORG 07/17, ottobre 2017*) e successivamente nel 2021 (*Campo di Regina - Aggiornamento dello studio di giacimento-Scheda Riassuntiva, Rel. Eni-IPET B5045B7F-0, ottobre 2021*) il modello dinamico del campo è stato rivisto e aggiornato sulla scorta dei nuovi dati di produzione e pressione (Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7) che ha stimato riserve pari a 3889 MSm<sup>3</sup> producibili al 2022.

In Figura 4 sono riportati gli andamenti storici delle portate di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g) e del volume cumulativo di gas prodotto al 31/12/21 pari a 3888 MSm<sup>3</sup>.

Nella Figura 8 è presentato il confronto tra i profili di pressione calcolati con il modello *Eclipse* 2021 e le pressioni statiche più significative misurate per il livello PL1-PX caratterizzato da una evidente compartimentazione idraulica per faglia e ritenuto tra i più rappresentativi del campo. Come si può notare, esiste in generale un buon accordo tra i dati misurati e quelli

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 5 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

calcolati con modello nonostante alcuni punti misurati e mostrati nei grafici non siano riferiti allo stesso compartimento.

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. Sulla base dello studio di giacimento del 2021 (*Campo di Regina - Aggiornamento dello studio di giacimento-Scheda Riassuntiva, Rel. Eni-IPET B5045B7F-0, ottobre 2021*) è stato aggiornato il modello geomeccanico (*Campo di Regina – Modello geomeccanico di subsidenza – Management Summary, Rel. Eni-IPET 56F64B9C-0, ottobre 2021*) per la previsione della subsidenza indotta dalla produzione del campo.

Il modello geomeccanico utilizzato è un modello 3D agli Elementi Finiti (FEM) e per descrivere il comportamento del materiale si è adottata una legge costitutiva elasto-viscoplastica.

Le informazioni relative alla geometria del giacimento, le proprietà petrofisiche e l'evoluzione delle pressioni sono state ricavate dal modello fluido-dinamico di giacimento realizzato con codice di calcolo Eclipse. Alcuni parametri caratteristici delle leggi costitutive utilizzate nel modello geomeccanico sono stati calibrati in modo da riprodurre le variazioni altimetriche misurate a partire dal 2007 dalla stazione CGPS installata sulla piattaforma di Regina.

L'affidabilità del modello è stata in seguito verificata confrontandone i risultati con le misure di compattazione in situ rilevata tramite marker radioattivi installati sia nel pozzo Regina 3dir (1997-2007) sia nel pozzo Regina 6dirB (2014-2019) e con i dati batimetrici acquisiti nel 2007 e nel 2014. Alla fine produzione, nel 2023, la massima subsidenza attesa è pari a 114 cm mentre a fine simulazione, nel 2053, raggiunge il valore di 131cm. Inoltre, il fenomeno subsidenziale (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) si esaurisce a circa 11 km dalla linea di costa nel 2023, distanza che si mantiene inalterata fino al termine della simulazione (2053). Nelle Figura 9 e Figura 10 è mostrata l'evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm.

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 6 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

È importante sottolineare come il particolare assetto geologico del sottosuolo limiti fortemente la possibilità che il disturbo di subsidenza possa estendersi sino a raggiungere la costa. Tale assetto geologico è ricostruito nella sezione stratigrafico-strutturale di Figura 11, che è stata interpretata su base sismica e controllata con dati di pozzo e nella quale sono evidenziati i rapporti verticali e laterali tra le formazioni (*reservoir* e copertura) e il substrato.

Lungo la direttrice esaminata (WSW – ENE) in direzione della costa, i livelli mineralizzati si chiudono per limite deposizionale e per faglia contro i corpi marnoso-sabbiosi dell'Alto di Canopo che si è strutturato a partire dal Pliocene basale e che costituisce un'importante barriera idraulica verso costa. Tutto ciò esclude la possibilità che un'eventuale depressurizzazione e, quindi, una compattazione dei sedimenti indotta dalla produzione di Regina possa interessare sia le fasce antistanti al litorale che la zona costiera.

I modelli di giacimento e geomeccanico tengono conto ovviamente della presenza di tale barriera idraulica di tipo sedimentologico-strutturale, e coerentemente, prevedono l'esaurimento del fenomeno subsidenziale a grande distanza (circa 11 Km) dalla costa.

Tra il 28 maggio e il 27 agosto 2007 (Figura 12) è stato acquisito nell'area del giacimento di Regina un rilievo batimetrico di precisione (tramite *eco-sounder multibeam* con un'accuratezza della misurazione pari a circa  $\pm 5$  cm), che ha interessato una superficie di circa 400 Km<sup>2</sup> dall'isobata -5 m fino a circa 24 Km di distanza dalla costa.

Per valutare il possibile impatto della produzione del periodo 1997 - 2007 sulla stabilità del fondale marino si è cercato di ricavare una mappa del cono di subsidenza per l'area di Regina come differenza tra il trend regionale prevedibile del fondale stesso e la batimetria misurata nel rilievo del 2007.

Si può notare come i risultati del modello geomeccanico (2021) riproducano con ottima approssimazione sia l'estensione sia il valore massimo di subsidenza stimato dal modello in 74 cm al 2007 (Figura 13 e Figura 14)

Nel corso del 2014 sono stati nuovamente acquisiti rilievi batimetrici *multibeam* (transetti) nel campo di Regina (Figura 12) al fine d'investigare ulteriormente la subsidenza del fondale marino, sia in termini di estensione che di entità. Il nuovo survey batimetrico è stato oggetto di uno studio specifico eseguito presso il Dipartimento di Geologia dell'Università di Bologna dal prof. Gabbianelli (vedi allegato: "*Stima dell'impatto subsidenziale indotto nel fondale marino dalla coltivazione del giacimento di gas metano REGINA, così come ricostruibile in base*

ai rilievi batimetrici condotti nell'area da Eni nel 2007 e nel 2014" del marzo 2016), avente per obiettivo l'analisi di eventuali impatti subsidenziali prodotti dall'attività di coltivazione del campo a gas di Regina dal 2007 al 2014. I risultati dello studio di UniBO mostrano come dal confronto tra i due rilievi si possa evidenziare un differenziale batimetrico che si attesta intorno a valori dell'ordine dei -20 cm circa. Il tasso subsidenziale registrato è congruente con i circa -21 cm cumulativi indicati dalle misure CGPS disponibili per lo stesso intervallo temporale (2007-2014). Anche i risultati forniti dal modello geomeccanico per l'intervallo 2007-2014 sono in ottimo accordo con tali valori batimetrici (vedi Tabella 1).

**Tabella 1 - Subsidenza prevista dal modello nell'intervallo temporale 2007-2014.**

periodo	punto Max sub (cm)	punto GPS (cm)
2007-2014	22	21

In sintesi, le principali conclusioni del rapporto evidenziano quanto segue:

- a) mancanza di un rapporto causa–effetto esclusivo tra gli abbassamenti rilevati e la forzante subsidenziale. Non è stato rilevato cioè un abbassamento generalizzato del fondale; per contro, sono evidenti estesi settori areali con valori positivi (dell'ordine di +20/ +70 cm) riconducibili a effettivi innalzamenti/riequilibrio del fondale stesso;
- b) evidenza per l'intervallo di tempo 2007-2014 di modesti tassi subsidenziali (laddove presenti) di circa -20 cm compatibili con le indicazioni puntuali del CGPS (-21 cm).
- c) I risultati forniti dal modello geomeccanico per l'intervallo 2007-2014, riportati in Tabella 1, sono in ottimo accordo con tali valori batimetrici.
- d) Oltre all'acquisizione della batimetria sono stati eseguiti anche specifici rilievi ambientali al fine di verificare l'eventuale impatto sul fondale marino indotto dalla produzione del campo di Regina. Il complesso di tutte le indagini effettuate (es.: batimetria, analisi sedimentologiche e granulometriche dei sedimenti e delle associazioni bentoniche) hanno permesso di concludere che la subsidenza locale indotta dalla coltivazione del giacimento, produce effetti limitati che non alterano l'ambiente strettamente costiero e il fondale marino interessato (rel. *Eni-Università di Urbino del novembre 2007 trasmessa a MATTM e MSE in data 23/01/2008 - prot. SAOP n. 092 e successivamente a MATTM in data 11/11/2008 - prot. UGIT ET/mv 1410*).

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 8 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	------------------

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

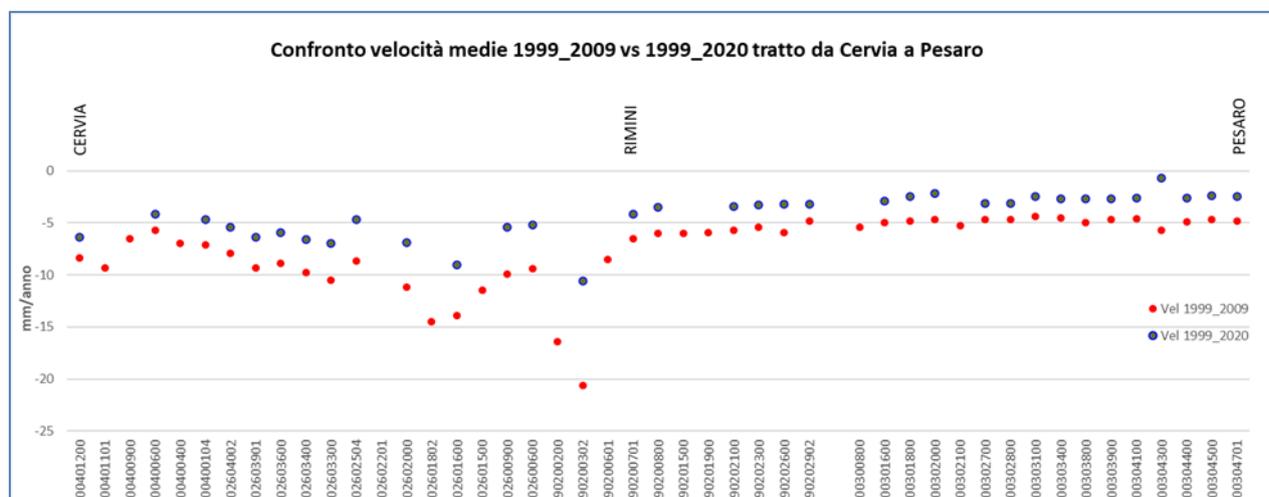
Le operazioni di campagna si sono svolte nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2020 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell’ente certificatore.

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. Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2020, 14 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, successivamente a partire dal 2011, con cadenza triennale. La campagna del 2001 non è utilizzabile essendo stata acquisita con un'origine diversa rispetto a tutte le altre.

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

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



Come programmato in precedenza, l'ente certificatore ha continuato, anche con questa campagna, ad effettuare la compensazione sviluppata utilizzando i valori di velocità desunti dalle stazioni CGPS permanenti della rete Eni. A questo proposito, però, è necessario anche segnalare che i valori delle quote dei capisaldi ottenuti con questo procedimento possono differire da quelli che si ottengono con la compensazione classica, che è invece vincolata a un solo caposaldo di riferimento come già riportato nelle precedenti relazioni.

I risultati del rilievo 2020 sono, comunque, compatibili con il quadro generale di una diminuzione della velocità di subsidenza osservata anche con il monitoraggio SAR.

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 10 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

Si deve osservare, inoltre, che i dati di livellazione, misurati sul singolo caposaldo, non sono di solito sufficienti per caratterizzare la distribuzione areale della subsidenza. Tali misure, infatti, possono essere talvolta alterate da “disturbi” accidentali intervenuti nel tempo sui manufatti su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza  $V_a$ <sup>1</sup> di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

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

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2009 mostra per l’area in esame un quadro di generale abbassamento di questo tratto di costa: il 31% dei punti ricade nella classe 2, il 54% nella classe 3 e il 15% nella classe 4. Nel periodo 1999-2020 la distribuzione delle velocità secondo la classificazione proposta, mostra che il 35% dei punti si colloca nella classe 1, il 32% dei punti si colloca nella classe 2, il 30% nella classe 3 e solo il 3% dei punti si colloca nella classe 4, confermando, anche da questo punto di vista il generale trend di diminuzione delle velocità di subsidenza precedentemente descritto.

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2023), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2021) per un’analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 15).

---

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

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 11 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 caposaldo 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 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.

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 Regina, 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 16), sono stati utilizzati in questa relazione anche i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 2.

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

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
Regina	18.9	28.33	-21.76	18.96	28.48	-21.47	-0.06	-0.15	-0.29

A questo proposito è opportuno precisare che l'analisi e l'interpretazione degli andamenti nel tempo delle misure altimetriche CGPS, da utilizzarsi per una verifica/taratura dei modelli previsionali di subsidenza, non possono essere considerate sufficientemente attendibili per dataset relativi a periodi di osservazione inferiori ai 36 mesi, come indicato dall'Ente che certifica i dati.

L'Ente certificatore, infatti, verifica e valida i dati registrati al fine d'avere un numero sufficiente d'osservazioni per il corretto inquadramento delle componenti periodiche, della loro incidenza sulle misure e poter filtrare il "rumore" che per piccole velocità di subsidenza è dello stesso ordine di grandezza del valore del fenomeno fisico osservato.

Serie storiche di durata inferiore ai 36 mesi possono, quindi, essere utilizzate solo per confrontare il trend degli andamenti temporali delle misure altimetriche con quello dei valori calcolati da modello previsionale, qualora si abbia una subsidenza caratterizzata da valori sufficientemente elevati. In questi casi sarà possibile monitorare solo eventuali anomalie di trend, ma non procedere a un confronto diretto dei valori attesi da modello vs. i valori misurati.

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 13 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

In generale:

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

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

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

Per il campo di Regina, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>2</sup> pari a -20.67 mm/a (Figura 16 e Figura 17), sostanzialmente senza variazioni significative rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-21.76 mm/a al 2020).

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'andamento temporale di tale *dataset* di misure CGPS, inoltre, si possono osservare almeno tre significative variazioni di velocità, che sono ben correlabili con corrispondenti periodi della storia produttiva del campo (Figura 18).

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

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 14 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

In particolare:

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -38.42 mm/a nel periodo giugno 2007 (installazione del CGPS) - febbraio 2010;
- la velocità media, di subsidenza totale è di circa -27.58 mm/a nel periodo febbraio 2010 - gennaio 2014;
- la velocità media, di subsidenza totale è di circa -13.32 mm/a nel periodo gennaio 2014 - dicembre 2021.

La diminuzione osservata nel secondo e terzo periodo, può essere messa in relazione con l'attuale fase di declino della produzione.

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.

Nella Figura 19 è mostrato il confronto tra gli abbassamenti del fondale marino misurati dal CGPS in piattaforma (agg. al 31 dicembre 2021) e i valori di subsidenza calcolati dal modello geomeccanico del 2021. Come si può osservare, le misure CGPS sono ben riprodotte dal modello in grado di riprodurre con estrema accuratezza l'andamento della subsidenza.

Nel corso del 2014, durante una campagna di W.O. nel campo di Regina, sono stati installati nuovi marker nel pozzo Regina 6 dirB al fine di ripristinare il monitoraggio della compattazione nel pozzo Regina 3dir non più accessibile per problemi meccanici (rif. "Comunicazione Eni-MATTM prot. num. 0001025/DICS del 24/10/2013). Dopo l'installazione in formazione dei nuovi marker, nel tratto di foro compreso tra 1015 m e 1225 m, si è eseguito nel settembre 2014 il rilievo base e i successivi survey di controllo (10/2015, 12/2016, 12/2017, 12/2018, 12/2019 e 08/2022). In Figura 20 sono riportati i valori di compattazione/espansione misurati nel periodo 1997-2010 con gli FSMT nel pozzo Regina 3dir. Valori positivi indicano espansione, negativi compattazione. In Figura 21 è riportato, invece, il confronto tra i valori di compattazione/espansione misurati nel periodo 2014-2022 con gli FSMT nel pozzo Regina 6dirB, ed i valori previsti dall'ultimo aggiornamento del modello geomeccanico (*rel. Eni-IPET-56F64B9C-0, Ottobre 2021, Campo di Regina, Modello Geomeccanico di Subsidenza - Management Summary*).

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 15 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

Si segnala che il valore totale riportato per colonna nel grafico di Figura 21 potrebbe differire dalla somma algebrica dei singoli marker spacing a causa di possibili arrotondamenti decimali. Gli scostamenti registrati tra il valore della compattazione misurata in giacimento al 2022 con il dato simulato sono influenzati dall'elevata deviazione standard delle misure acquisite in giacimento. Per contro, come rappresentato in Figura 19 le previsioni del nuovo modello mostrano un ottimo accordo con le misure di velocità registrate dal CGPS al 31/12/2021. Si ricorda, che nel 2020, il survey dei marker per la misura della compattazione in giacimento, non è stato effettuato (lettera n.prot. 923/DICS del 11.11.2020) perché incompatibile con le disposizioni, in vigore, in materia di sicurezza e salute stante la grave situazione pandemica in corso, poichè tali operazioni avrebbero comportato movimentazione di mezzi navali a tempo pieno, attrezzature per lavori in off-shore e personale contrattista dedicato.

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

Si segnala infine che:

- a) in Figura 22 - Scheda di sintesi dati campo è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 23 - Particolare della rete di monitoraggio Eni è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.

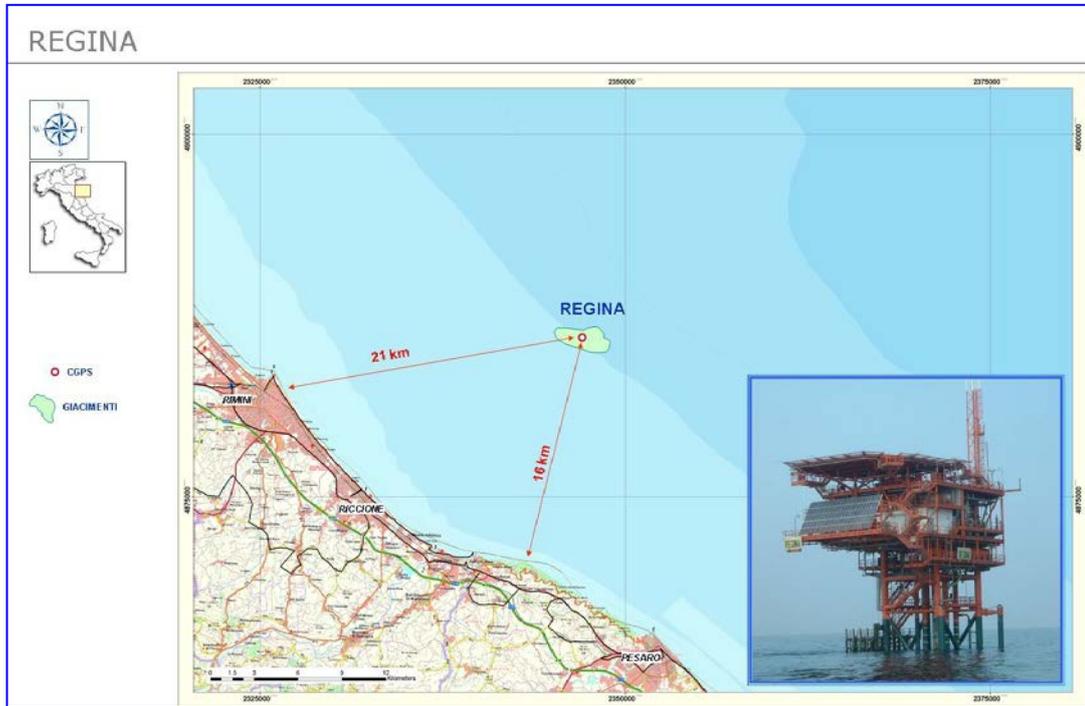


Figura 1 - Ubicazione del campo di Regina

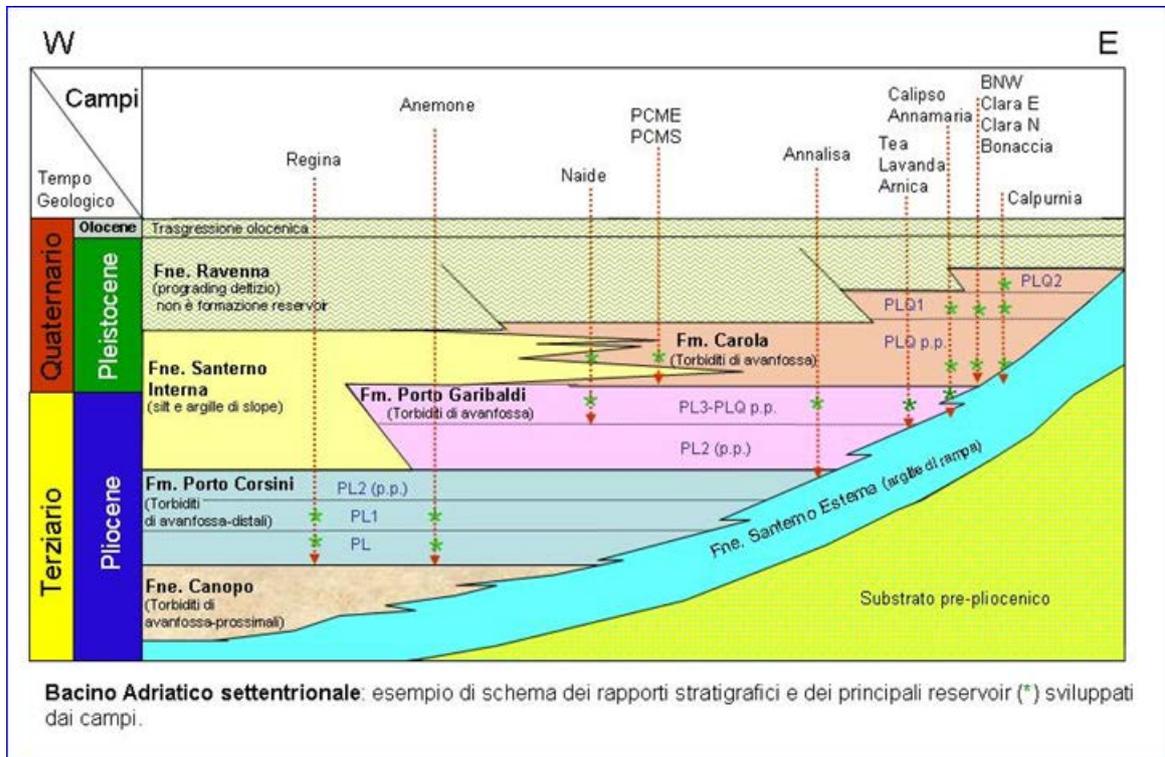


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

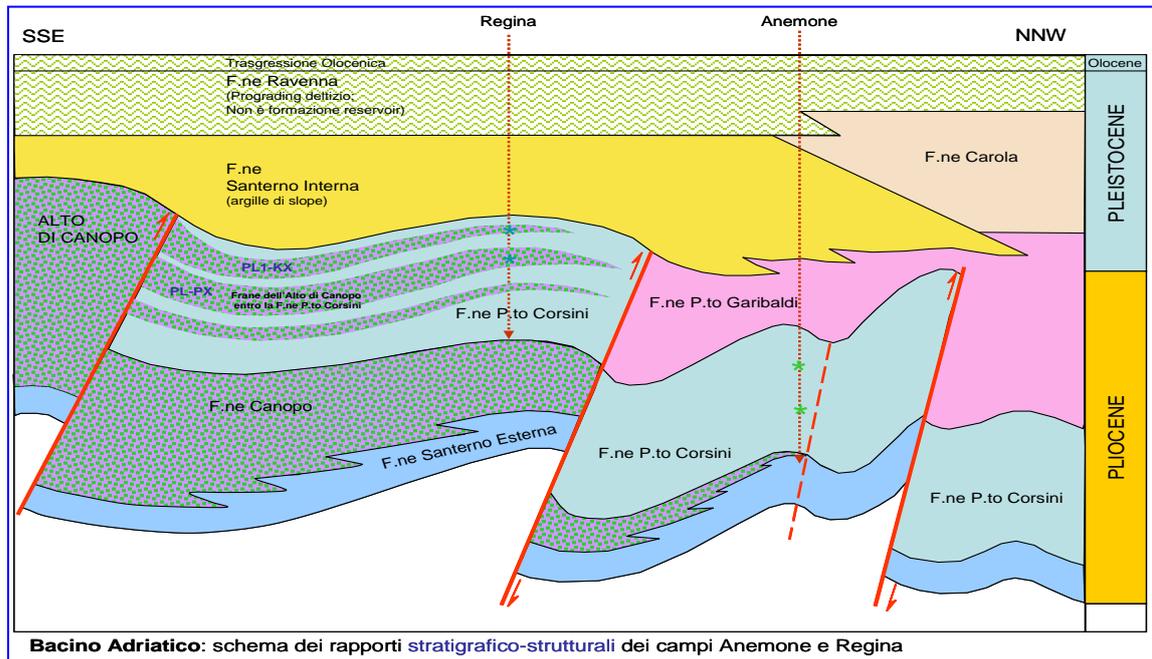


Figura 3 - Schema dei rapporti stratigrafico strutturali dei campi di Anemone e Regina

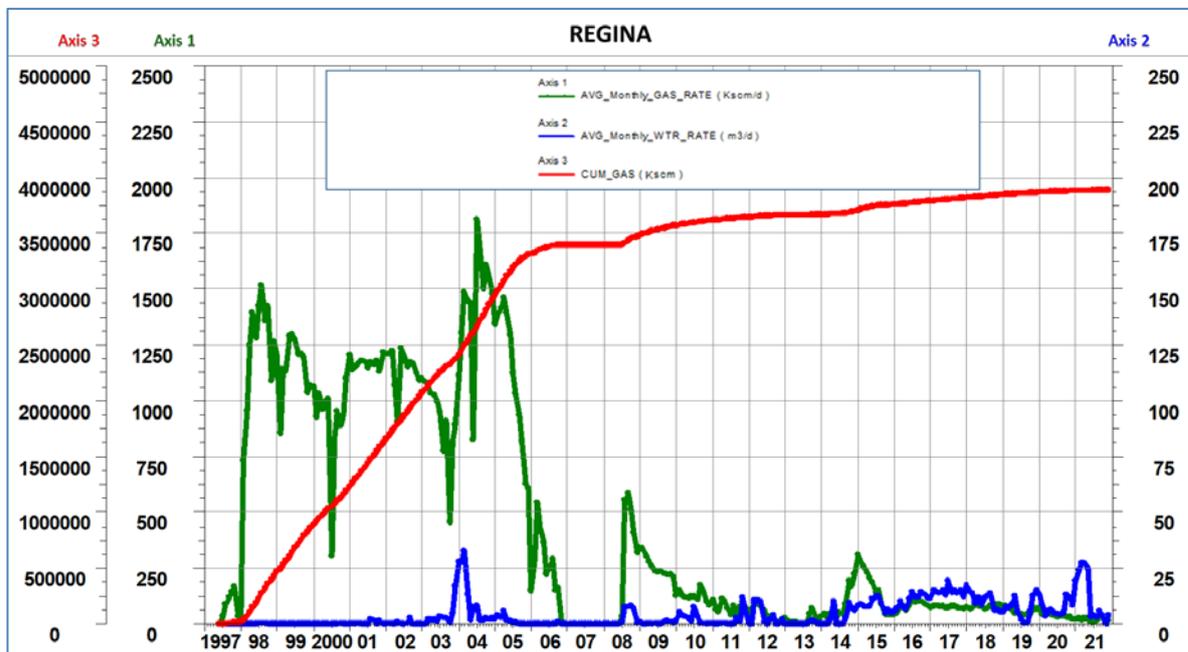


Figura 4 - Campo di Regina: produzione storica

CAMPO DI REGINA					
ANNO	Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
1997	18	18	18	18	0%
1998	417	417	435	435	11%
1999	424	424	859	859	22%
2000	335	335	1194	1194	31%
2001	427	427	1621	1621	42%
2002	419	419	2040	2040	52%
2003	337	337	2377	2377	61%
2004	528	528	2904	2904	75%
2005	408	408	3312	3312	85%
2006	87	87	3399	3399	87%
2007	0	0	3399	3399	87%
2008	74	74	3473	3473	89%
2009	94	94	3567	3567	92%
2010	46	46	3614	3614	93%
2011	29	29	3642	3642	94%
2012	18	18	3660	3660	94%
2013	7	7	3667	3667	94%
2014	30	30	3697	3697	95%
2015	60	60	3757	3757	97%
2016	30	30	3787	3787	97%
2017	28	28	3815	3815	98%
2018	29	29	3844	3844	99%
2019	22	22	3865	3865	99%
2020	15	15	3880	3880	100%
2021	8	6	3888	3886	100%
2022		3		3889	
2023					
2024					
2025					
2026					
2027					
2028					
2029					
2030					

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

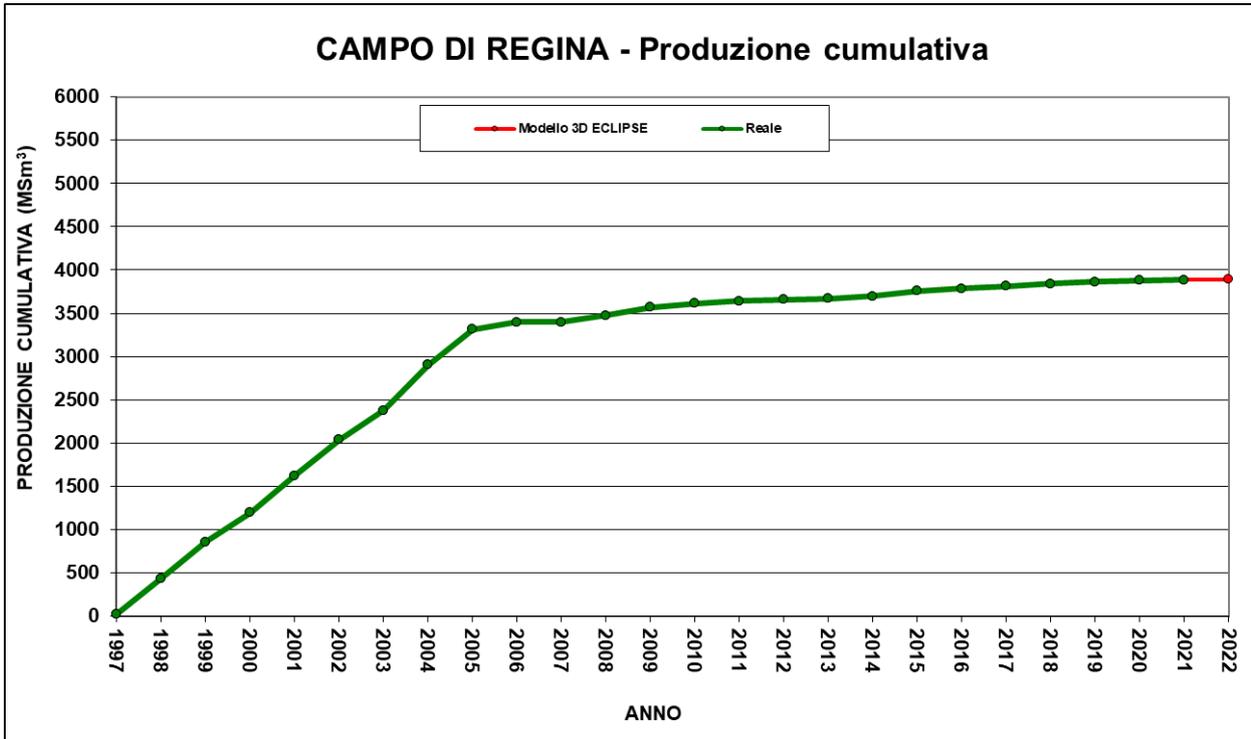


Figura 6 - Campo di Regina: grafico di produzione reale e da modello Eclipse 2021

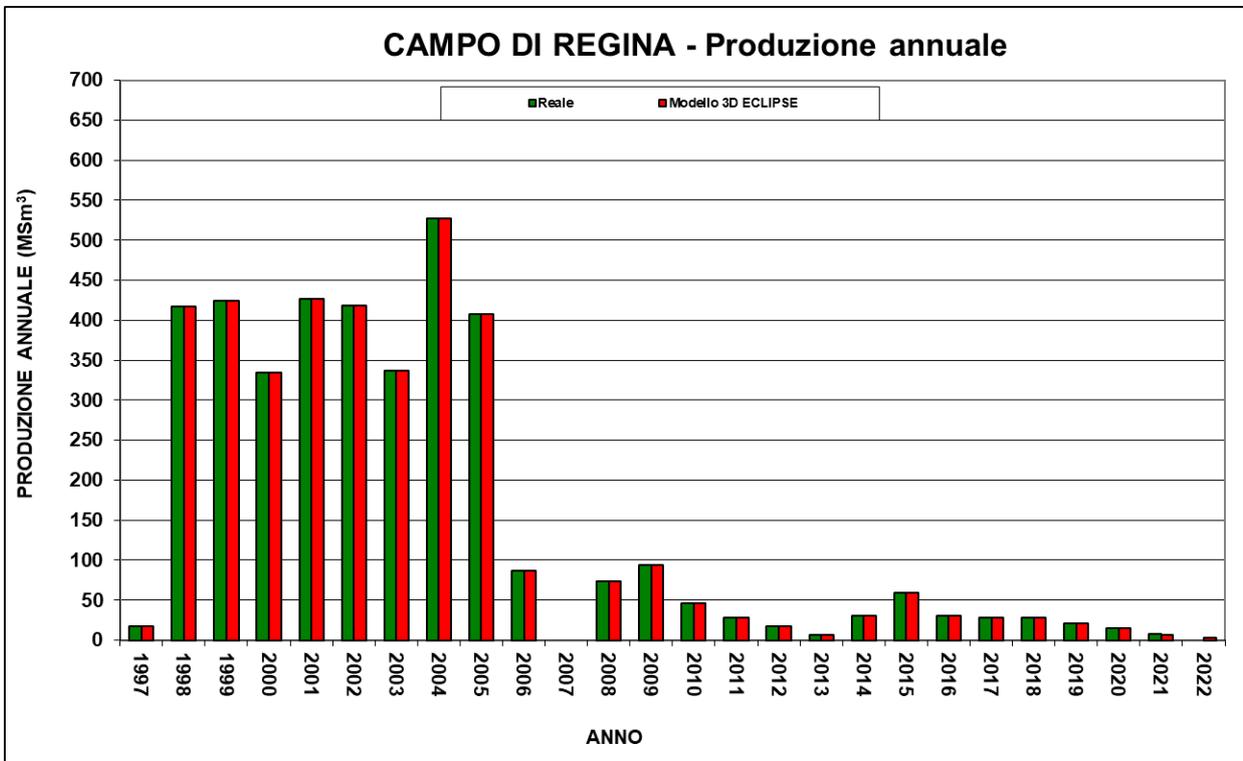
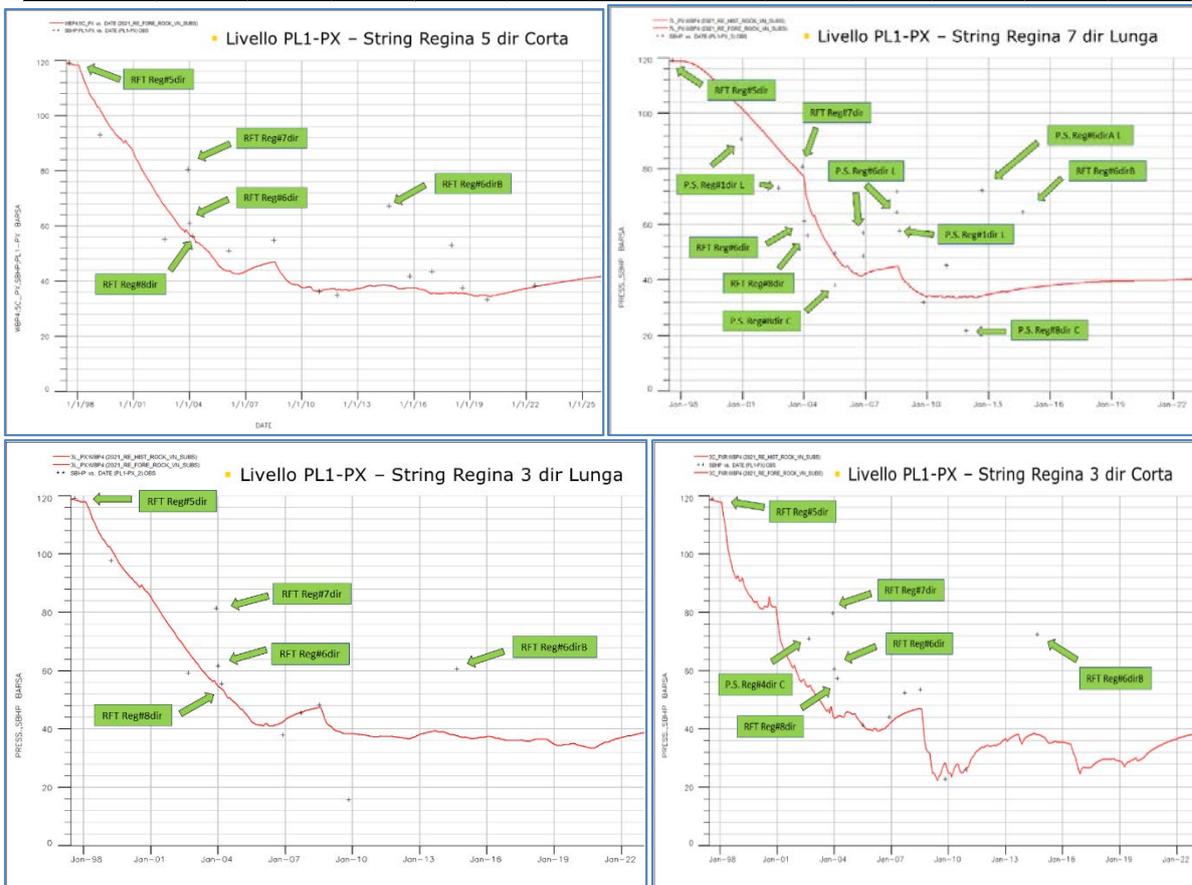


Figura 7 - Campo di Regina: produzione reale (annuale) e da modello Eclipse 2021

CAMPO DI REGINA												
Data	Livello PL1-PX upper			Livello PL1-PX upper + lower 1			Livello PL1-PX lower 1 + lower 2			Livello PL1-PX upper + lower 1 + lower 2		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/05/1995	119	1 Dir		119	1 Dir		119	1 Dir		119	1 Dir	
01/07/1996	119	2 Dir		119	2 Dir		119	2 Dir		119	2 Dir	
01/08/1996	119	2 Dir A		119	2 Dir A		119	2 Dir A		119	2 Dir A	
01/07/1997	119	4 Dir		119	4 Dir		119	4 Dir		119	4 Dir	
01/07/1997	119	3 Dir		119	3 Dir		119	3 Dir		119	3 Dir	
01/08/1997	119	5 Dir		119	5 Dir		119	5 Dir		119	5 Dir	
24/03/1999				93		5 C	98		3 L			
06/12/2000										91		1 L
04/09/2002	71		4 C	55		5 C	59		3 L			
02/10/2002										73		1 L
01/12/2003	80	7 Dir		80	7 Dir		81	7 Dir		81	7 Dir	
01/01/2004	61	6 Dir		61	6 Dir		62	6 Dir		61	6 Dir	
01/03/2004	57	8 Dir		56	8 Dir		56	8 Dir		56	8 Dir	
02/07/2005	41		3 C							50		7 L
03/07/2005										38		8 C
11/02/2006				51		5 C						
16/11/2006	44		3 C				38		3 L	57		6 L
17/11/2006										49		7 L
13/09/2007	52		3 C				46		3 L			
07/07/2008	53		3 C	55		5 C	48		3 L	64		6 L
08/07/2008										72		7 L
25/08/2008										58		1 L
27/10/2009	23		3 C				16		3 L	32		7 L
08/12/2010	26		3 C	36		5 C				45		7 L
27/11/2011				35		5 C				22		8 C
31/08/2012										72		6 L
01/09/2014	72	6 dir B		67	6 dir B		61	6 dir B		65	6 dir B	
16/10/2015				42		5 C						
22/12/2016				43		5 C						
04/01/2018				53		5 C						
08/08/2018				37		5 C						
04/12/2019				33		5 C						
16/06/2022				38		5 C						



**Figura 8 – Campo di Regina: pressioni statiche misurate vs. modello Eclipse (2021) (livello PL1-PX)**

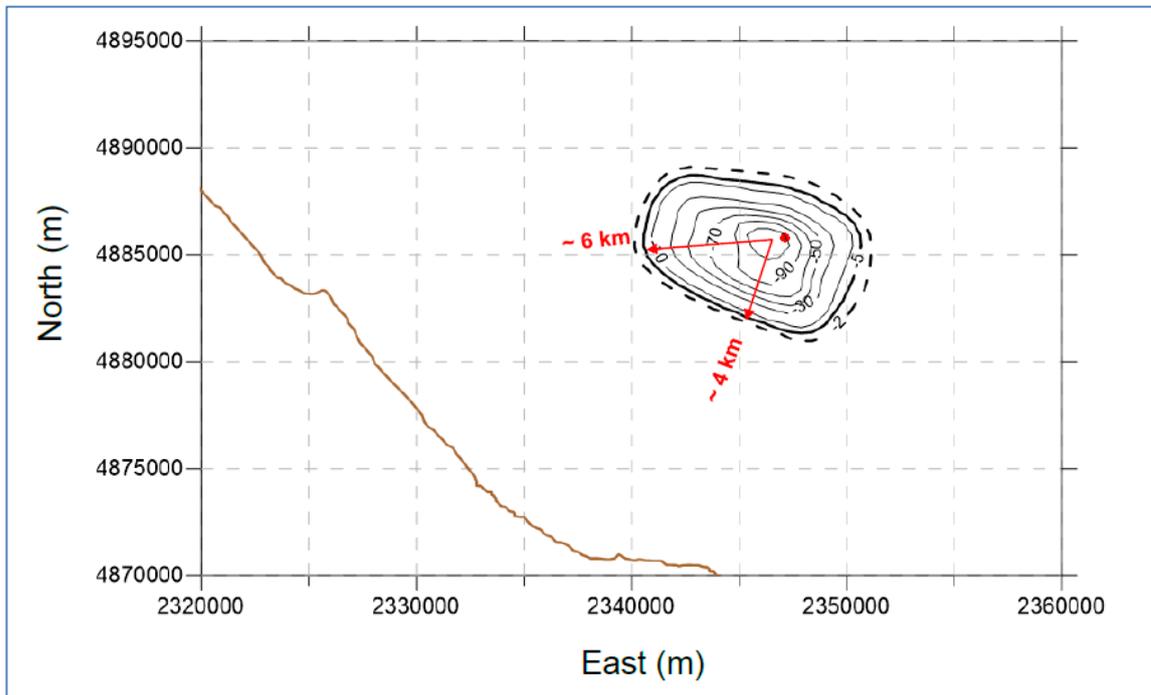


Figura 9 – Curve di iso-subsidenza a fine simulazione (1 gennaio 2053). I valori di subsidenza sono in cm. Il simbolo rosso indica la posizione della stazione CGPS

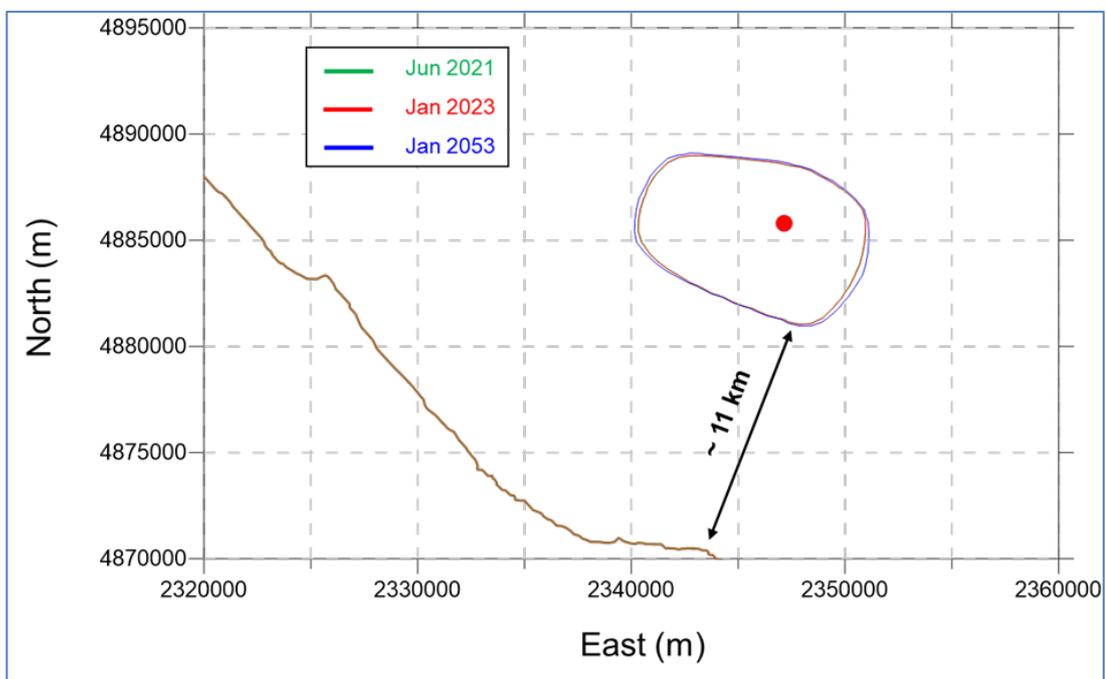


Figura 9 - Evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm. Il simbolo rosso indica la posizione della stazione CGPS

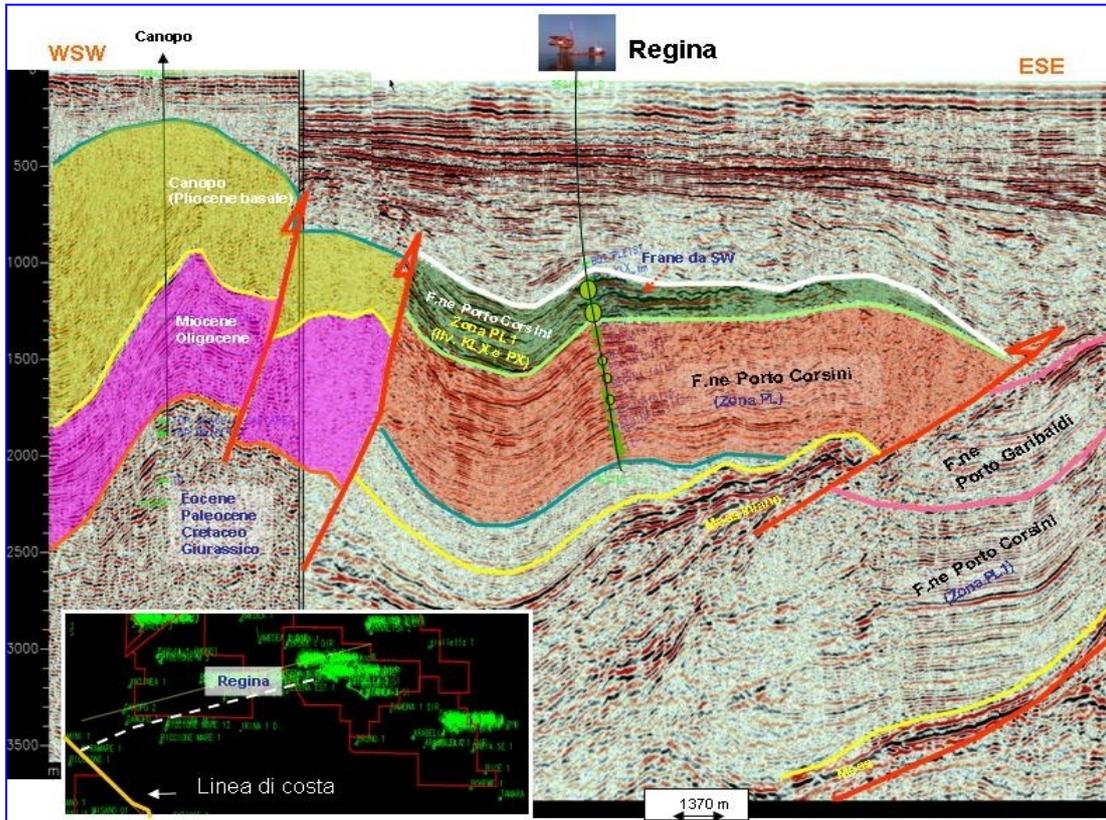


Figura 10 - sezione sismica interpretata

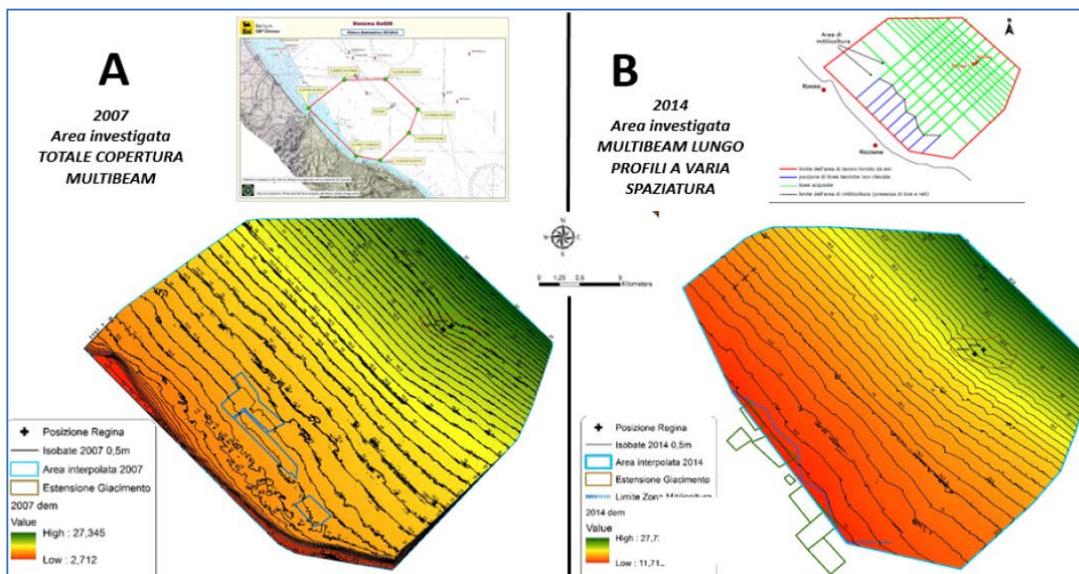


Figura 11 - Campo di Regina rappresentazione schematica e risultati dei rilievi batimetrici effettuati nel 2007 (a sinistra) e nel 2014 (a destra)

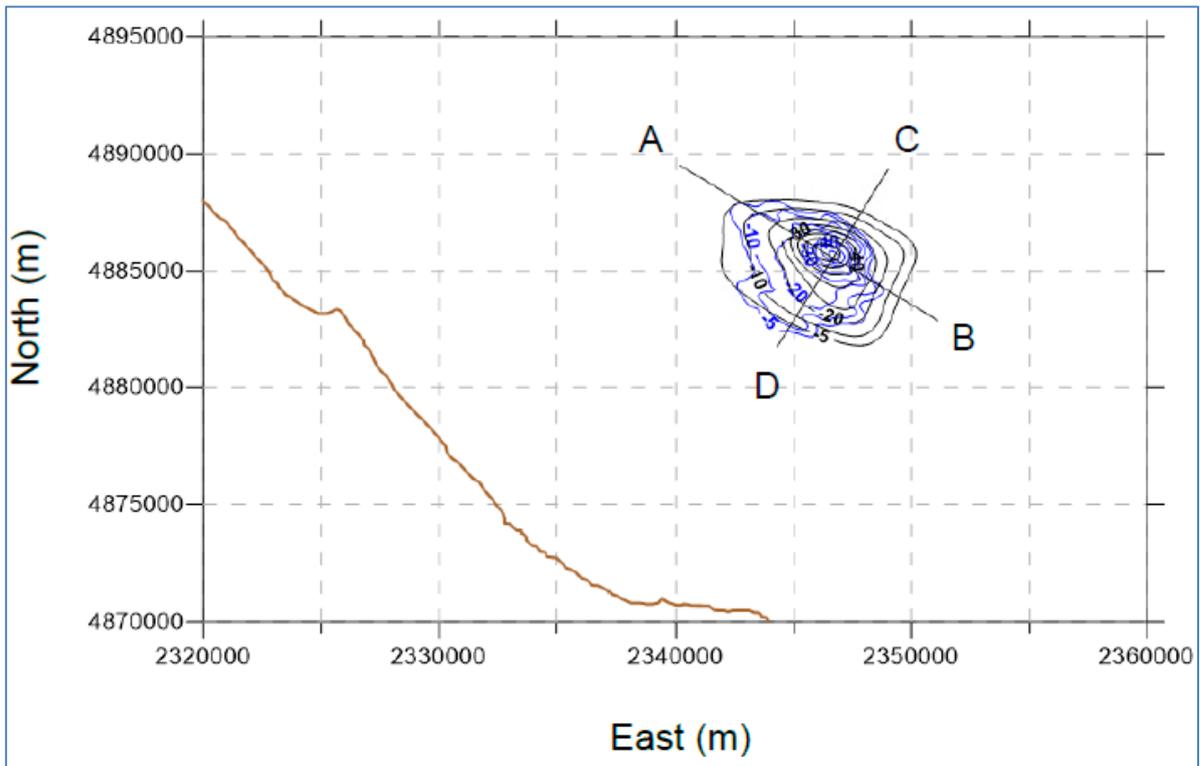


Figura 12 - Confronto tra i risultati del modello Abaqus (curva nera) e il rilievo batimetrico del 2007 (curve blu) e posizione delle sezioni AB e CD

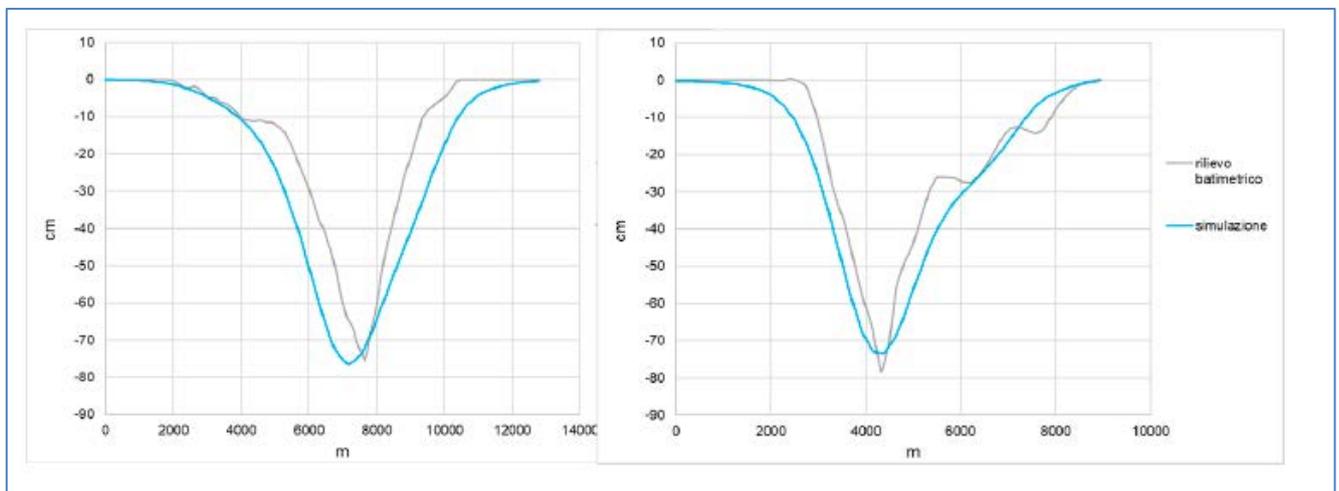


Figura 13 - Subsidenza misurata dal rilievo batimetrico del 2007 e calcolata dal modello geomeccanico lungo le sezioni AB e CD come mostrato in Figura13.

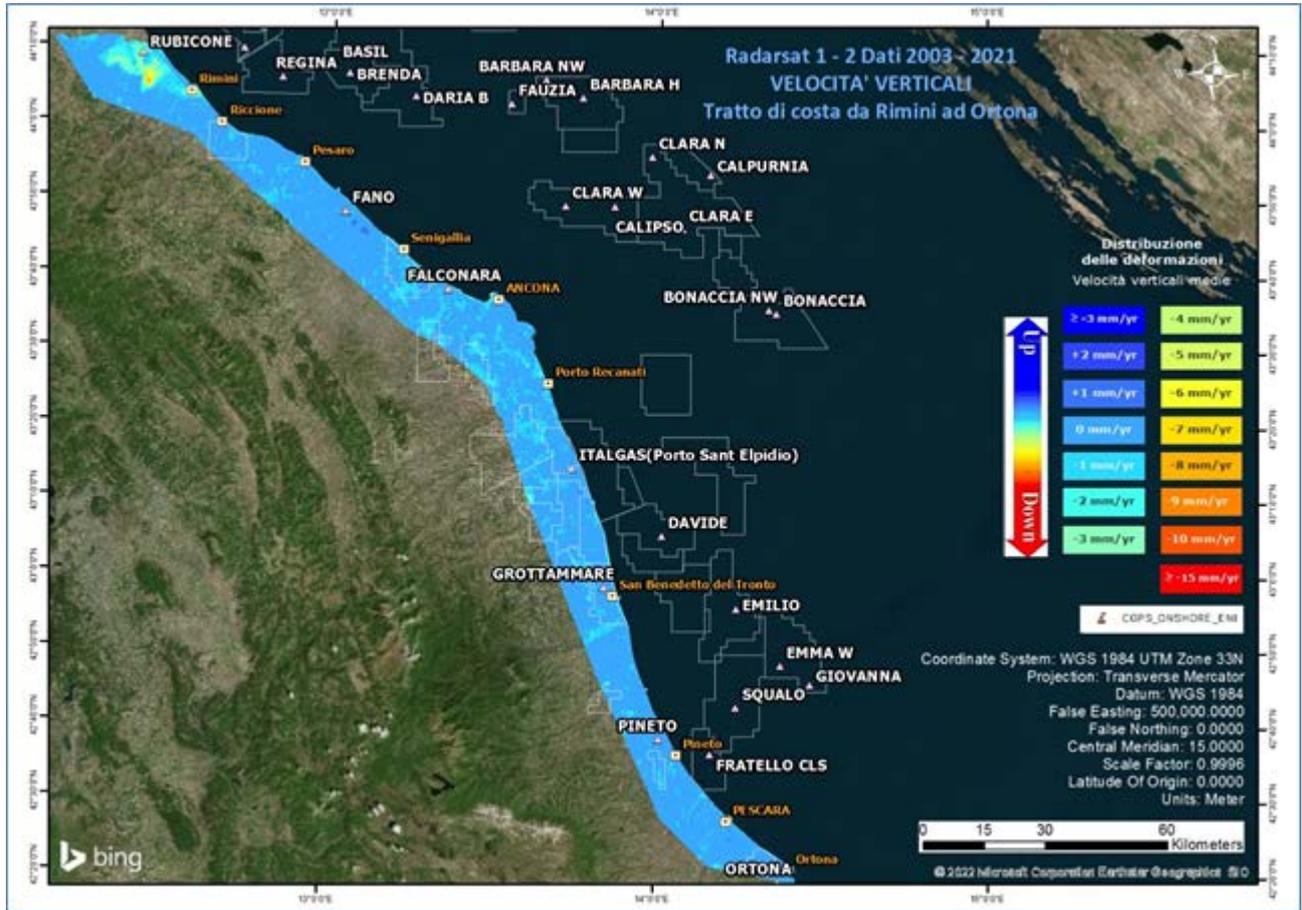
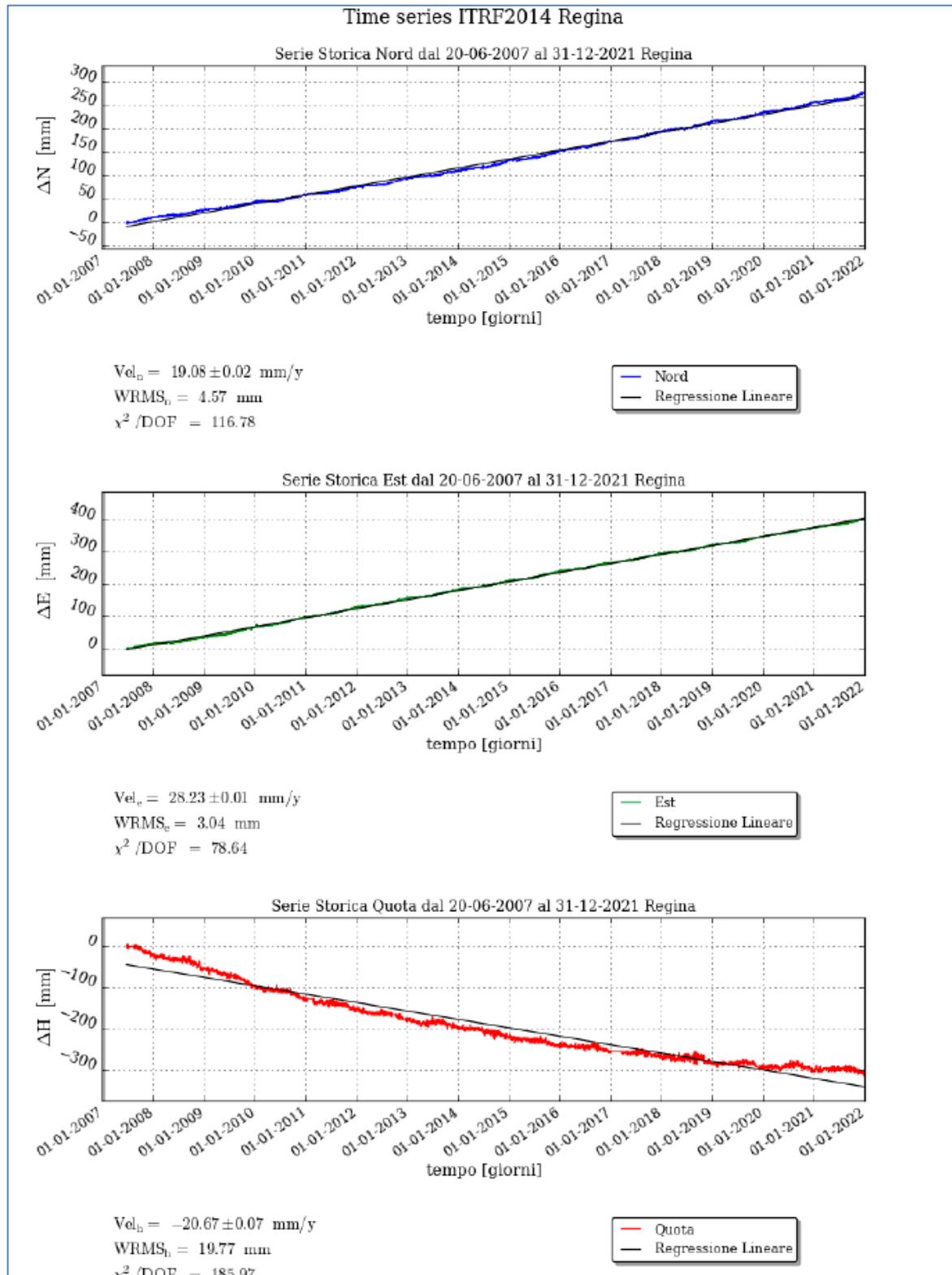


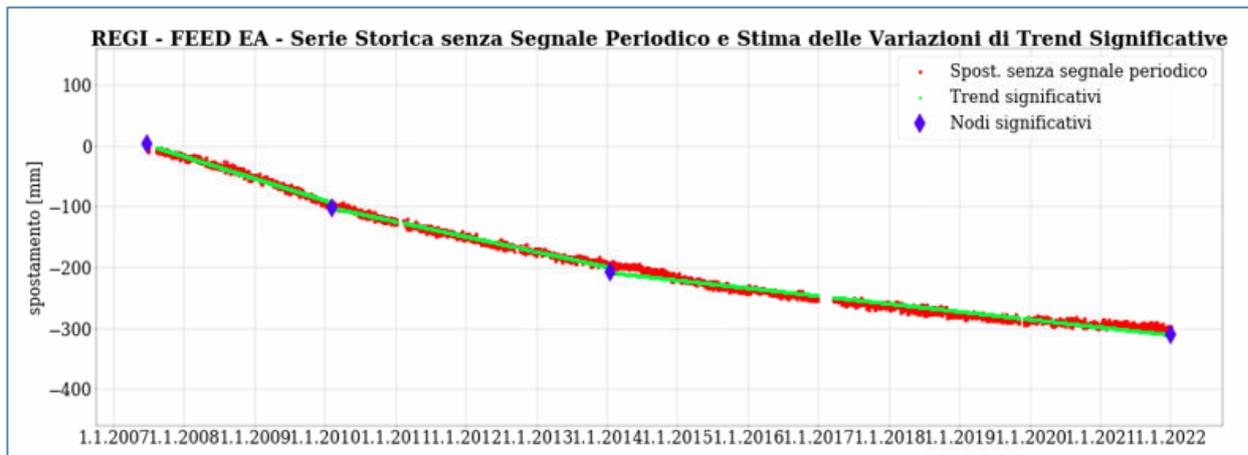
Figura 14 - Campo di Regina: analisi dati SAR dal 2003 al 2021



**Figura 15 - Campo di Regina: serie storiche di misure CGPS**

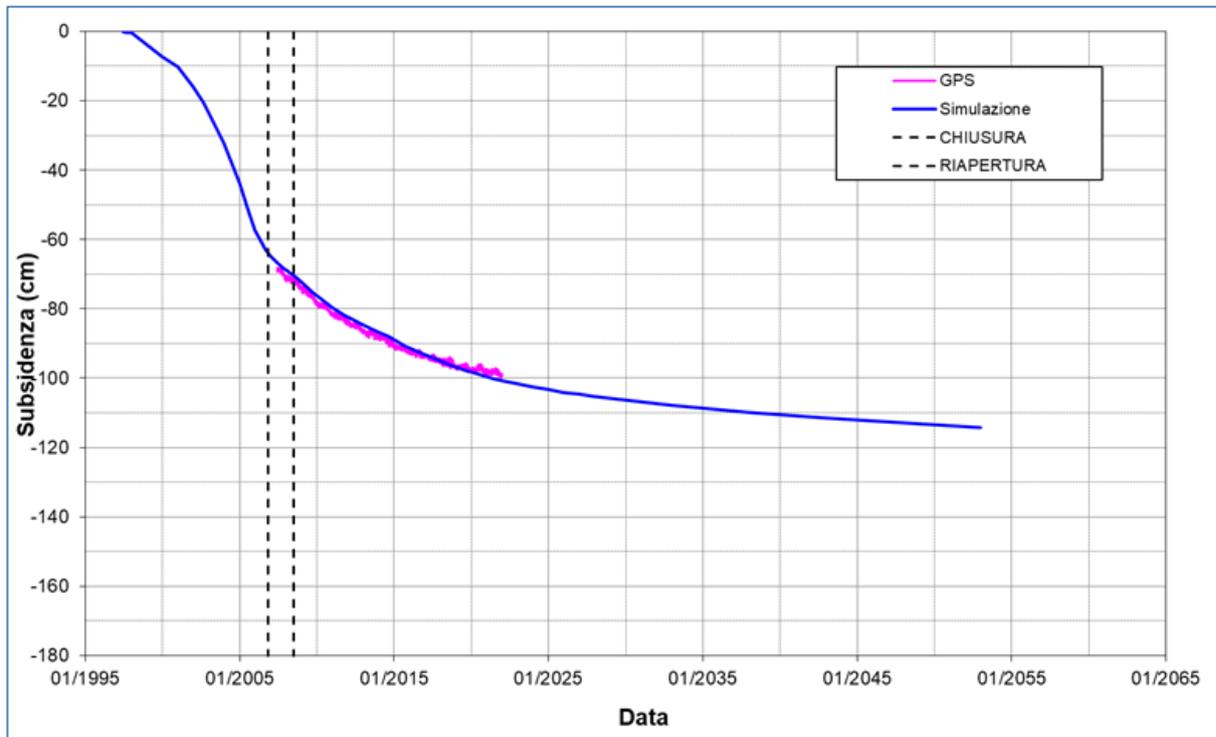
CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2021	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio geomeccanico	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2020	vel.media (mm/a) @ dic.2021	Variazione 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 16– Velocità medie di “subsidenza totale” calcolate su tutta la serie storica CGPS (agg. dic.2021). Dal confronto con i dati 2020 si nota come nel corso del 2021 tutte le velocità di subsidenza siano stabili o in diminuzione



FEED PP - MODELLO EMPIRICO			
Periodo		velocità [mm/y]	sigma [mm/y]
20/06/2007	- 04/02/2010	-38.42	0.19
04/02/2010	- 14/01/2014	-27.58	0.08
14/01/2014	- 31/12/2021	-13.32	0.04

Figura 17 - Campo di Regina: analisi della serie storica di misure CGPS



**Figura 18 - Confronto tra spostamento verticale misurato e spostamento simulato in corrispondenza della stazione CGPS sulla piattaforma Regina. Le linee tratteggiate indicano le date di chiusura e riapertura del campo.**

Compattazione REGINA 3 dir										
spacing	ref depth	Oct 1997	Sept 2002	Oct 2003	Jul 2005	Sept 2006	Dec 2007	Aug 2008	Oct 2009	Dec 2010
	MD	Jul 1997	Oct 1997	Sept 2002	Oct 2003	Jul 2005	Sept 2006	Dec 2007	Aug 2008	Oct 2009
#	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
19	998.00	-2	1	5	0	-1	2	0	1	-1
18	1008.50	-2	-1	-3	-1	10	-8	2	-1	2
17	1017.50	-4	2	-2	2	5	-5	2	4	-3
16	1030.00	16	1	-1	9	10	-8	6	-1	1
15	1040.00	-24	-4	3	-11	8	-6	-7	2	3
14	1050.50	-1	-2	1	4	-1	-3	2	4	-1
13	1060.50	-124	-8	1	-3	7	-14	**	**	-5
12	1071.00	128	-2	7	6	3	1	**	**	**
11	1083.50	-2	17	-12	1	19	-19	-2	*	***
10	1092.50	2	-2	4	-1	*	*	*	*	***
9	1102.00	-1	11	-5	5	*	*	*	*	***
8	1113.50	-8	3	7	-2	*	*	*	*	***
7	1124.00	-2	2	1	1	*	*	*	*	***
6	1134.50	-2	-8	-1	-13	*	*	*	*	***
5	1145.00	3	-74	-27	-24	*	*	*	*	***
4	1176.50	9	-42	-20	-53	*	*	*	*	***
3	1187.00	-16	-25	0	-4	*	*	*	*	***
2	1197.50	5	-1	-2	-3	*	*	*	*	***
1	1208.00	3	2	-5	0	*	*	*	*	***

\* Lo strumento di misura non riesce a superare la quota di 1090 m nei survey di settembre 2006 e agosto 2008

\*\* Deviazione standard troppo elevata: misure non rappresentative nel survey di agosto 2008

\*\*\* Lo strumento di misura non riesce a superare la quota di 1070 m nei survey di ottobre 2009 e dicembre 2010

**Figura 19 - Pozzo Regina 3dir: misure di compattazione in-situ (da log FSMT)**

REGINA 6dirB foro2						
1250 m - 1000 m			2022 SURVEY 300 ft/hr		RESULTS	
	BULLET NUMBER	ORIGINAL DEPTH	PASSES PROCESSED	MEAN SPACING	STANDARD DEVIATION	DIFFERENCE 2022-2019 in mm
	0	1225.04		NO DATA	NO DATA	
	1	1215.08	2	9.9583	0.36051	-5
	2	1205.09	2	9.99106	0.40704	-8
	3	1195.11	2	9.96009	0.36812	-10
	4	1185.14	2	9.96304	0.0831	-5
	5	1175.15	2	9.97516	1.01365	-5
	6	1165.12	2	10.02908	0.52527	-5
	7	1155.18	2	9.94358	0.24902	-4
	8	1145.13	2	10.03393	1.05772	-3
	9	1135.12	2	10.02178	0.39099	-3
	10	1125.17	2	9.94635	0.45066	-4
	11	1115.14	2	10.03441	0.47126	-6
	12	1105.14	2	9.98568	1.42044	-12
	13	1095.25	2	9.89644	0.61159	2
	14	1085.16	2	10.09271	3.63956	-9
	15	1075.22	2	9.94508	3.8489	-1
	16	1065.3	2	9.90973	3.47015	-10
	17	1055.21	2	10.10705	3.77549	-1
	18	1045.23	2	9.99279	0.43598	-2
	19	1035.22	2	10.02222	3.10595	-4
	20	1025.27	2	9.94876	5.04886	-8
	21	1015.19	2	10.0802	0.16961	-9
						-115

COMPATTAZIONE REGINA 6 dirB foro2													
spacing	Ref. Depth	Sett 2014 - Ott 2015		Ott 2015 - Dic 2016		Dic 2016 - Dic 2017		Dic 2017 - Dic 2018		Dic 2018 - Dic 2019		Dic 2019 - Ago 2022	
#	MD (m)	Misurato (mm)	Simulato (mm)	Misurato (mm)	Simulato (mm)	Misurato (mm)	Simulato (mm)	Misurato (mm)	Simulato (mm)	Misurato (mm)	Simulato (mm)	Misurato (mm)	Simulato (mm)
1	1215,08	-3	-2	2	-2	-2	-1	3	-1	0	-1	-5	-3
2	1205,09	-4	0	1	0	-4	0	2	0	-1	0	-8	0
3	1195,11	-3	-1	0	-1	-4	-1	2	-1	-2	-1	-10	-2
4	1185,14	-4	-2	1	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-5	-2
5	1175,15	-7	-2	1	-2	-3	-2	0	-2	1	-1	-5	-2
6	1165,12	-5	-2	1	-2	-3	-2	1	-2	-1	-1	-5	-2
7	1155,18	-5	-2	1	-2	-3	-2	3	-1	0	-1	-4	-1
8	1145,13	-4	-2	1	-3	-1	-2	2	-2	-1	-1	-3	-1
9	1135,12	-3	-2	3	-2	-2	-2	2	-2	-1	-2	-3	-3
10	1125,17	-4	-2	6	-3	-2	-3	-1	-2	4	-2	-4	-4
11	1115,14	-4	0	0	0	3	0	-2	0	3	0	-6	0
12	1105,14	-4	0	9	0	-2	0	-3	0	3	0	-12	0
13	1095,25	-6	0	2	0	-2	0	0	0	0	0	2	0
14	1085,16	5	0	6	0	0	0	3	0	-2	0	-9	0
15	1075,22	-13	0	2	0	1	0	7	0	-3	0	-1	0
16	1065,3	-9	0	0	0	2	0	1	0	5	0	-10	0
17	1055,21	2	0	4	0	-2	0	5	0	-3	0	-1	0
18	1045,23	-6	0	4	0	-2	0	7	0	-3	0	-2	0
19	1035,22	3	0	0	0	4	0	2	0	-4	0	-4	0
20	1025,27	-15	0	9	0	-2	0	0	0	-2	0	-8	0
21	1015,19	-8	0	11	0	-6	0	8	0	-3	0	-9	0
Totale		-98	-15	65	-19	-33	-15	40	-14	-13	-11	-115	-21
Totale cumulativo		-98	-15	-33	-34	-66	-49	-26	-63	-39	-74	-154	-95

Figura 20 - Pozzo Regina 6dirB – Misure di compattazione misurata al 2022 e deviazione standard in mm (sopra). Confronto tra la compattazione misurata e simulata nel campo di Regina nell’arco temporale 2014-2022 e nei diversi intervalli (sotto).

campo REGINA (J.V. Eni 75% operatore - ENERGEAN ITALY 25%)			
DATI DI CAMPO			
UBICAZIONE PROFONDITA' FONDALE		offshore - 21 km a Est di Rimini 20 m	
LITOLOGIA FORMAZIONE RESERVOIR		sabbie grossolane alto Giaropo	
ZONA MINERARIA		PL1 + PL	
PROFONDITA' RESERVOIR		980-1250 (TVSS)	
TIPO DI PIATTAFORMA		BEAF	
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE		campo compartimentato da faglie	
		D.M @ apr'97 @ 31 dic 2021	
CONCESSIONE	A.C17.AG		
DATA SCADENZA CONCESSIONE	26/05/2027		
N. POZZI (produttori)		3+1 (MonoT)	6
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (Msm <sup>3</sup> )		2503	3889
START UP PRODUZIONE	ago-97		
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2006	2022
GAS PRODOTTO (Msm <sup>3</sup> )			3888
% RISERVE PRODOTTE (rif. liv. principali PL1PX e PL1-KLX)			100%
DECRETO VIA n. 2734 del 4 aprile 1997			
AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (REGINA)			
		SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD.STATICO E DINAMICO MONOCELLA "AGO 95"	2503	Aggiornamento dello studio di giacimento, Rel. EORG IPET-B5045B7F-0 (2021)
RISERVE (Msm <sup>3</sup> )		2503	3889
MOD. GEOMECCANICO	CILINDRICO		ELEMENTI FINITI (E.F.M.) @ ottobre 2021
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	7,2 (dopo 10 anni)		131 @ 2053 (dopo 30 anni da fine produzione - 2023)
MAX DIST. DAL CULMINE (km)	2 (dopo 10 anni)		il fenomeno si esaurisce a 11 km dalla costa nel 2023
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI			
<b>LIVELLAZIONI</b>	ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA-PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014, 2017 e 2020. LA CAMPAGNA DEL 2020 E' STATA CERTIFICATA DAL DICAM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA-CERTIFICATI DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM IL PROSSIMO RILEVO 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		
<b>MARKERS</b>	REGINA 3D: ULTIMO SURVEY @ dicembre 2011 survey eseguiti: lug.1997 (rilevo base), ott.1997, sett. 2002, ott. 2003, luglio 2005, sett.2006, dic. 2007, ago 2008, ott. 2009, dic. 2010 REGINA 6DirB: ULTIMO SURVEY @ DIC. 2019 survey eseguiti: sett.2014 (rilevo base), ottobre 2015, dic. 2016, dic. 2017 e dic. 2018		
<b>CGPS</b>	NEL CORSO DEL 2007 -2008 SONO STATI INSTALLATI, RISPETTIVAMENTE, UN CGPS SULLA PIATTAFORMA E UN CGPS NELLA CENTRALE ENI DI RIBUCIONE (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA		
<b>SAR</b>	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DIC.2021 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.MA ANEMONE B NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO		
<b>BATIMETRIE</b>	ESEGUITO UN PRIMO RILEVO BATIMETRICO IN DATA GIUGNO-AGOSTO 2007 ESEGUITO UN SECONDO RILEVO BATIMETRICO IN DATA AGOSTO 2014		

Figura 21 - Scheda di sintesi dati campo

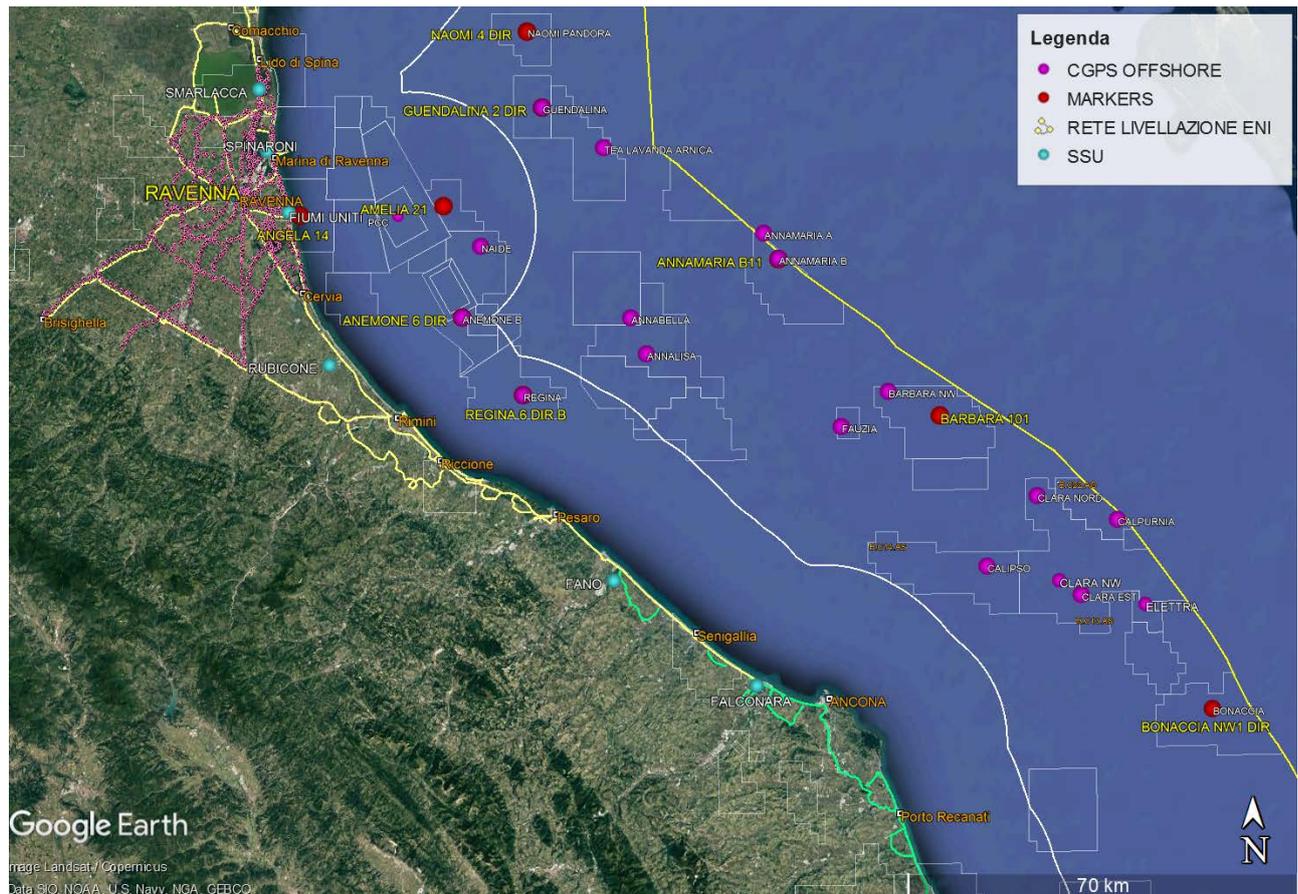


Figura 22 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## 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.

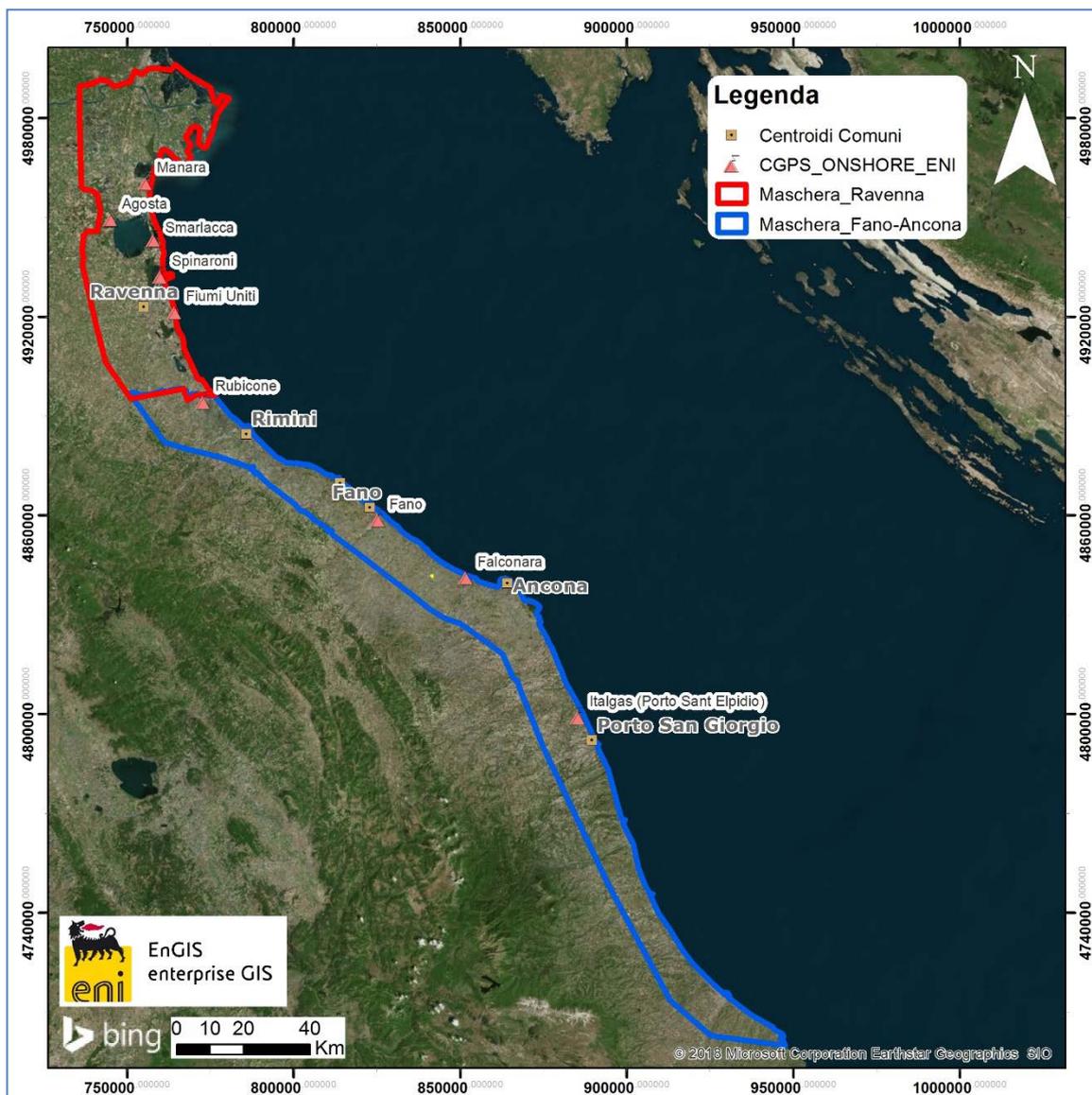
	CGPS	$V_{vert\_CGPS}$ [mm/yr]	$sqm\_CGPS$ [mm/yr]	$Media\_V\_SAR$ [mm/yr]	$sqm\_SAR$ [mm/yr]	Diff_VEL CGPS-SAR [mm/yr]	$sqm\_diff$ [mm/yr]
RAVENNA	SMARLACCA	-6,02	0,01	-3,02	2,07	-3,00	2,08
	SPINARONI	-6,91	0,01	-3,72	1,89	-3,19	1,93
	FIUMI UNITI	-13,15	0,02	-10,38	5,78	-2,77	5,80
FANO-AN- CONA	RUBICONE	-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 mosaicata dati InSAR**

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 32 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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

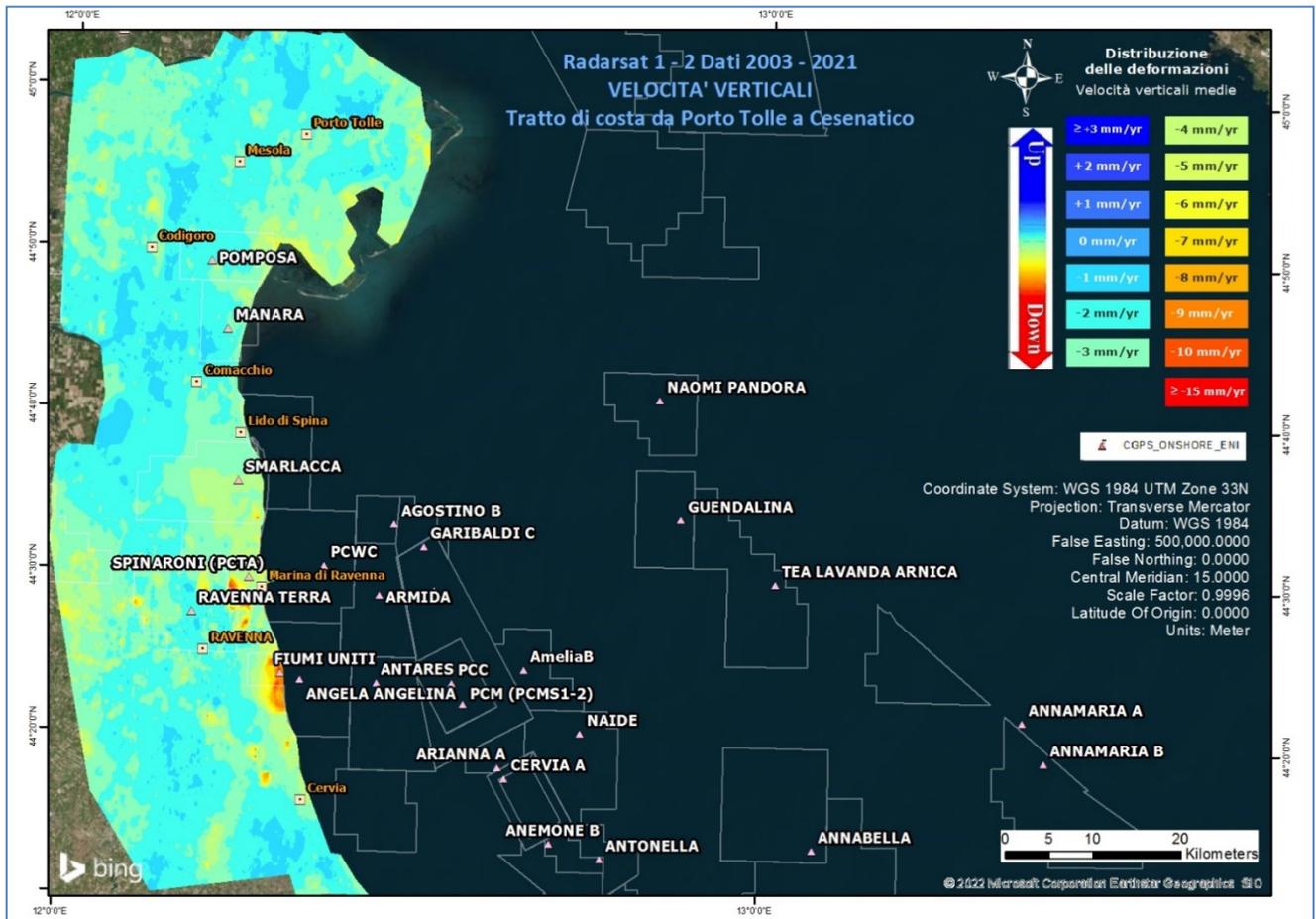
Il processo di calibrazione è stato realizzato utilizzando le informazioni derivanti dalle stazioni di monitoraggio CGPS esistenti all'interno delle aree analizzate, partendo dalle stazioni che presentano una serie storica più consistente (Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti).

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



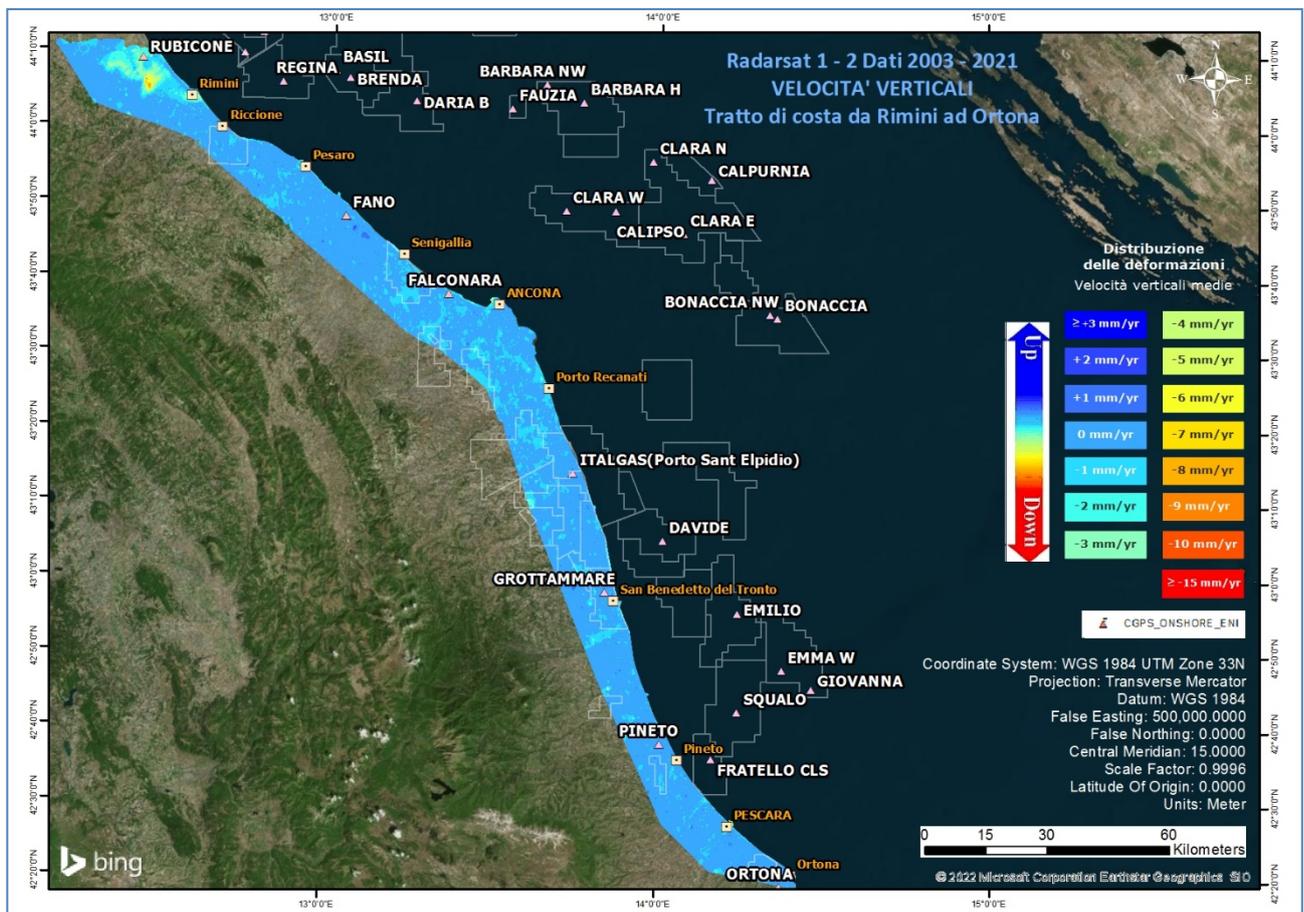
**Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2021, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.**

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 – 2021 Tratto 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.

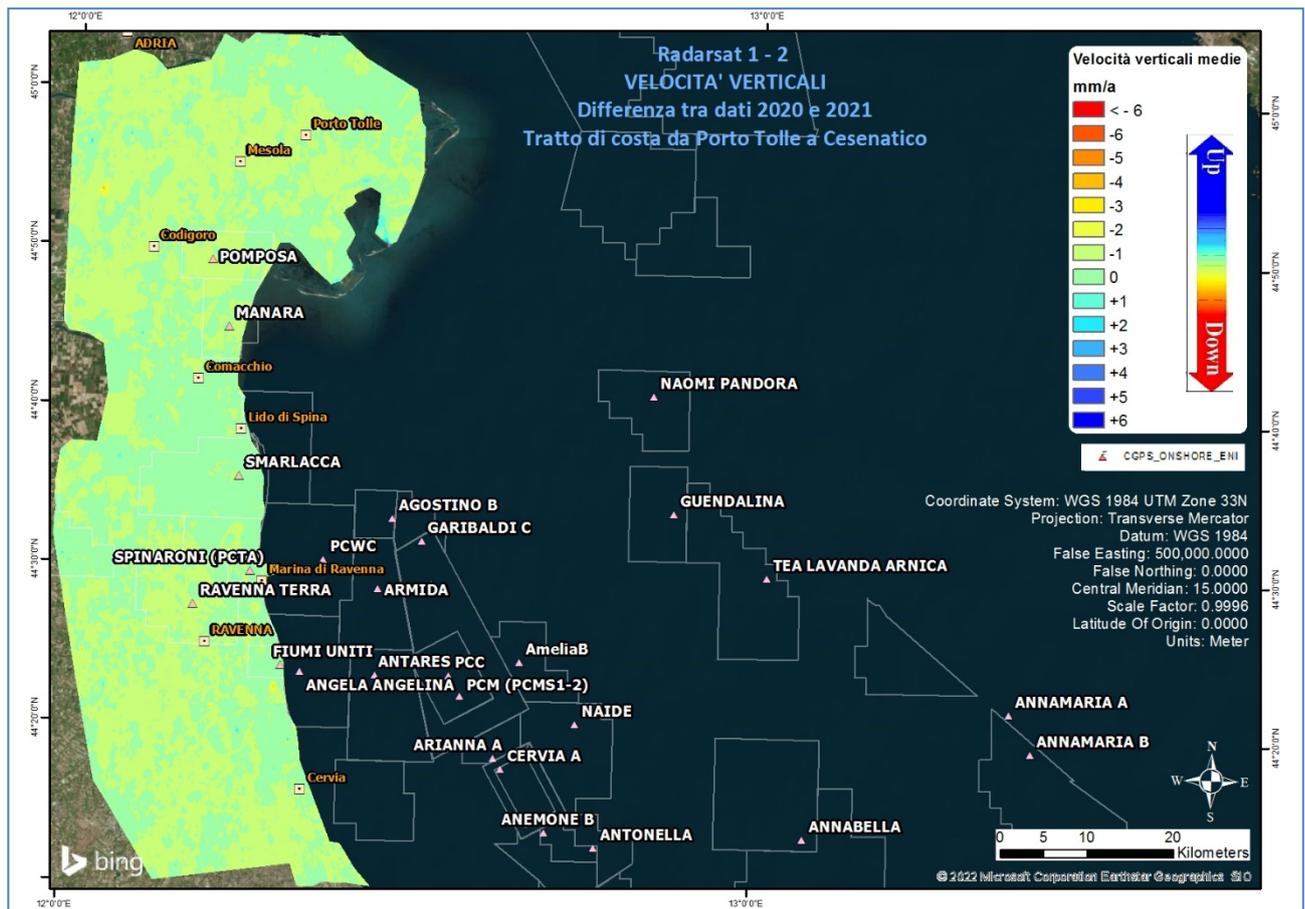
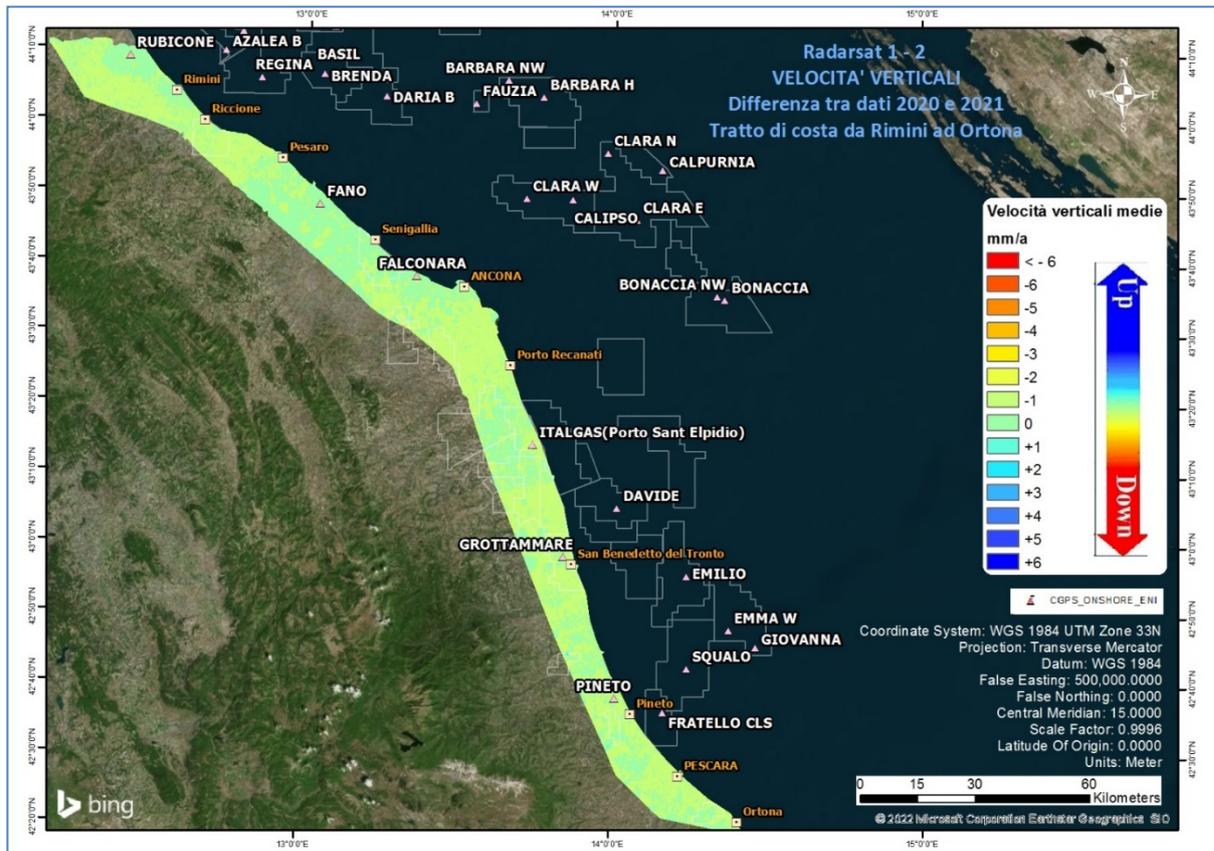


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003 – 2020 e il 2003 - 2021, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.



**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 presentano caratteristiche tali da permettere misure estremamente accurate della distanza sensore-bersaglio così da

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 37 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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.

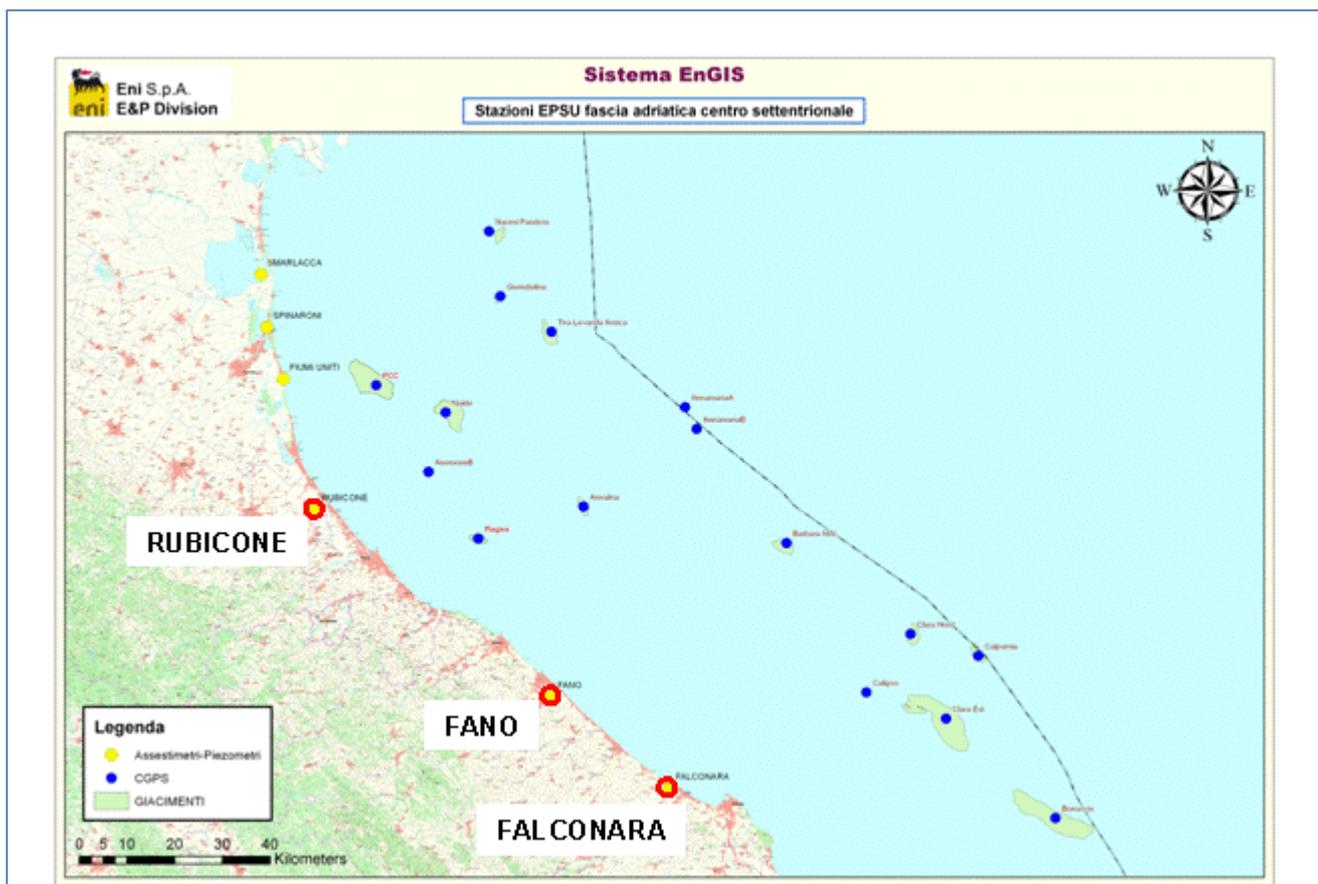


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni *EPSU*

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

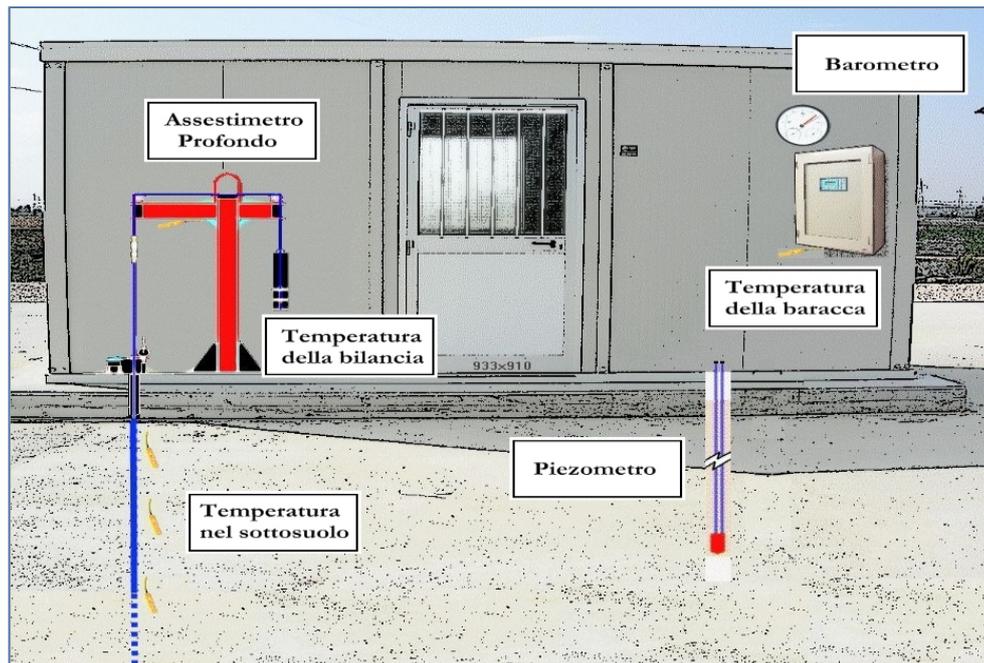


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 40 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **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

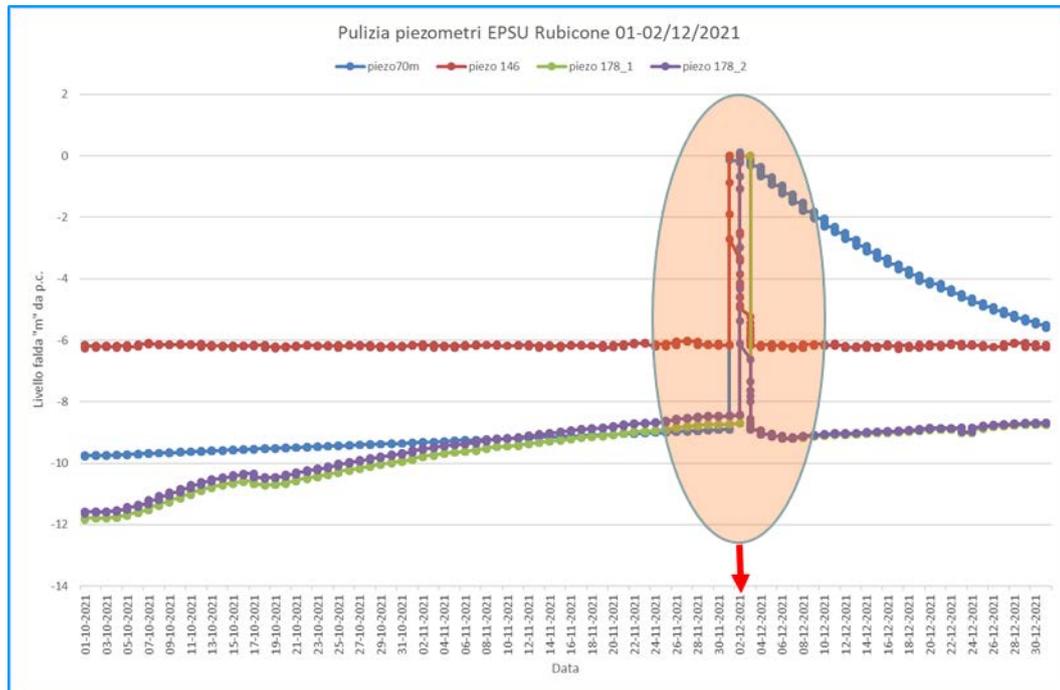
 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 41 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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

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

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

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

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 43 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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 8B e 9B).

Nel caso della stazione di Rubicone, l'andamento nel tempo della curva di compattazione/espansione registrata dall'assestometro 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 assestimetica 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'assestometro, e la dinamica annuale delle falde freatiche, che accanto alla componente naturale sembra essere l'unica responsabile della compattazione totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestometro.

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1 – 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 ritirati tutti i trasduttori di pressione, la cui affidabilità è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatimetro.

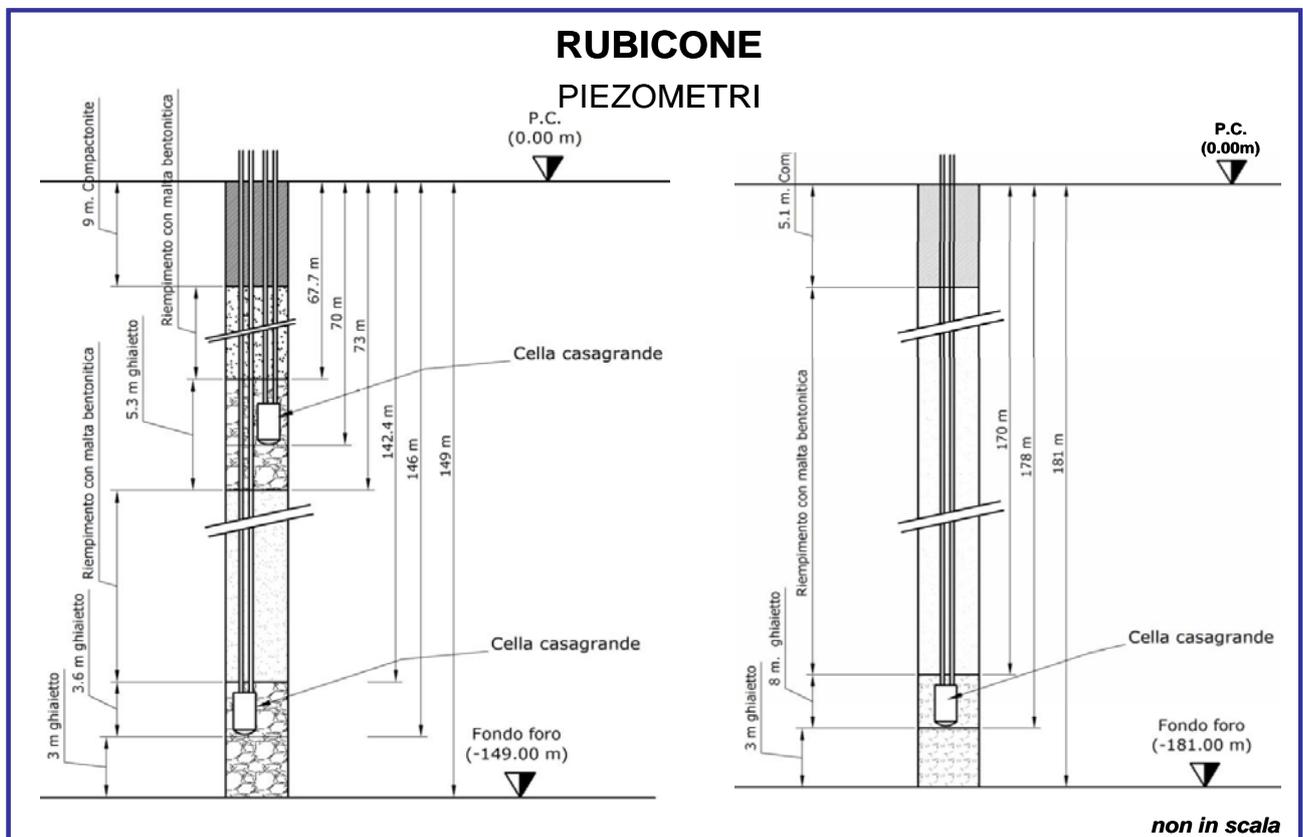
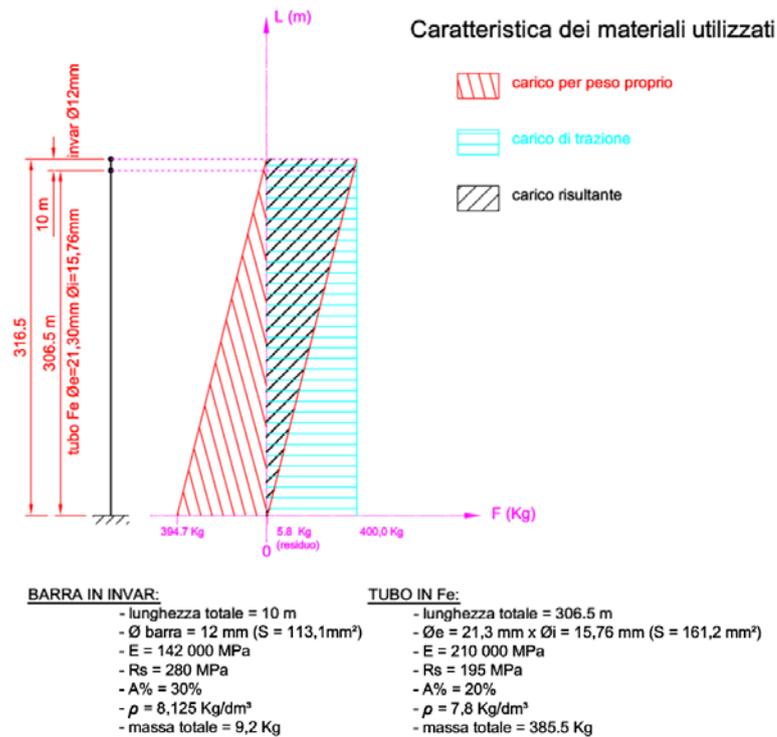


Figura 4B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

## 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.



**Figura 5B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone**

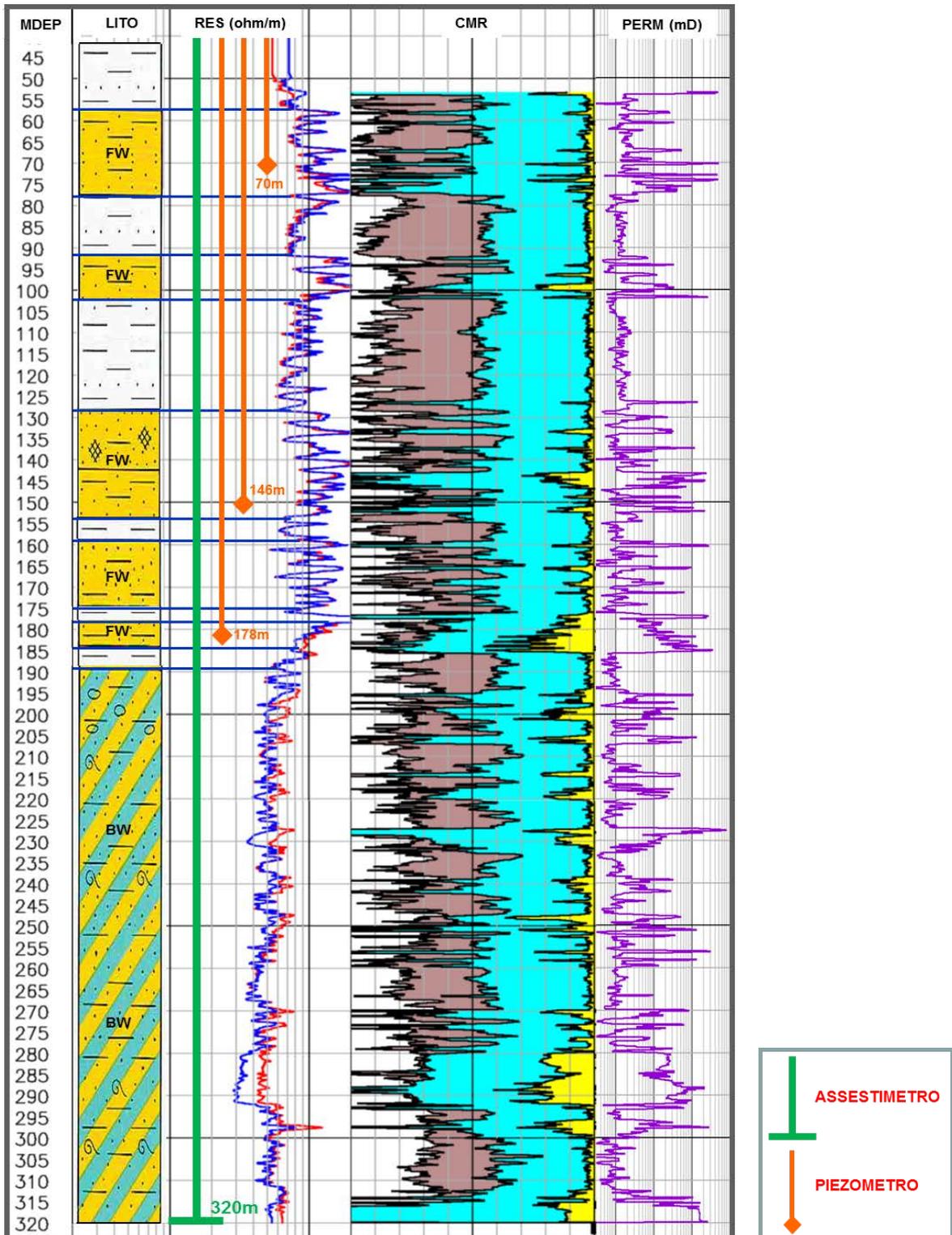
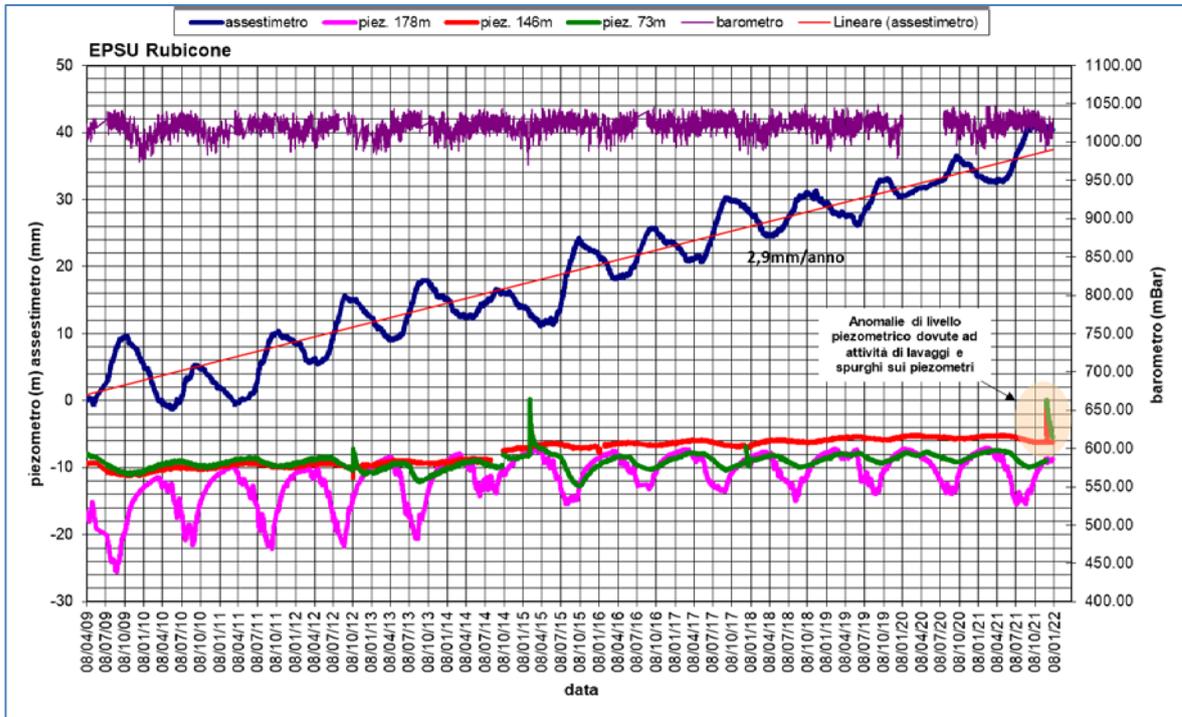
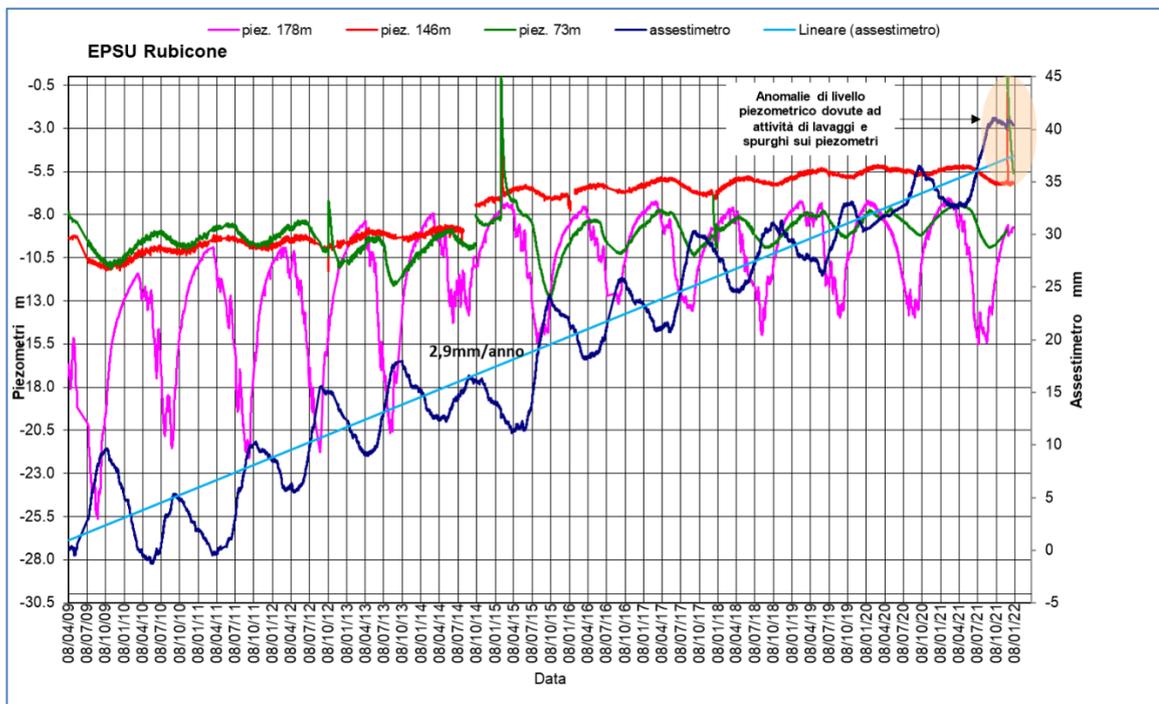


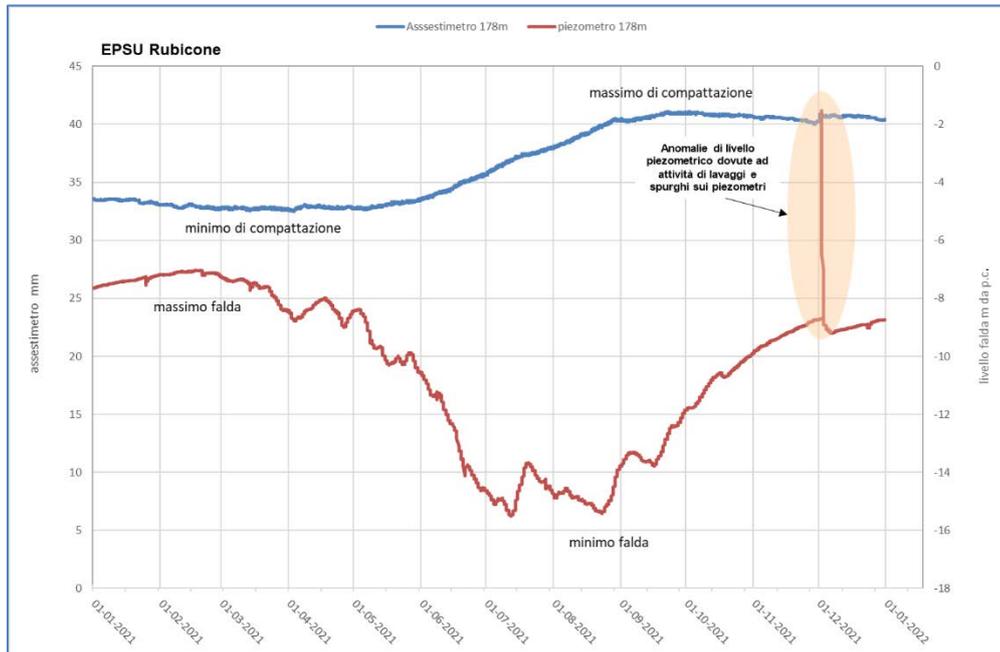
Figura 6B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone  
 (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)



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



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



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

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 49 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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

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

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

### **Strumentazione:**

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

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 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 .

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 50 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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  $\pm 1$  mm, con una punta massima di compattazione di circa 1.5 mm registrata all'inizio del 2012.

La curva assestimetrica, inoltre, si correla bene con l'andamento del livello della falda acquifera monitorata dal piezometro posto a circa 6 m dal piano campagna, anche se con uno sfasamento temporale (ritardo 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

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 51 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

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  $\pm 7$  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.



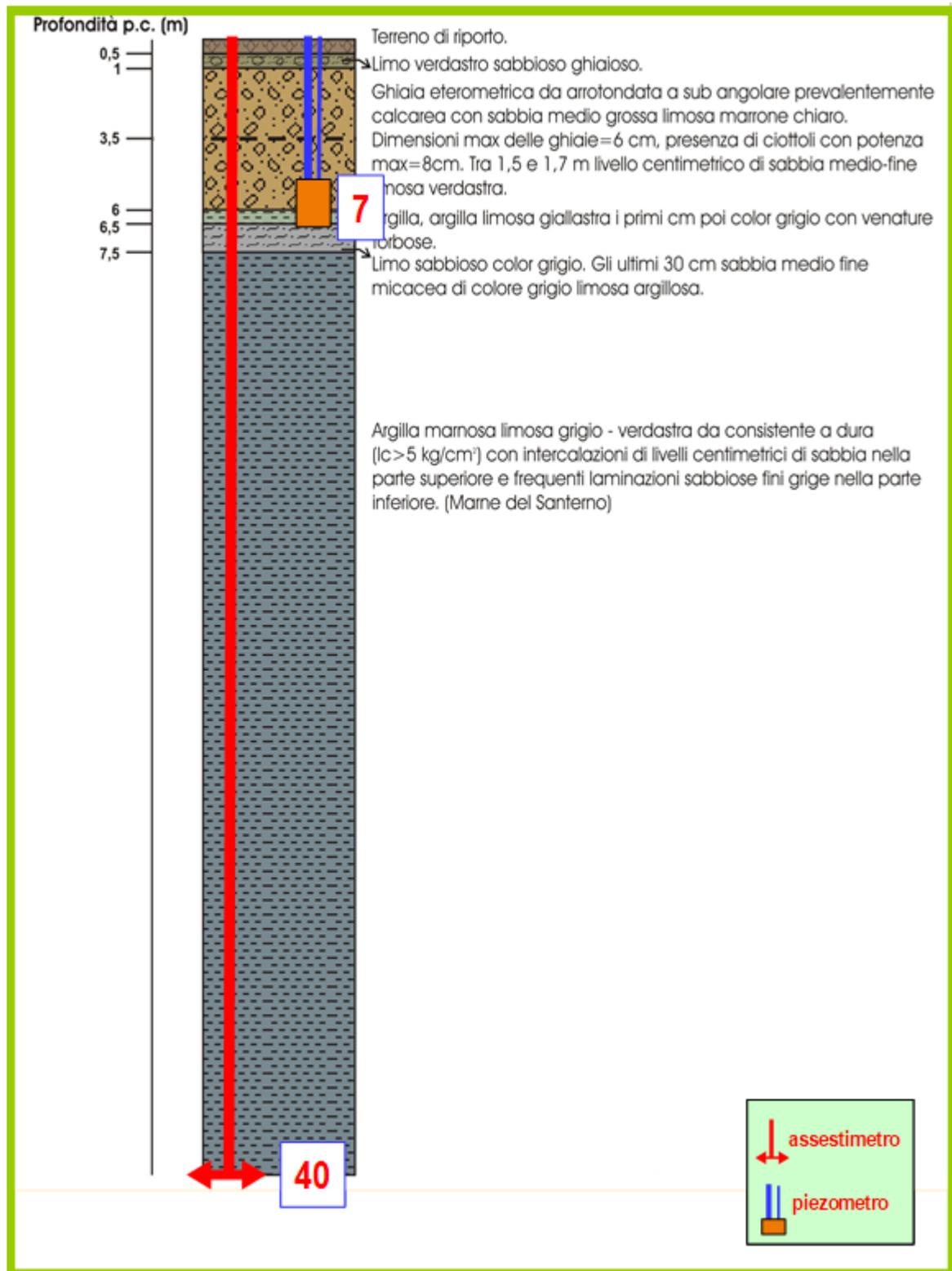


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

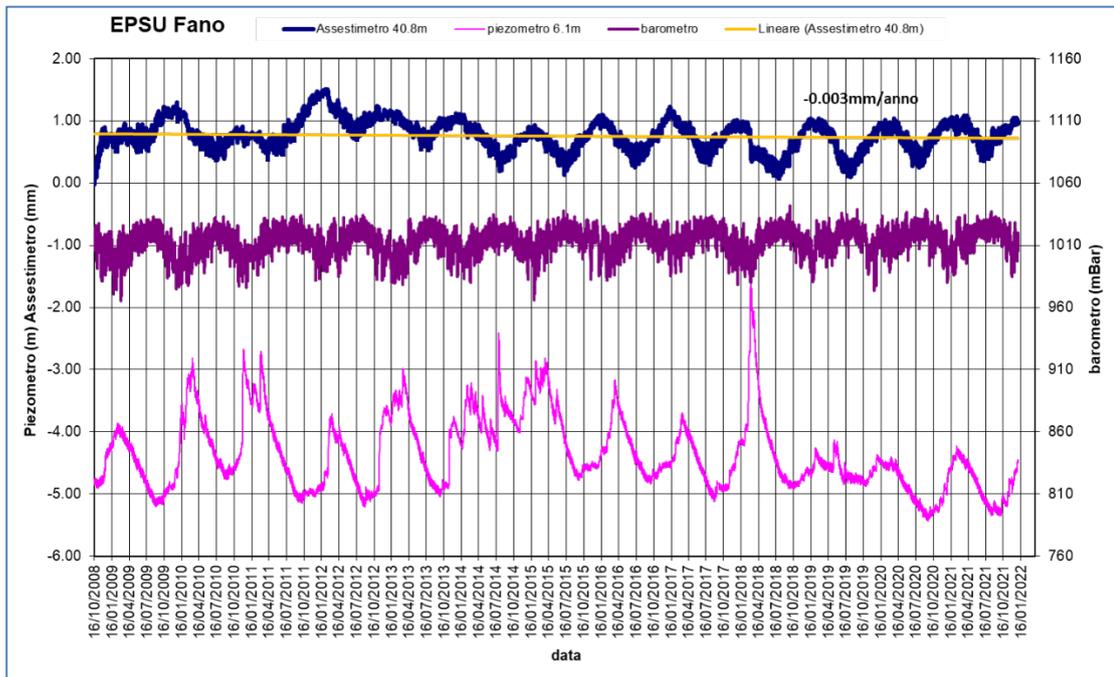


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

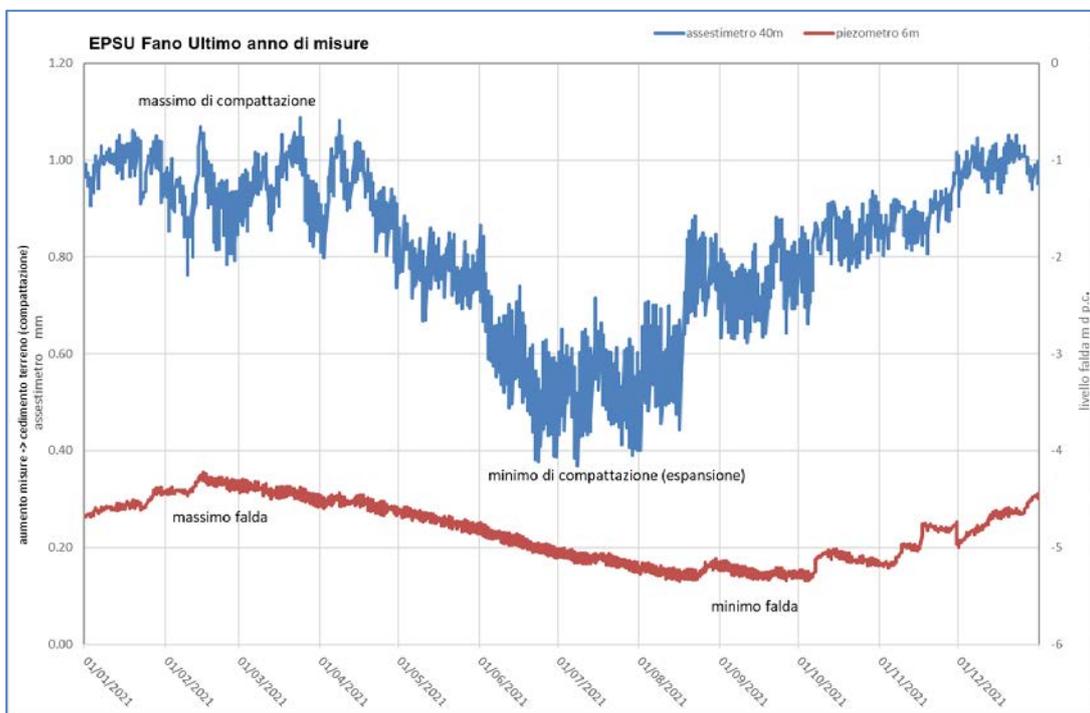


Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 55 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

## **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.

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 56 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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.



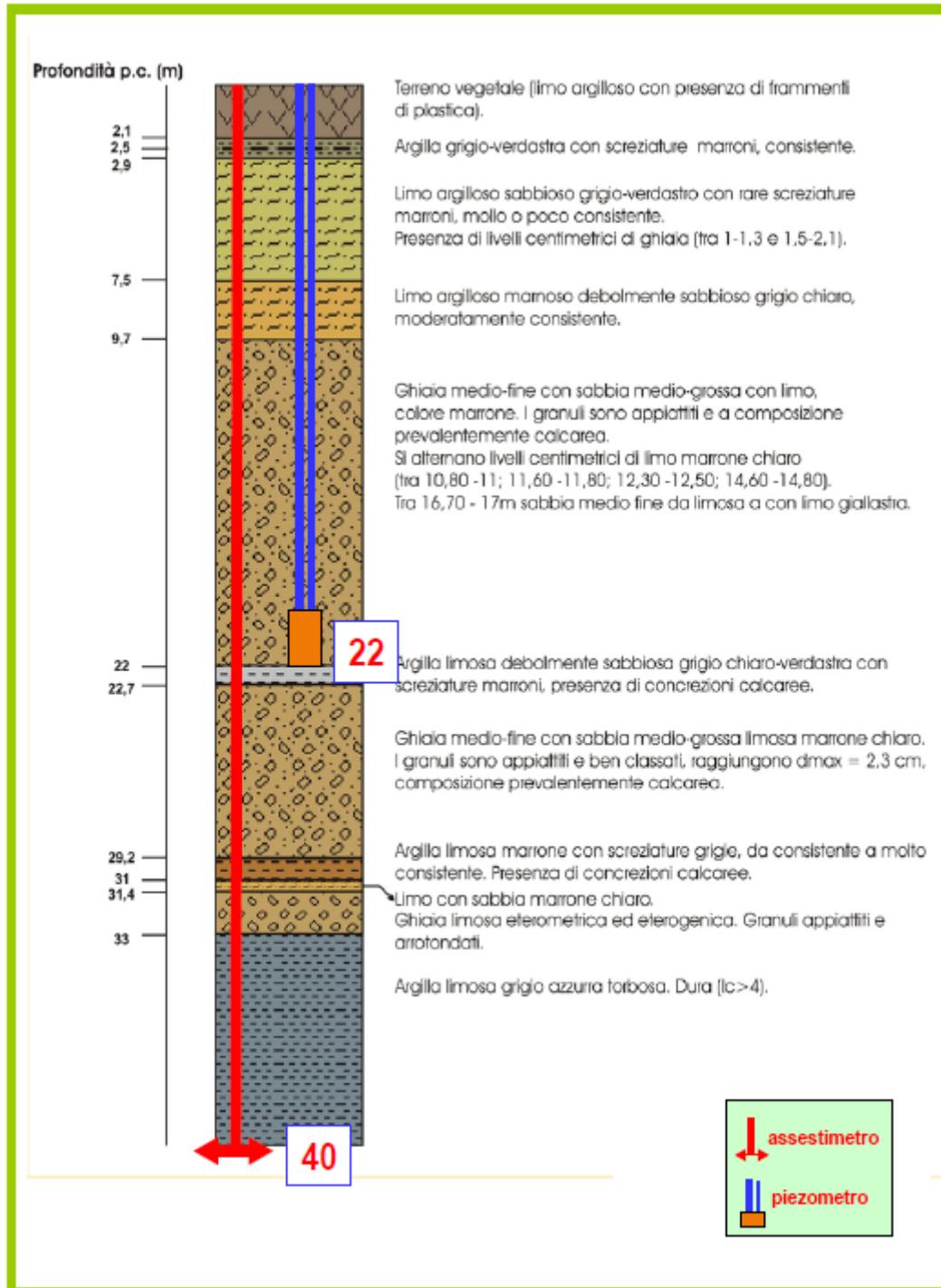


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

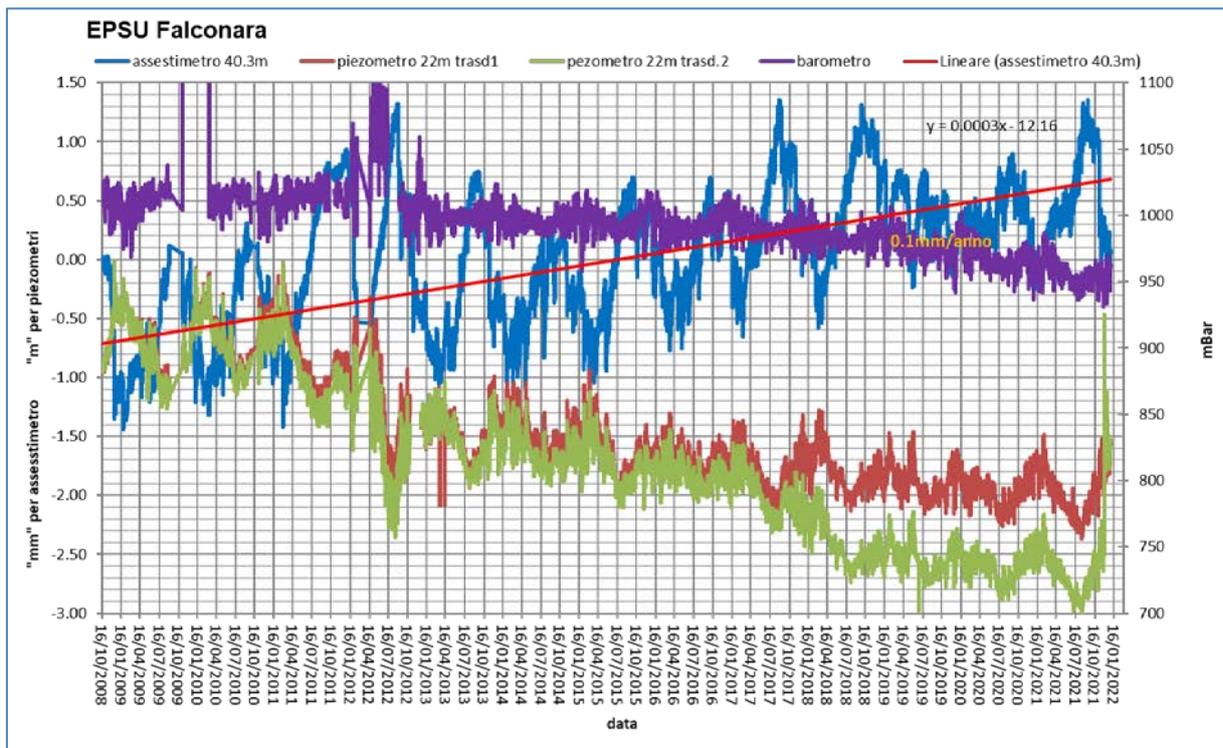


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

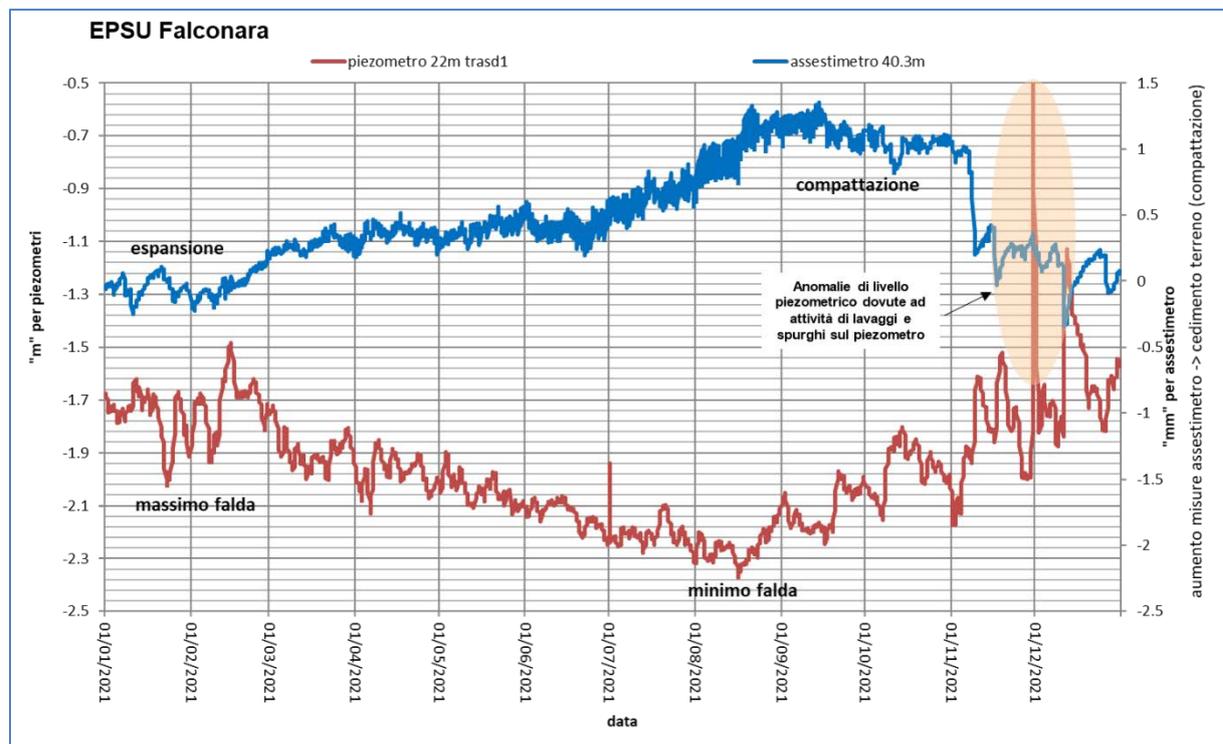


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di REGINA novembre 2022	Documento GEODCS_REL2022_REGI	Page - 60 - of 61
--	----------------------------------	----------------------------------	-------------------

## 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)
<b>Rubicone</b>	12.73	40.3	3.1	n.i.	-
<b>Fano</b>	13.21	n.i.	-	0.97	n.v.
<b>Falconara</b>	13.21	n.i.	-	0.08	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile