

	Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 1 - of 66
--	---------	-------------------------------------	---------------------------------	------------------

Campo di ANNAMARIA

Aggiornamento al 31/12/22



Sommario

1	Introduzione	- 3 -
2	Assetto geologico - minerario	- 3 -
3	Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento	- 3 -
4	Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva	- 5 -
5	Modellistica previsionale di subsidenza	- 5 -
6	Survey Batimetrici.....	- 8 -
7	Monitoraggi altimetrici onshore e offshore	- 10 -
7.1	Livellazione.....	- 10 -
7.2	CGPS (Continuous GPS)	- 13 -
8	SAR (cfr. Appendice A).....	- 16 -
9	SSU / EPSU (cfr. Appendice B).....	- 16 -
10	Misura della compattazione profonda - survey log con tool FSMT (Formation Subsidence Monitoring Tool).....	- 17 -
11	Confronto tra modello geomeccanico e dati di monitoraggio (CGPS e FSMT).....	- 17 -
12	Conclusioni	- 18 -
13	Appendice A: Analisi dei dati satellitari (2012-2022) lungo la fascia costiera compresa tra Porto Tolle (RO) e Ortona (PE).....	- 36 -
14	Appendice B: Monitoraggio della compattazione superficiale (agg. 2022) lungo la fascia costiera compresa tra Cervia e Ancona - giacimenti di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW.	- 42 -

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 3 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	------------------

1 Introduzione

Il campo di Annamaria è situato nell'offshore Adriatico a circa 60 km della costa marchigiana (Figura 1) in un'area dove la profondità dell'acqua varia tra 56 e 65 m.

Il campo, situato tra Italia e Croazia, ricade entro due concessioni denominate "Production License" A.C11.AG (Eni 100%) e "Exploitation Concession SJEVERNI JADRAN".

La concessione A.C11.AG, conferita a Eni in data 23/10/1979 è stata prorogata al 23/10/2024.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C11.AG	23/10/2024	Eni	Eni	100%	Marche

2 Assetto geologico - minerario

Il contesto geologico in cui si colloca l'area di Annamaria è rappresentato dalla fascia di transizione tra l'avanfossa plio-pleistocenica e il relativo avanpaese, con un substrato costituito da una piattaforma carbonatica (Calcari del Cellina) suturata dalle peliti di rampa della F.ne Santerno.

A partire dal Pleistocene inferiore, l'area di Annamaria è stata raggiunta dalle frange più esterne del sistema torbido della F.ne Porto Garibaldi e in seguito dalle torbidi distali della F.ne Carola, che hanno progressivamente colmato il bacino torbido poggiando direttamente in onlap sulla rampa di avanpaese della F.ne Santerno (Figura 2).

3 Iter autorizzativo e sviluppo del giacimento

La fase esplorativa del campo ha visto prima la perforazione dei pozzi Jadran-16/1A (1979) e Annamaria-1 (1982), che hanno intercettato la culminazione che sarà poi sviluppata dalla piattaforma Annamaria A (acque croate) e poi del pozzo Annamaria-2 (2002) che ha intercettato la culminazione in seguito sviluppata dalla piattaforma Annamaria B (acque italiane). Lo sviluppo del campo ha richiesto la perforazione di 6 pozzi (AM1dir, AM2dir, AM3dir, AM4dir, AM5dir, AM12dir) dalla piattaforma Annamaria A, ubicata in acque croate (inizio produzione marzo 2009) e operata da INA (compagnia petrolifera croata) e di 6 pozzi (AM6dir, AM7dir, AM8dir, AM9dir, AM10dir e AM15dir) più uno di monitoraggio (AM11dir) dalla piattaforma Annamaria B, ubicata in acque italiane e operata da Eni.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 4 - of 66</p>
---	---	---	-------------------------

Su **Annamaria B** sono entrati in produzione per primi i pozzi AM 6dir, AM8dir e AM9dir (marzo 2010), in seguito i pozzi AM10dir (maggio 2010), AM7dir (giugno 2010) e AM15dir (agosto 2010).

Nel documento SIA redatto per il progetto di sviluppo si è riportato un profilo di produzione derivante dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse 3D*) dell'aprile 2006.

Tale profilo è riferito alla produzione di entrambe le piattaforme con le seguenti previsioni:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 8793 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1.0 MSm³/g;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 9337 MSm³ di riserve producibili in 30 anni con un picco iniziale di produzione giornaliera di circa 1.1 MSm³/g.

Nel maggio 2012 è stato fatto un aggiornamento del modello di giacimento *Eclipse* (rel. *Eni-GISE 07/12 del 31/05/2012 Campo di Annamaria – Studio dinamico di giacimento*) tenendo conto sia dei dati di produzione acquisiti nella prima fase produttiva del campo sia del previsto completamento della fase di sviluppo del giacimento con la perforazione di ulteriori due pozzi *infilling* nel periodo gennaio - aprile 2013 dalla piattaforma Annamaria B. Questo nuovo studio ha portato a una riduzione di circa il 31% delle riserve a vita intera del campo.

Infatti, con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme si è stimato:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 8022 MSm³ di riserve producibili in 30 anni;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 4415 MSm³ di riserve producibili in 30 anni.

Un ulteriore aggiornamento del modello di giacimento *Eclipse* è stato successivamente fatto **nel dicembre 2015** (rel. *Eni-GISE 16/15 del 15/12/2015, Annamaria Field – Dynamic Model Update*) tenendo conto dei dati di produzione e di pressione acquisiti.

Con riferimento alla produzione di entrambe le piattaforme si è stimato:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 3815 MSm³ di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso *Do Nothing*);
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 3890 MSm³ di riserve producibili al 31 dicembre 2039 (caso *Do Nothing*).

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 5 - of 66</p>
---	---	---	-------------------------

4 Ultimi aggiornamenti modellistici e storia produttiva

Un nuovo aggiornamento del modello di giacimento è stato finalizzato **nel dicembre 2017** (*rel. Eni-GISE 19/17 del 12/2017, Annamaria Complex-Nota Tecnica-Studio di giacimento per studio geomeccanico*) per cui si sono stimate riserve complessive del campo pari a 7528 MSm³.

Un successivo aggiornamento del modello di giacimento **nel agosto 2021** (*Annamaria Complex - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico, Rel. EORG N° IPET-2D0BBCDF-0 (agosto 2021)*) tenendo conto dei dati di produzione e di pressione nel frattempo acquisiti. Nel nuovo aggiornamento sono stimate 7262 MSm³ di riserve producibili al 2038 così suddivise:

- **piattaforma Annamaria B:** recupero di 3250 MSm³;
- **piattaforma Annamaria A:** recupero di 4012 MSm³.

La produzione totale di campo è stata di 6376 MSm³ al 31/12/2022 (Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7) così ripartita fra le due piattaforme:

- **Annamaria B:** 3051 MSm³;
- **Annamaria A:** 3325 MSm³.

Per alcuni livelli rappresentativi del campo, la Figura 8 riporta un confronto fra le pressioni rilevate sul pozzo Annamaria 11B che sono registrate in continuo con “*Permanent Pressure Gauges*” (PPG), e i corrispondenti valori di pressione calcolati dal modello *Eclipse* (agosto 2021); tale confronto mostra una generale stabilità dei valori di pressione mentre per alcuni livelli si registra una ri-pressurizzazione (PLQ-B4, PLQ-E1_5 e PLQ-Q1).

5 Modellistica previsionale di subsidenza

Per il giacimento di Annamaria la previsione iniziale di subsidenza allegata al SIA è stata eseguita con modello geomeccanico a Elementi Finiti (*Campo di Annamaria – Modello elasto-plastico di subsidenza, rel. Eni-TERA 16/2007, giugno 2007*).

Questo modello ha stimato in 90 cm al 2038 (anno di fine produzione) il valore massimo di subsidenza nel caso dello scenario di riferimento ritenuto più probabile (M2).

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 6 - of 66</p>
---	---	---	-------------------------

Alla stessa data e per lo stesso scenario la curva d'iso-subsidenza di 2 cm è stata prevista estendersi per circa 12 km dal centro del campo¹. Al 2060 il valore massimo di subsidenza è stato previsto essere 86 cm con la curva d'iso-subsidenza di 2 cm prevista estendersi per circa 15 km dal centro del campo.

I risultati dello studio hanno mostrato, quindi, come il cono di subsidenza si esaurisca a una distanza di oltre 45 km dalla costa più vicina dopo 22 anni dalla fine della produzione del campo. Questo risultato è stato, di fatto, lo stesso per tutti gli scenari considerati e non è stato sostanzialmente modificato considerando anche una possibile interferenza con altri campi a gas in produzione nelle acque croate.

Per accertare, infatti, gli effetti di possibili interazioni di tipo idraulico e/o meccanico con giacimenti limitrofi è stato eseguito uno studio di previsione di subsidenza considerando anche i campi a gas di Ida e Ika in produzione nelle acque croate (*Campo di Annamaria – Studio di previsione di subsidenza e interazione con i campi di Ida e Ika, Management Summary, Relazione Eni-TERA 11/2008, maggio 2008*).

Tale studio è stato trasmesso da Eni al MATTM nell'ambito della documentazione integrativa del SIA del campo "Annamaria" con nota del 19/06/2008.

I risultati di questa nuova valutazione sono stati del tutto in linea con quelli ottenuti nella previsione di subsidenza indotta dalla produzione del solo campo di Annamaria. Nel caso di riferimento più probabile (M2), infatti, la subsidenza calcolata al 2038 è stata pari a 92 cm, valore che è raggiunto alla fine della produzione e tende lievemente a ridursi negli anni successivi; al 2060 l'estensione della linea d'iso-subsidenza dei 2 cm è risultata estendersi di circa 15 km dal centro del campo, confermando come il fenomeno si esaurisca a oltre 45 km dalla linea di costa.

Per migliorare il *match* tra le misure CGPS acquisite in piattaforma e le previsioni modellistiche di subsidenza nel 2017 si sono aggiornati sia il modello di giacimento (statico e dinamico) che il modello geomeccanico (*Campo di Annamaria – Modello elasto-plastico di subsidenza - Management Summary, Relazione Eni-TERA 05/2017, dicembre 2017*).

¹ Nel 2002 Eni ha nominato una Commissione Scientifica Internazionale (CSI), presieduta dal Prof. E. Boschi e costituita da esperti di fama internazionale, per valutare gli effetti dell'estrazione di gas dai giacimenti offshore sulla stabilità delle coste del Ravennate e, in generale, di tutto il Nord Adriatico. In merito all'estensione del cono di subsidenza, la CSI ha concluso che la linea d'iso-subsidenza di 2 cm è da considerarsi "*the limit of any physical identification of induced subsidence effects*". Tutti gli studi e le conclusioni della CSI sono stati poi resi pubblici con il volume "*Land Subsidence – Special Volume*" edito in occasione del *7th International Symposium on Land Subsidence – Shanghai (P.R. China) – 23-30 Oct. 2005*. A partire da tale data Eni considera nei propri studi la linea d'iso-subsidenza di 2 cm come il contorno esterno che delimita il cono di subsidenza.

Infine, un nuovo aggiornamento delle previsioni modellistiche è stato finalizzato nel corso del 2021 essendo disponibile il nuovo modello dinamico di giacimento (*Annamaria Complex - Aggiornamento studio di giacimento per studio geomeccanico, Rel. EORG N° IPET-2D0BBCDF-0 (agosto 2021)*).

La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella relazione (*Campo di Annamaria Complex - Modello geomeccanico di Subsidenza – Management Summary - rel. Eni- IPET-25FDEE7A-0 - ottobre 2021*).

Le previsioni di subsidenza sono state fatte considerando due possibili scenari di produzione di forecast:

- Caso “**Do Nothing (DN)**” che prevede il mantenimento dei completamenti aperti a fine HM (History Match), senza ulteriori interventi di sviluppo e la chiusura del campo al 01 gennaio 2039;
- Caso “**4 Development Wells (4DW)**” che prevede la perforazione di ulteriori 4 pozzi nel campo di Annamaria di cui 2 sidetrack (ST) dalla p.ma italiana (Annamaria B) nel 2025 e 2 nuovi pozzi da quella croata (Annamaria A) nel 2030 e la chiusura del campo al 01 gennaio 2041.

Il comportamento meccanico delle rocce è stato descritto, invece, secondo la legge costitutiva elasto-viscoplastica “*Soft Soil Creep*” (VNM) che è stata formulata arricchendo il classico modello elasto-plastico “*Modified Cam-Clay Model*” (MCCM) con la componente viscosa della deformazione.

Nella Tabella 1 sono rappresentati alcuni indici caratteristici del fenomeno della subsidenza in 5 diversi istanti temporali:

Tabella 1 – Subsidenza massima ed estensione del fenomeno.

DATA	Fase	Scenario di sviluppo	Subsidenza Punto di Max (cm)	Estensione Max (Km)	Distanza Min da Costa (Km)
01-apr-21	fine HM del mod.fluido-dinamico	\	86	20	50
01-gen-39	fine PRODUZIONE caso DN	DN	114	25	46
01-gen-69	fine SIMULAZIONE caso DN		112	29	44
01-gen-41	fine PRODUZIONE caso 4DW	4DW	138	25	46
01-gen-71	fine SIMULAZIONE caso 4DW		139	29	44

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 8 - of 66</p>
---	---	---	-------------------------

- nello scenario **DN** la massima subsidenza prevista è rispettivamente di 114 cm a fine produzione e di 112 cm a fine simulazione mentre nello scenario **4DW** tali valori risultano rispettivamente di 138 cm (fine produzione) e a 139 cm (fine simulazione).
- Il modesto *rebound* del fondale marino che il modello prevede in entrambi i casi è causato dalla spinta degli acquiferi che ripressurizzano gli strati depletati dalla produzione di gas.
Tale fenomeno è visibile non solo nel punto di massima subsidenza ubicato lungo la congiungente le piattaforme di Annamaria A e Annamaria B ma anche in corrispondenza della piattaforma di Annamaria B;
- l'influenza degli scenari di sviluppo sull'estensione areale del fenomeno è trascurabile. Infatti, in entrambi i casi la minima distanza dalla costa è pari a 44 Km (Figura 9).

6 Survey Batimetrici

In ottemperanza a quanto prescritto al punto C del *DEC/2008-0000271 del 12/12/08*, nel periodo 4/2009-12/2009 è stato eseguito un rilievo batimetrico in un'area del campo di Annamaria comprendente le piattaforme di Annamaria A e Annamaria B per un'estensione totale pari a circa 1200 km². Il risultato di questo primo rilievo ha permesso una caratterizzazione geomorfologica del fondale caratterizzato da una profondità minima di -41 m nella parte NE che declina fino a -68 m di profondità nella parte meridionale.

L'area del rilievo 2009 si può idealmente dividere in due parti, separate approssimativamente dalla batimetrica di -56 m (Figura 11):

- la parte settentrionale è abbastanza regolare a bassa pendenza, ad eccezione della parte di NE, dove sono visibili delle depressioni lineari;
- la parte meridionale invece è più aspra e articolata, caratterizzata da strutture che sembrerebbero essere tipiche di un paleo-delta.

Le pendenze del fondale sono generalmente inferiori a 0.5°; i valori più elevati (>2°) sono presenti nella parte settentrionale.

La parte settentrionale è, quindi, delimitata a sud (intorno alla batimetrica di -56 m) da un brusco cambiamento nella morfologia del fondale oltre il quale si rilevano strutture meandriformi. È possibile ipotizzare dall'andamento batimetrico generale come queste strutture appartengano al paleo-delta del fiume Po, con una parte settentrionale rappresentativa

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 9 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	------------------

della piana alluvionale e deltizia e una parte meridionale rappresentativa di morfologie di fronte deltizia e di prodelta.

L'acquisizione del rilievo batimetrico *multibeam* del 2009 è stata fatta non solo per una caratterizzazione geomorfologica del fondale, ma anche per ottenere un "termine di confronto" prima dell'avvio della produzione del campo, abbracciando un'area di estensione tale da includere tutta la possibile superficie di disturbo indotta dalla subsidenza così come prevista in fase di modellazione. Nel corso del 2016 si è proceduto, perciò, all'acquisizione di un nuovo rilievo batimetrico della sola zona italiana per il controllo e taratura delle previsioni del modello geomeccanico. Un primo confronto per la zona monitorata (Figura 10) tra le quote rilevate nel 2009 e nel 2016 (Figura 11) mostra che il fondale marino è soggetto a un abbassamento ben definito nell'intorno della piattaforma Annamaria B (rapporto "AM711" *del survey batimetrico 2016 di Lighthouse*). È stata poi analizzata la subsidenza misurata mediante le batimetrie del 2009 e del 2016 rispetto a quanto simulato per lo stesso periodo dal modello geomeccanico del 2021. In Figura 12 si mostra il confronto in termini di linee di iso-subsidenza (20, 30, 40, 50 e 60 cm) tra il 2009 e il 2016: si osserva un'accurata riproduzione delle misure da parte del modello. Nella Figura 13 si riporta, inoltre, il confronto lungo 2 sezioni trasversali: una parallela alla linea mediana (NW-SE) con azimut di 315°, l'altra perpendicolare (NE-SW) con azimut di 225°. Dato che entrambe queste sezioni passano per la piattaforma Annamaria B, si riporta anche il valore di subsidenza registrato dalla stazione CGPS che, relativamente al periodo 2009-2016, corrisponde a 65 cm.

Dalla Figura 13 si nota come il modello ben riproduca la subsidenza misurata con le batimetrie lungo la sezione NE-SW nell'intervallo temporale 2009-2016, compatibilmente con l'incertezza di 5cm associata alle misure.

Lungo la direzione NW-SE si ha per contro una sovrastima, a vantaggio della sicurezza, delle misure batimetriche con una sovrastima del profilo calcolato rispetto a quello misurato a NW, indicativa del grado di cautela adottato nel realizzare il modello geomeccanico.

In conclusione, i valori di massima subsidenza ricavati dai rilievi batimetrici sono in linea sia con quelli previsti dal modello geomeccanico, sia con l'abbassamento della piattaforma Annamaria B registrato dalla stazione CGPS. L'estensione areale del cono di subsidenza, ricavata dalle misure batimetriche, risulta anch'essa in linea con quella prevista dal modello geomeccanico.

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 10 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

7 Monitoraggi altimetrici onshore e offshore

7.1 Livellazione

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

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

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

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

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

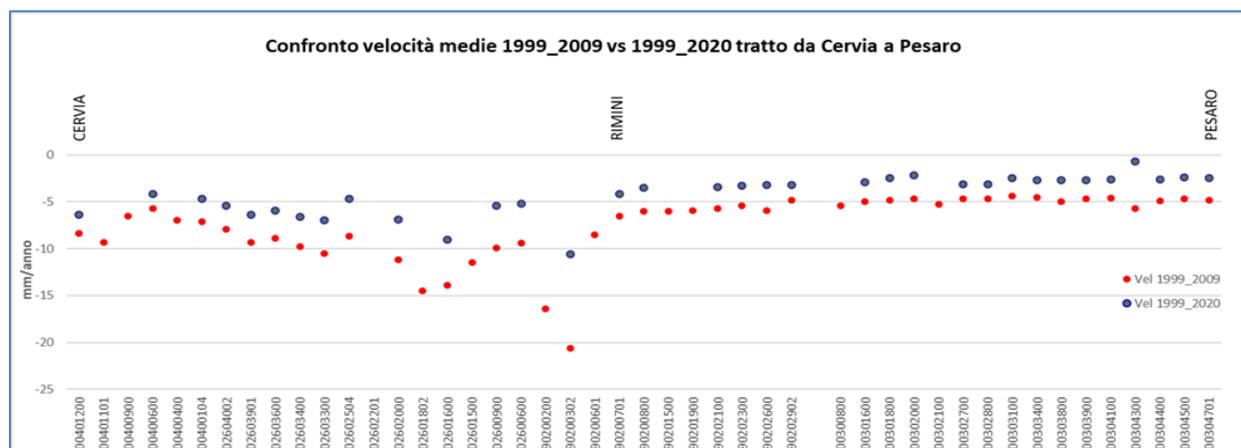
Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisor e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati. I parametri della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura sia per i valori legati alla propagazione dell’errore. In passato, sebbene vi fossero punti di contatto, non era possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sui singoli tratti di livellazione a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell’ente certificatore è stata predisposta sperimentalmente una rete di 6 stazioni permanenti CGPS nel tratto della Dorsale Adriatica (Treviso, Pomposa, Smarlacca, Spinaroni, Fiumi Uniti, Brisighella e Rubicone). Tali stazioni costituiscono una serie di capisaldi origine omogenei, che consentono di ottenere misure di quota fra loro consistenti.

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

Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro 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 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. L'andamento altimetrico rappresentato si riferisce al tratto di costa antistante i campi di Anemone, Annalisa, Annamaria, Naide e Regina.



L'ente certificatore ha effettuato anche in questa campagna la compensazione utilizzando i valori di velocità desunti dalle stazioni CGPS permanenti della rete Eni.

A questo proposito è necessario 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.

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 12 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

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

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

Al fine di realizzare un’analisi della velocità media di subsidenza V_a^2 dell’area monitorata è possibile realizzare una suddivisione nelle seguenti classi di valori:

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

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 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 la generale tendenza alla diminuzione delle velocità di subsidenza precedentemente descritto.

Le campagne future (il prossimo rilievo, originariamente previsto nel 2023, è stato posticipato al 2024 a seguito degli eventi alluvionali verificatisi in Romagna e nella zona nord della Regione Marche nel maggio-giugno 2023), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

² 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 ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 13 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

7.2 CGPS (Continuous GPS)

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

A terra, nel tratto di costa compreso tra Comacchio e Ortona sono state installate nel 2002 alcune stazioni CGPS quali Smarlacca (Valli di Comacchio), Spinaroni (Lidi Nord di Ravenna) e Fiumi Uniti (Lidi Sud di Ravenna). Successivamente nel corso del 2007 si è completata la stazione di Rubicone e quindi nel corso del 2009 si sono installate 4 stazioni CGPS in Ortona, Pineto, Grottammare e P.to Sant'Elpidio, quest'ultime tutte equipaggiate con 2 bersagli *radar* e con un caposaldo di livellazione.

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

Nel corso del 2018, sono state, infine, installate due ulteriori nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. (Satellite Survey Unit) di Pomposa (ACPO) a settembre 2018 e di Po di Tolle (POTO) a luglio 2018.

Analogamente a quanto avviene per le livellazioni, anche i dati del monitoraggio CGPS sono validati da un ente esterno. Attualmente questa attività è svolta dall'Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali – DICAM. I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Annamaria-B e nel tratto di costa antistante il giacimento (CGPS di Rubicone a nord e Fano a sud), elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS, sono certificati fino al 2021 e in fase di certificazione per gli

anni successivi. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2022 (Figura 14), 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 31/12/2021

Stazione	Dati Non Certificati			Dati Certificati			Delta (Non Cert.-Cert.)		
	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	Vel-N mm/a	Vel-E mm/a	Vel-H mm/a	D-N mm/a	D-E mm/a	D-H mm/a
Annamaria-B	28.57	15.76	-87.78	28.51	17.36	-86.86	0.06	-1.60	0.08

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.

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;

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 15 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

- 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.

Nel caso di Annamaria B (p.ma in acque italiane), sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi e nell'ipotesi di linearità del fenomeno deformativo, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale pari a -80.81 mm/a (Figura 14, Figura 17) in diminuzione rispetto a quanto riportato nella precedente relazione di aggiornamento (-87.78 mm/a al 2021).

Si riporta in Figura 15 anche la serie storica di misure CGPS rilevate sulla piattaforma Annamaria A (acque croate). L'elaborazione di tali misure consente di stimare una velocità media di subsidenza totale agosto 2022 di -70.86 mm/a.

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED 2.0 – 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 quattro significative variazioni di velocità, che sono ben correlabili con corrispondenti periodi della storia produttiva del campo.

In particolare, per le misure CGPS su Annamaria B (Figura 16):

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -53.97 mm/a nel periodo marzo 2010 (installazione del CGPS) - marzo 2013;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -139.94 mm/a nel periodo marzo 2013 - febbraio 2017;
- la velocità media di subsidenza totale è di circa -36.38 mm/a nel periodo febbraio 2017 - giugno 2020;

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 16 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

- la velocità media di subsidenza totale è di circa -15.87 mm/a nel periodo giugno 2020 – dicembre 2022.

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

8 SAR (cfr. Appendice A)

Il monitoraggio altimetrico del tratto di costa viene integrato con un'analisi della serie storica dei dati InSAR. In (Figura 18) è rappresentata la velocità media calcolata come regressione lineare degli spostamenti misurati nel periodo 2012-2022. Inoltre, considerando i punti ricadenti all'interno del poligono rosso (Figura 18), è rappresentato il grafico dello spostamento medio nel periodo analizzato. Il tasso annuale di velocità verticale media del suolo calcolato come regressione lineare è di -0.33 ± 0.80 mm/a. Il campo ricade nella maschera Fano-Ancona, per cui non è stato necessario calibrare il dato InSAR con il dato CGPS (Appendice A).

9 SSU / EPSU (cfr. Appendice B)

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi di Regina, Anemone, Naide, Annalisa, Annamaria, Barbara NW, Fauzia, Clara Est-Clara NW, Calipso, Calpurnia, Clara Nord, Elettra, Bonaccia-Bonaccia NW di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli radar solidalmente connessi tra loro tramite una platea di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007; negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrico-piezometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni (EPSU) si sono aggiunte a quelle pre-esistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 17 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

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

Allo scopo di monitorare *in-situ* la compattazione delle rocce serbatoio, si è proceduto, a partire dal 2010, al rilievo con FSMT dei *marker* installati nel pozzo di Annamaria B11.

I rilievi sono stati acquisiti nelle seguenti date: 16/03/2010, 19/09/2010, 17/03/2011, 06/04/2012, 24/07/2013, 30/09/2014, 31/05/2015, 24/07/2016, 07/09/2017, 02/12/2018 e 10/06/2022 (anno di competenza 2021) come prescritto dal *DEC/2008-0000271 del 12/12/08* e dal "*Piano di monitoraggio dei fenomeni geodinamici*" redatto da Eni e inviato a MATTM il 14/07/2009. A seguito dell'accoglimento da parte del MATTM (rif. parere MATTM-CTVA n.3089 del 19.07.2019) della richiesta di Eni di variare la periodicità di acquisizione del log di compattazione (FSMT) in giacimento tramite *marker* da annuale a triennale, il survey del 2019 e del 2020 non sono stati acquisiti.

Con riferimento alle misure realizzate tra dicembre 2018 e giugno 2022 (considerando solo i *marker spacing* all'interno dei layer produttivi) si ha una compattazione pari a circa 26 mm, così ripartita:

- da 991.00 a 1001.50 m: espansione di 5 mm;
- da 1057.55 m a 1498.55 m: compattazione di 33 mm;
- da 1738.00 a 1769.50 m: espansione di 2 mm.

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

- Modello geomeccanico vs. dati altimetrici da CGPS

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico dell'agosto 2021 sono stati confrontati con quelli acquisiti dalla stazione CGPS di Annamaria B (aggiornati al 31/12/2022) senza che questi ultimi siano stati depurati dalla componente di subsidenza naturale³. Come mostrato in Figura 19, l'accordo è decisamente buono a conferma dell'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza.

³ L'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma, e che viene rilevato sia con la batimetria che con il CGPS, rappresenta la "subsidenza totale" di tale zona. Quest'ultima è causata dal concorso di diversi fenomeni, quali: 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 (evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa). I modelli geomeccanici, invece, valutano la sola "subsidenza antropica" per effetto dell'estrazione del gas e non tengono conto degli altri fenomeni di cui si è detto.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 18 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

- Modello geomeccanico vs. dati di compattazione da FSMT

In Figura 20 e Figura 21 sono riportati i risultati dei monitoraggi FSMT in termini di compattazione/espansione (mm) avvenuta tra coppie di rilievi consecutivi, considerando che la spaziatura dei marker risulta essere di 5.25m invece che 10.5m.

In Figura 22 viene rappresentato, inoltre, il confronto tra le misure acquisite e le stime fornite dal modello per la variazione di ampiezza dei marker spacing, rispetto al primo sondaggio del 2010. Per le misure viene mostrata anche la barra di confidenza o errore (in rosso).

Dal confronto tra il modello e gli ultimi survey si può notare come nel 2018 le previsioni di compattazione cumulativa stimate siano in linea con i dati misurati mentre per il 2022 si osserva, invece, una modesta sovrastima della compattazione simulata.

12 Conclusioni

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

Si segnala infine che:

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

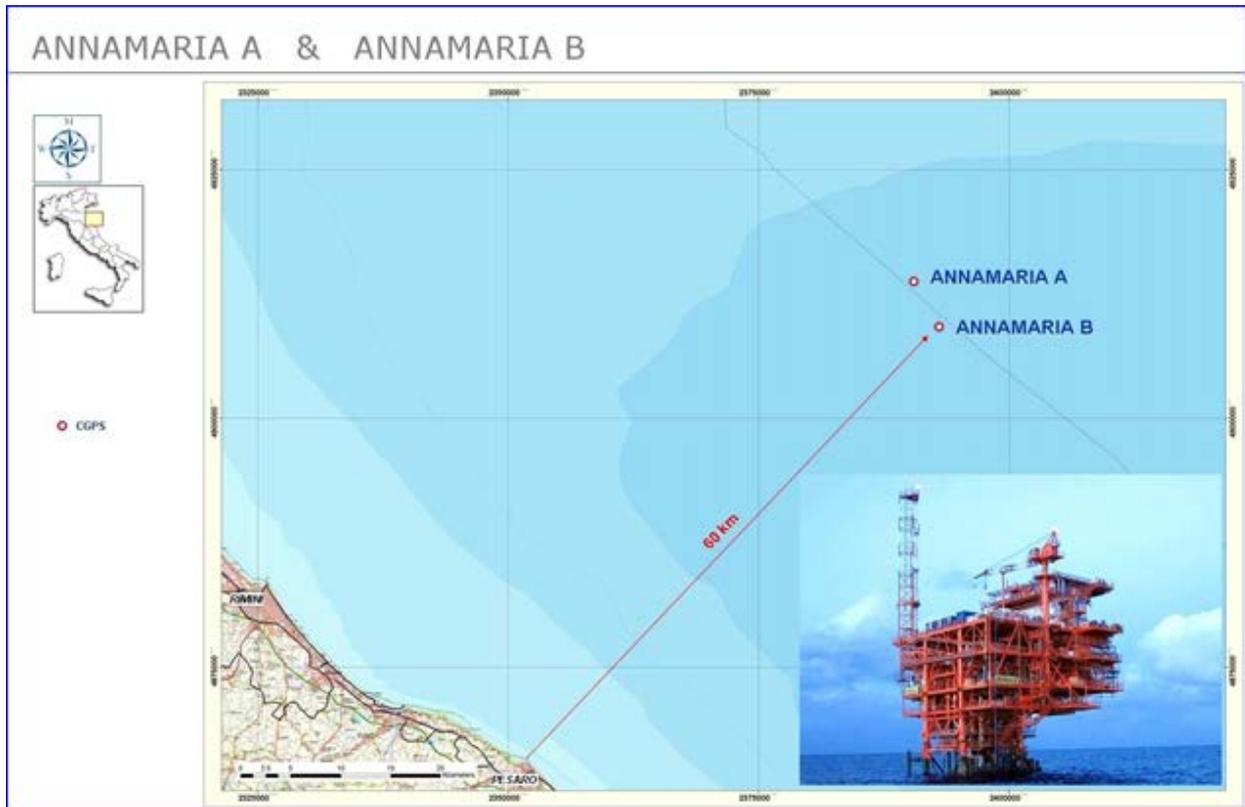


Figura 1 - Ubicazione del campo di Annamaria

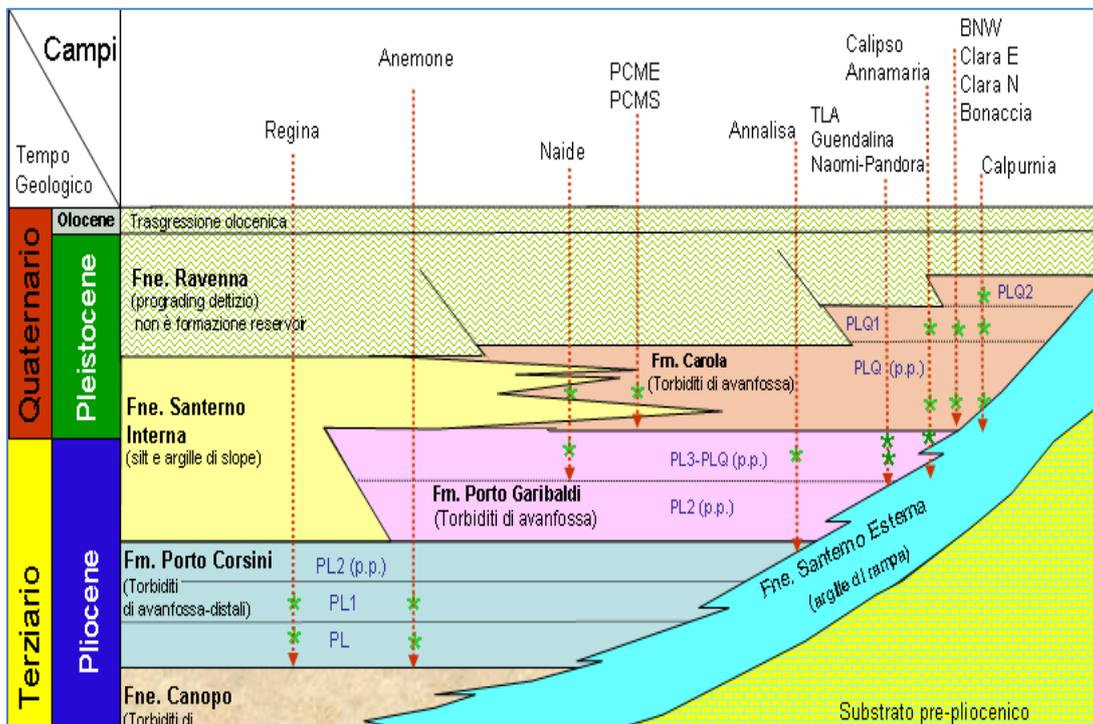


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

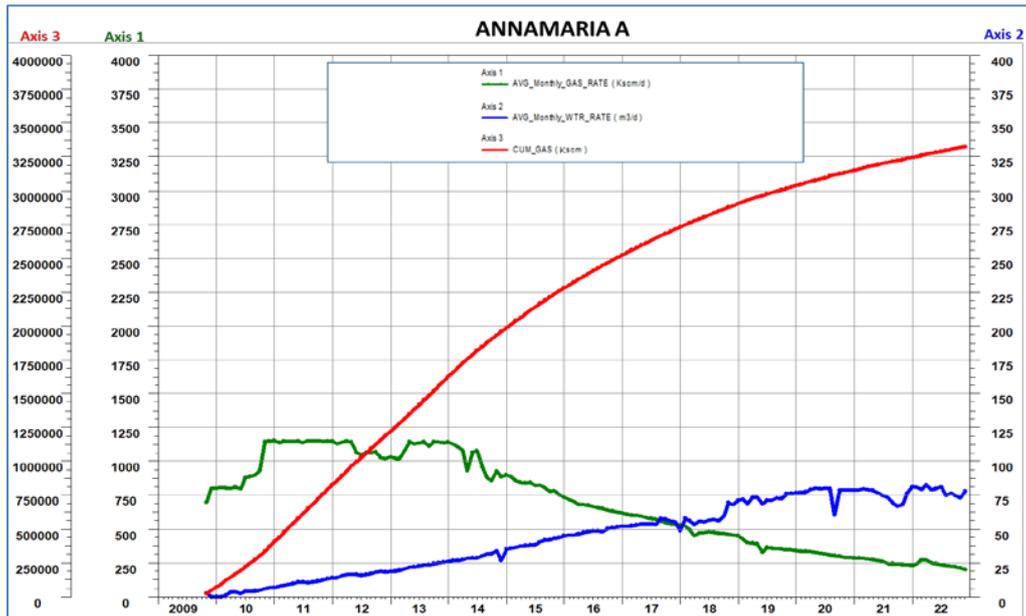


Figura 3 - Annamaria A (campo di Annamaria): produzione storica

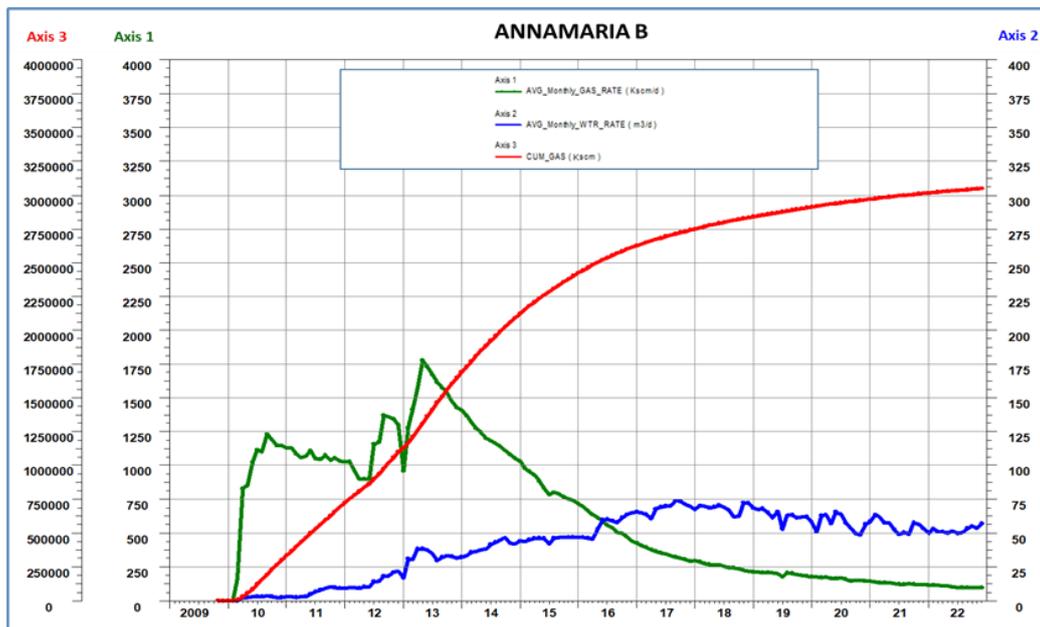


Figura 4 - Annamaria B (campo di Annamaria): produzione storica

CAMPO DI ANNAMARIA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2009	46	46	46	46	1%
2010	626	626	671	671	9%
2011	811	811	1482	1482	20%
2012	808	808	2290	2290	32%
2013	951	951	3241	3241	45%
2014	808	808	4049	4049	56%
2015	613	613	4662	4662	64%
2016	457	457	5119	5119	70%
2017	340	340	5459	5459	75%
2018	268	268	5726	5726	79%
2019	209	209	5935	5935	82%
2020	175	175	6110	6110	84%
2021	142	147	6252	6257	86%
2022	124	133	6376	6390	88%
2023		120		6510	
2024		108		6618	
2025		98		6715	
2026		89		6805	
2027		82		6887	
2028		74		6961	
2029		67		7027	
2030		59		7086	
2031		43		7130	
2032		38		7168	
2033		33		7201	
2034		28		7229	
2035		11		7240	
2036		9		7249	
2037		7		7256	
2038		5		7262	

Figura 5 - Campo di Annamaria: tabella dati di produzione (annuale e cumulativa) vs. modello Eclipse 2021

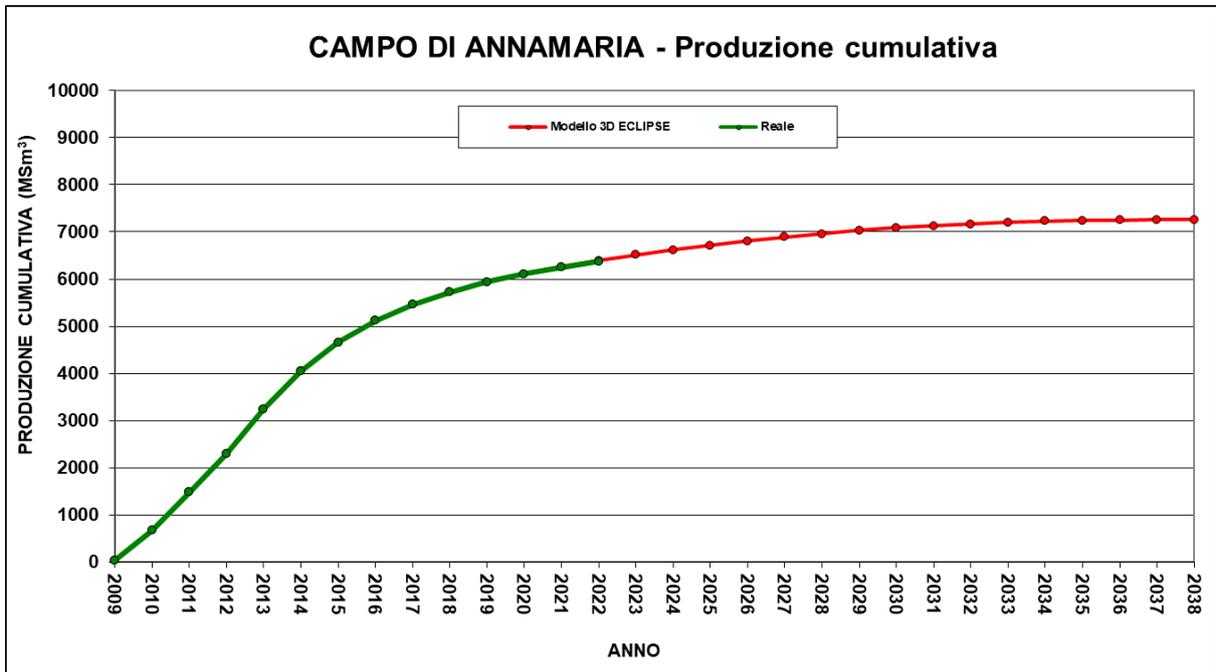


Figura 6 - Campo di Annamaria: grafico di produzione reale e da modello *Eclipse* 2021

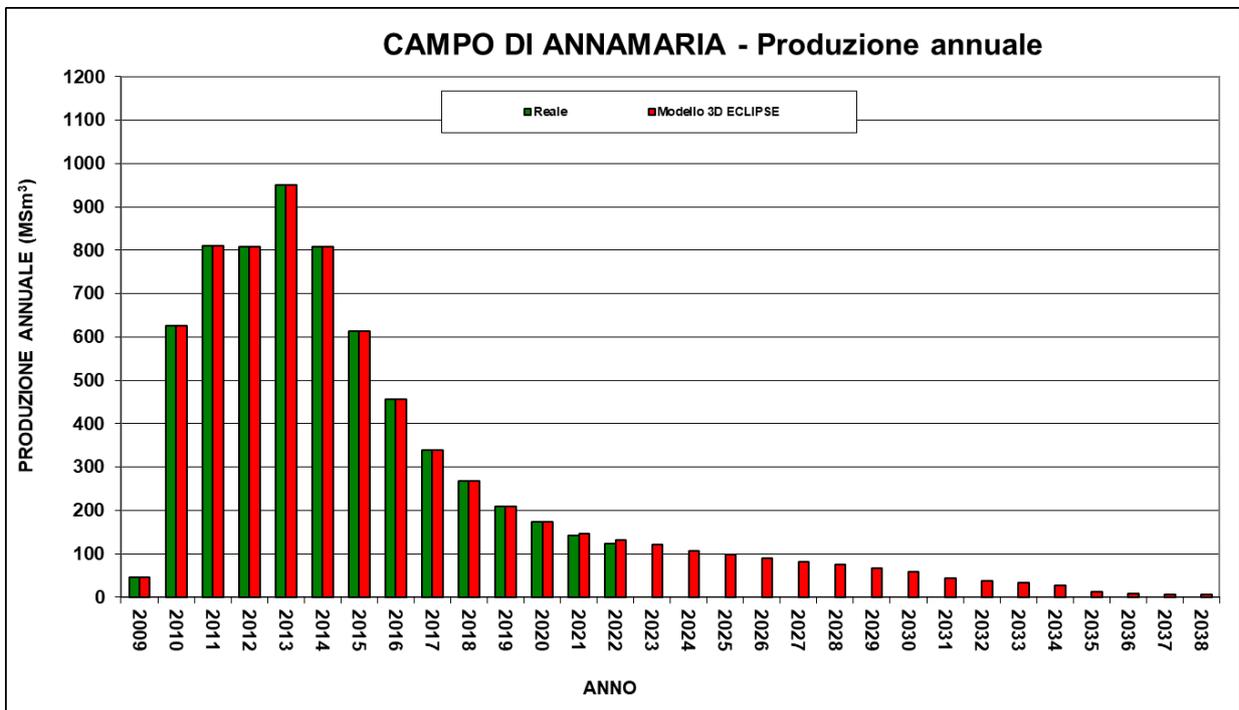


Figura 7 - Campo di Annamaria: produzione (annuale) reale e da modello *Eclipse* 2021

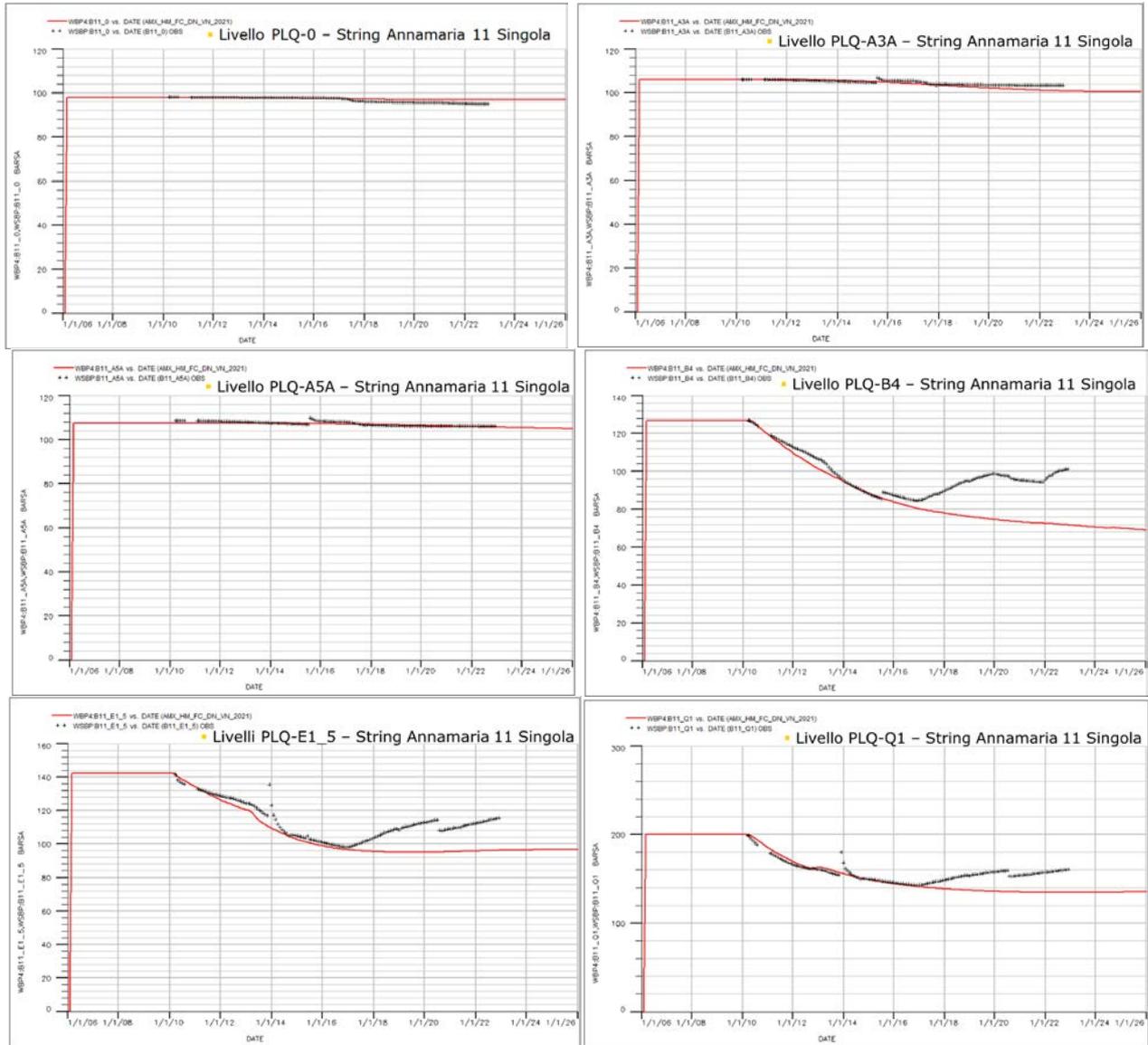


Figura 8 - Misure di pressione in continuo (Annamaria 11B PPG) e modello Eclipse 2021

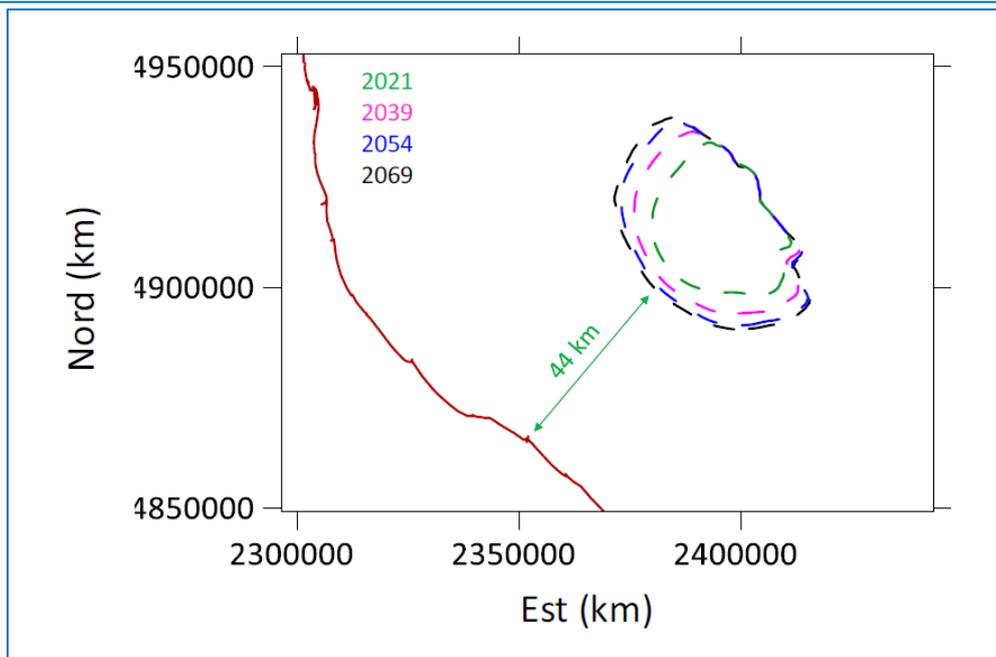
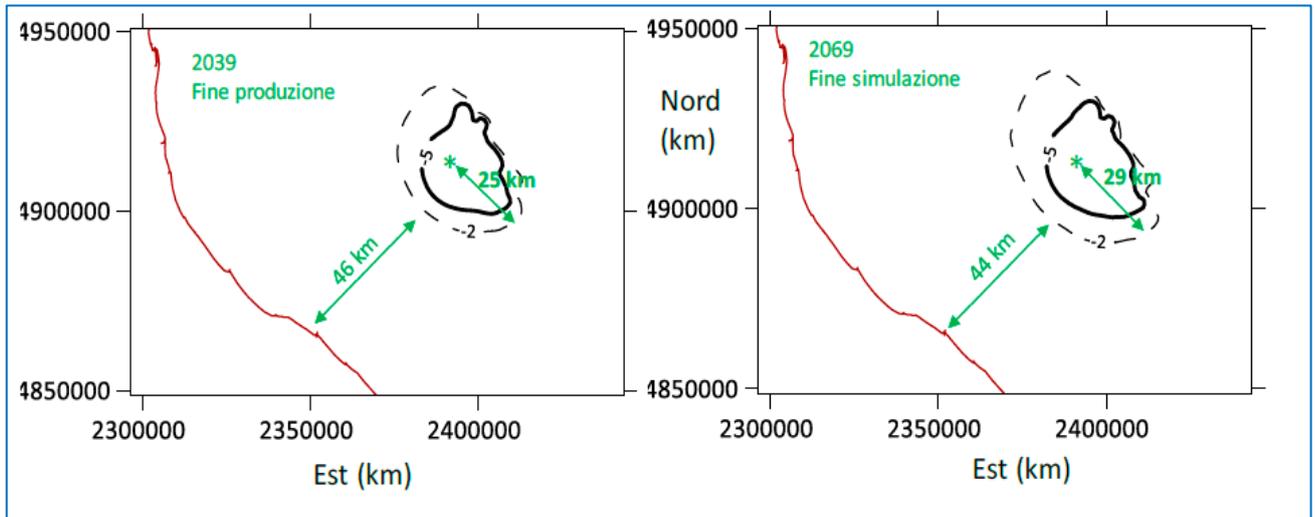


Figura 9 - Modello geomeccanico 2021. **Caso DN**. In alto: linee di iso-subsidenza dei 2 cm (linea tratteggiata) e 5 cm (linea continua) al termine della produzione (a sinistra) e a fine simulazione (a destra). Sotto: evoluzione temporale della linea di iso-subsidenza dei 2 cm. L'asterisco indica il punto di massimo.

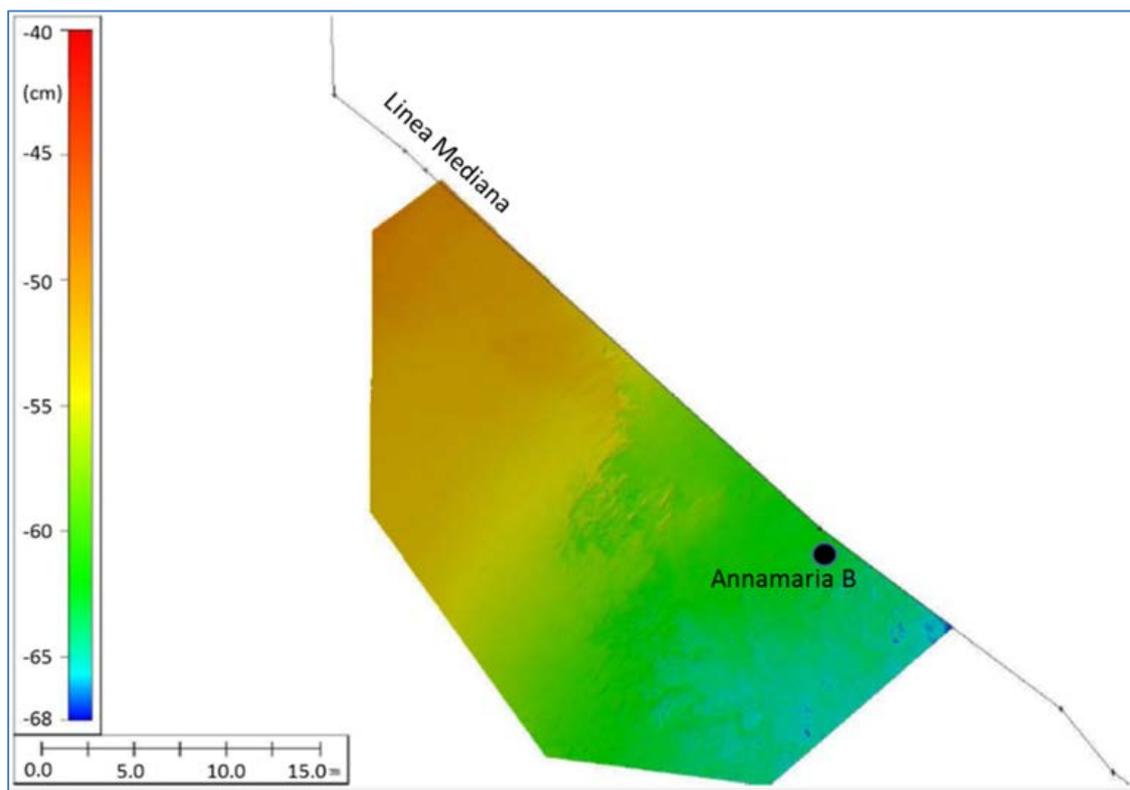


Figura 10 - Campo di Annamaria: area della batimetria 2016

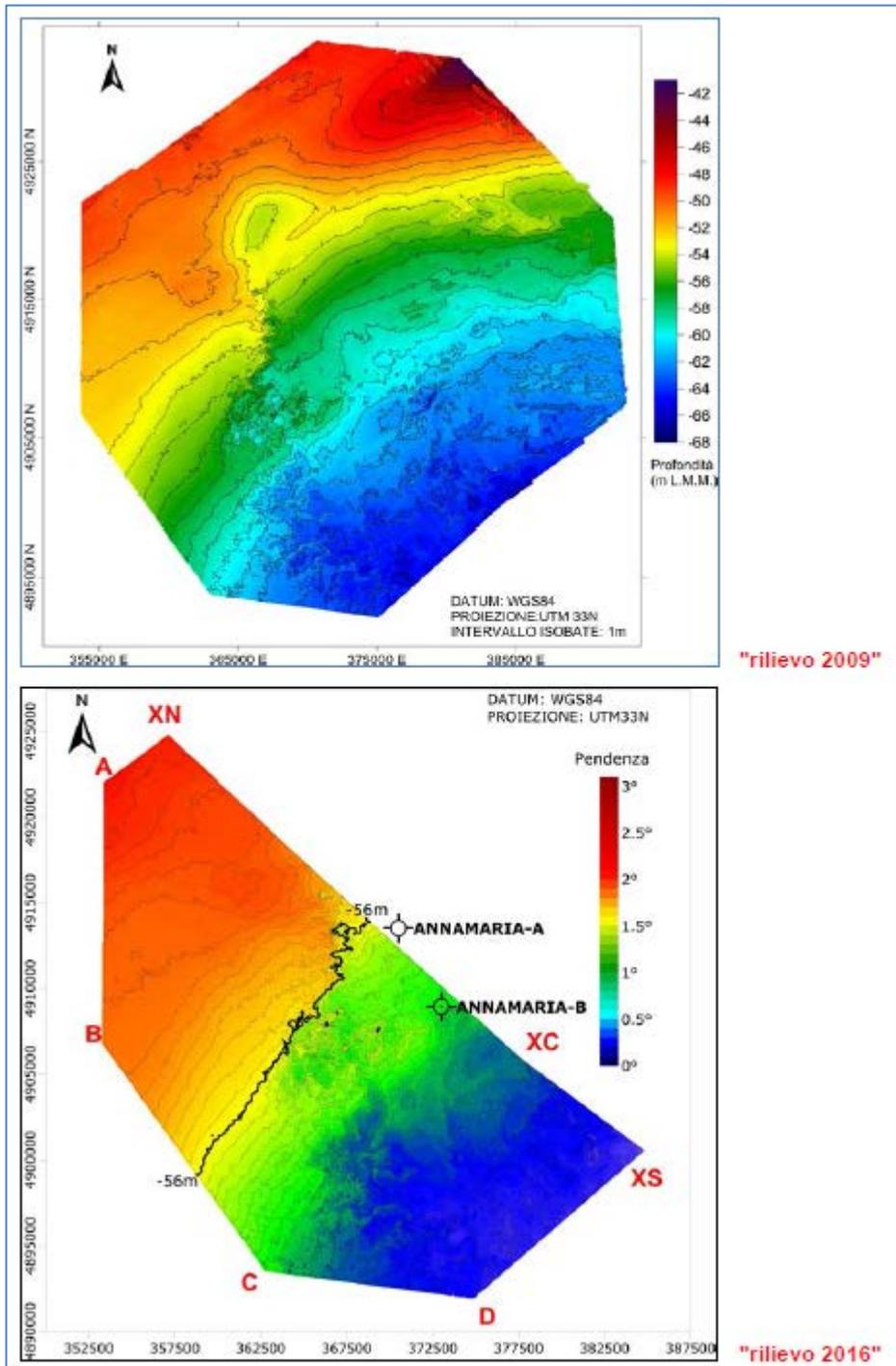


Figura 11 - Campo di Annamaria: modello digitale del fondale da rilievo batimetrico multibeam 2009 e 2016

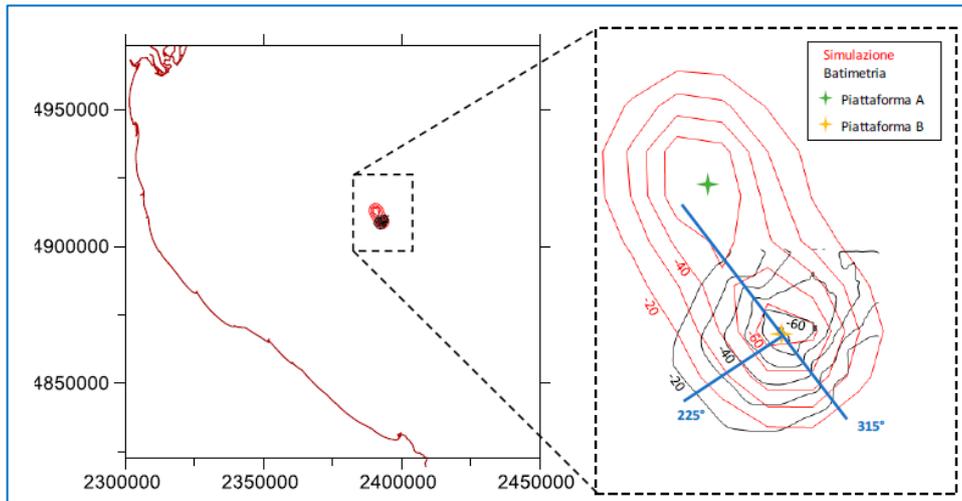


Figura 12 – Subsidenza sviluppata dal 2009 al 2016. Confronto tra misure batimetriche e stime del modello geomeccanico. Sono riportate anche le tracce delle sezioni utilizzate per i confronti della Figura 13

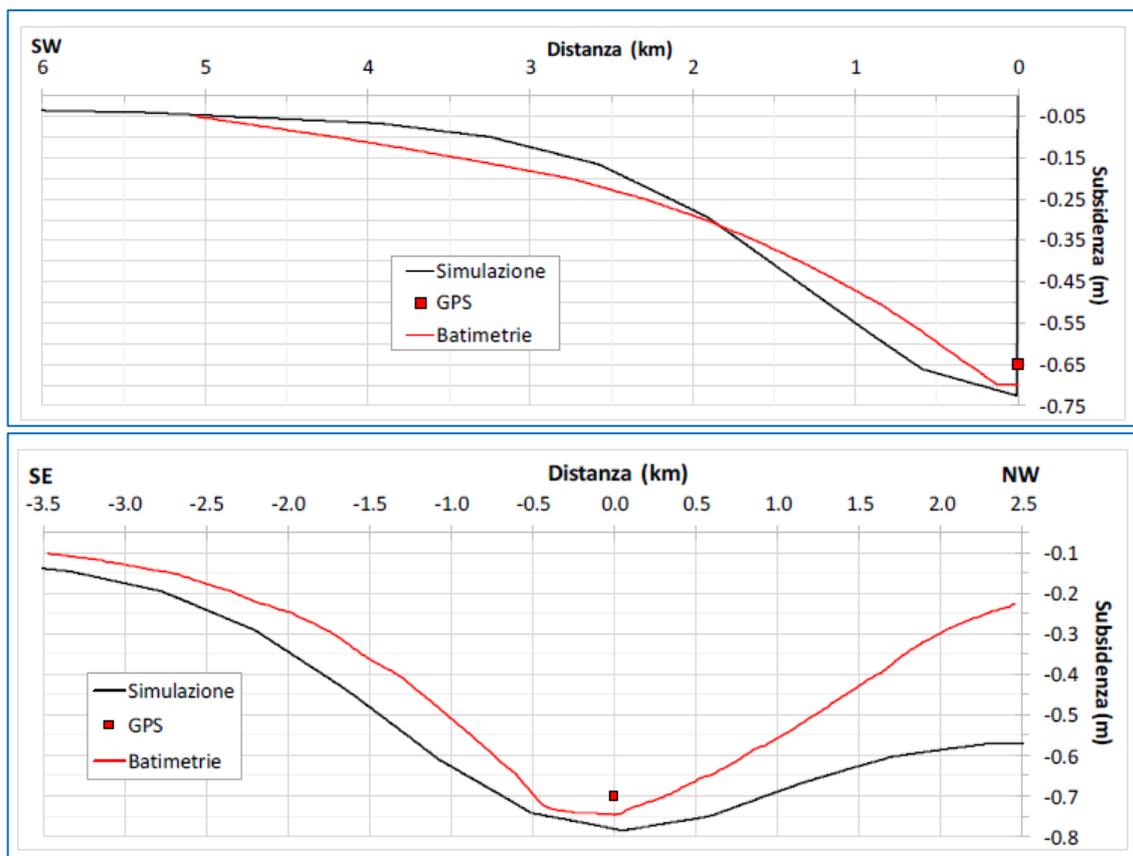


Figura 13 - Subsidenza sviluppata dal 2009 al 2016 lungo le sezioni aventi azimuth 225°(sopra) e 315° (sotto). Confronto tra valori stimati dal modello geomeccanico, misure batimetriche e CGPS

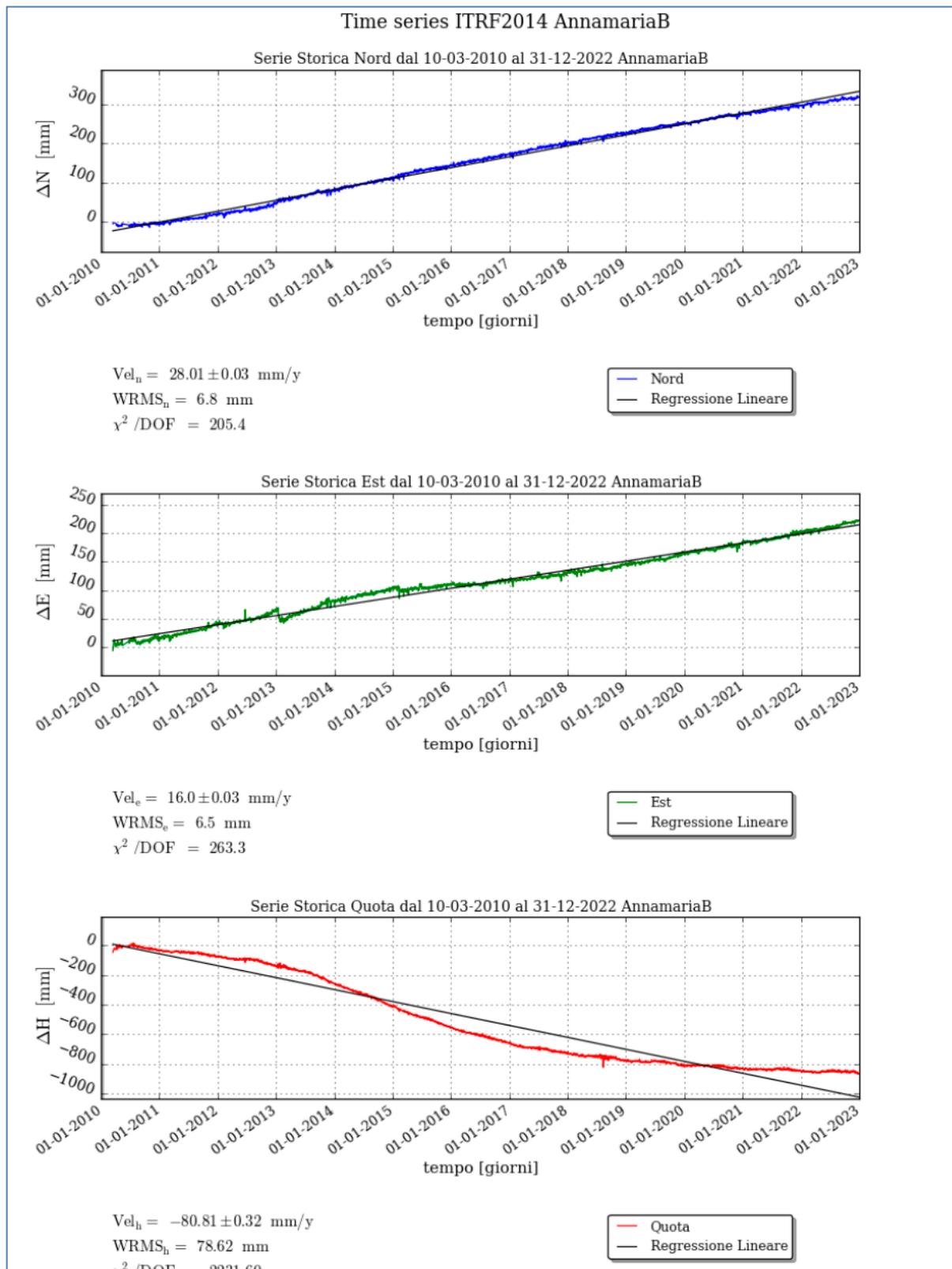


Figura 14 - Serie storiche di misure CGPS: piattaforma Annamaria B (acque italiane)

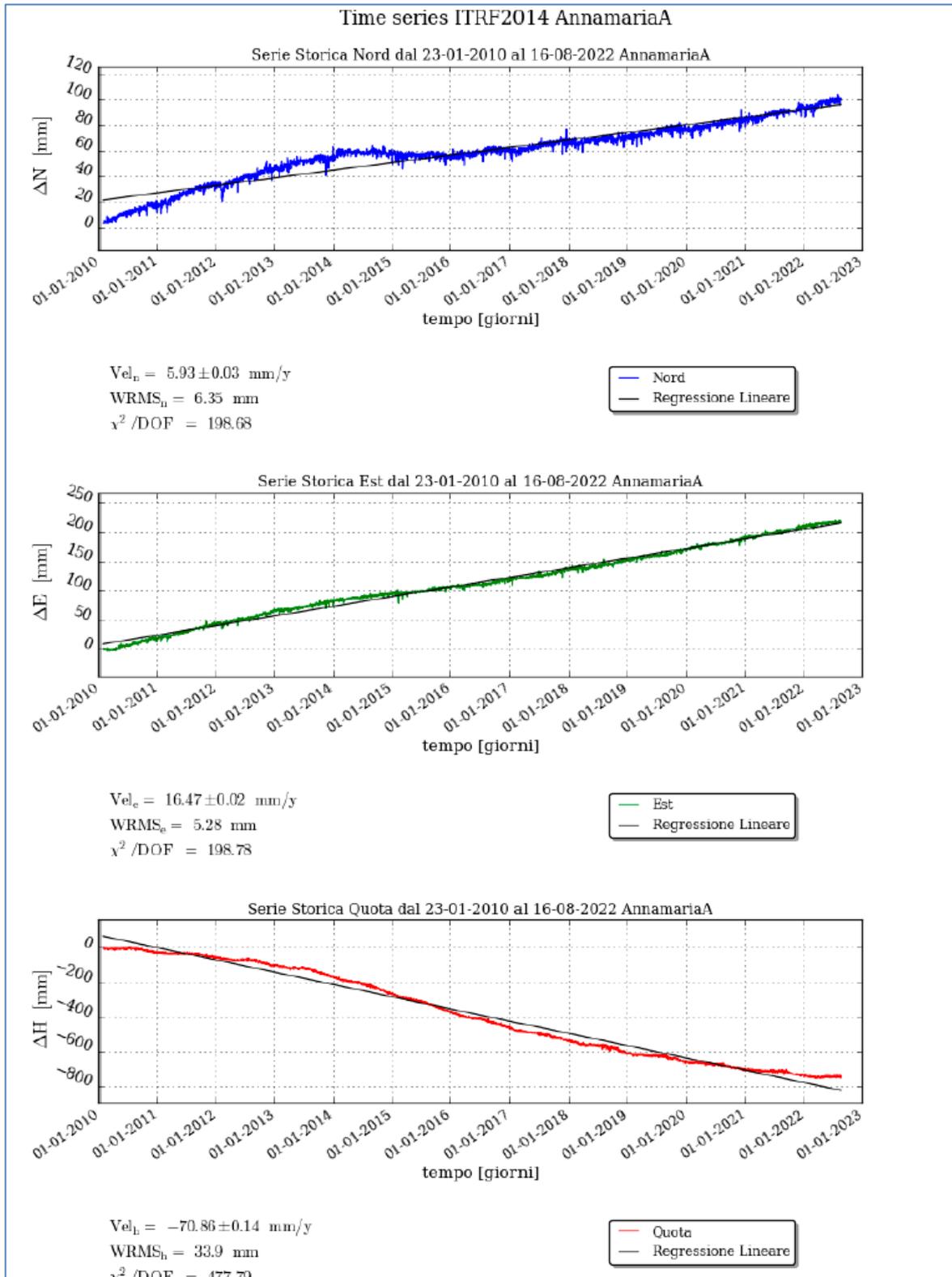
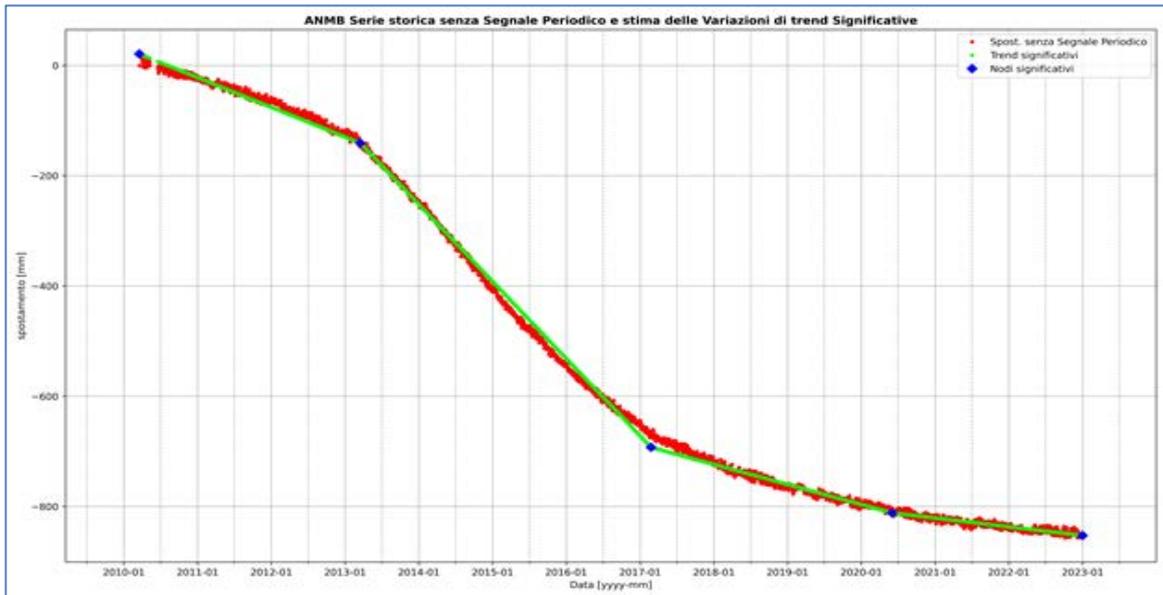


Figura 15 - Serie storiche di misure CGPS: piattaforma Annamaria A (acque croate)



	Inizio	Fine	Velocità [mm/anno]	Sigma [mm/anno]
1	2010-03-18	2013-03-16	-53.97	0.26
2	2013-03-16	2017-02-23	-139.94	0.14
3	2017-02-23	2020-06-01	-36.38	0.18
4	2020-06-01	2022-12-31	-15.87	0.30

Figura 16 - Analisi della serie storica di misure CGPS (piattaforma Annamaria B)

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ 31/12/2022	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio geomeccanico	CGPS			
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2021	vel.media (mm/a) @ dic.2022	Variazione velocità di subsidenza 2022 vs. 2021
ANEMONE	1978	2019	100%	-48cm al 2051	2022	2007	-4,45	-4,22	-0,23
ANNALISA	2000	2029	93%	-8cm al 2034	2022	2007	-3,08	-2,75	-0,33
ANNAMARIA B	2009	2038	88%	-138cm al 2051	2021	2010	-87,78	-80,81	-6,97
BARBARA NW	1999	2026	98%	-66cm al 2023	2021	2008	-25,05	-24,2	-0,85
BONACCIA	1999	2029	96%	-144cm al 2040	2022	2008	-63,09	-61,7	-1,39
BONACCIA NW	2015					-35,18	-32,25	-2,93	
CALIPSO	2002	2031	84%	-113cm al 2041	2021	2007	-13,51	-13,49	-0,02
CALPURNIA	2000	2021	100%	-17cm al 2021	2021	2008	-0,44	-0,44	0
CLARA EST	2000	2042	76%	-104cm al 2050	2021	2007	-14,39	-14,17	-0,22
CLARA NW	2016					-23,01	-23,01	0	
CLARA NORD	2000	2018	100%	-48cm al 2021	2021	2007	-15,42	-15,42	0
ELETTRA	2014	2027	90%	-27cm al 2041	2021	2014	-13,18	-10,96	-2,22
FAUZIA	2014	2024	85%	-6cm al 2062	2021	2014	-3,21	-2,4	-0,81
GUENDALINA	2011	2022	100%	-7,9cm al 2053	2022	2011	-5,99	-5,55	-0,44
NAIDE	2005	2027	95%	-12cm al 2030	2021	2005	-3,56	-3,47	-0,09
NAOMI - PANDORA	2001	2040	71%	-4cm al 2042	2021	2002	-2,06	-2,17	0,11
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-4cm al 2025	2020	2005	-3,7	-3,52	-0,18
REGINA	1997	2022	100%	-131cm al 2053	2021	2007	-20,67	-19,5	-1,17
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	98%	-5cm al 2023	2019	2007	-3,39	-3,39	0

Figura 17 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate su tutta la serie storica CGPS (agg. dic.2022). Dal confronto con i dati 2021 si nota come nel corso del 2022 tutte le velocità di subsidenza siano stabili o in diminuzione

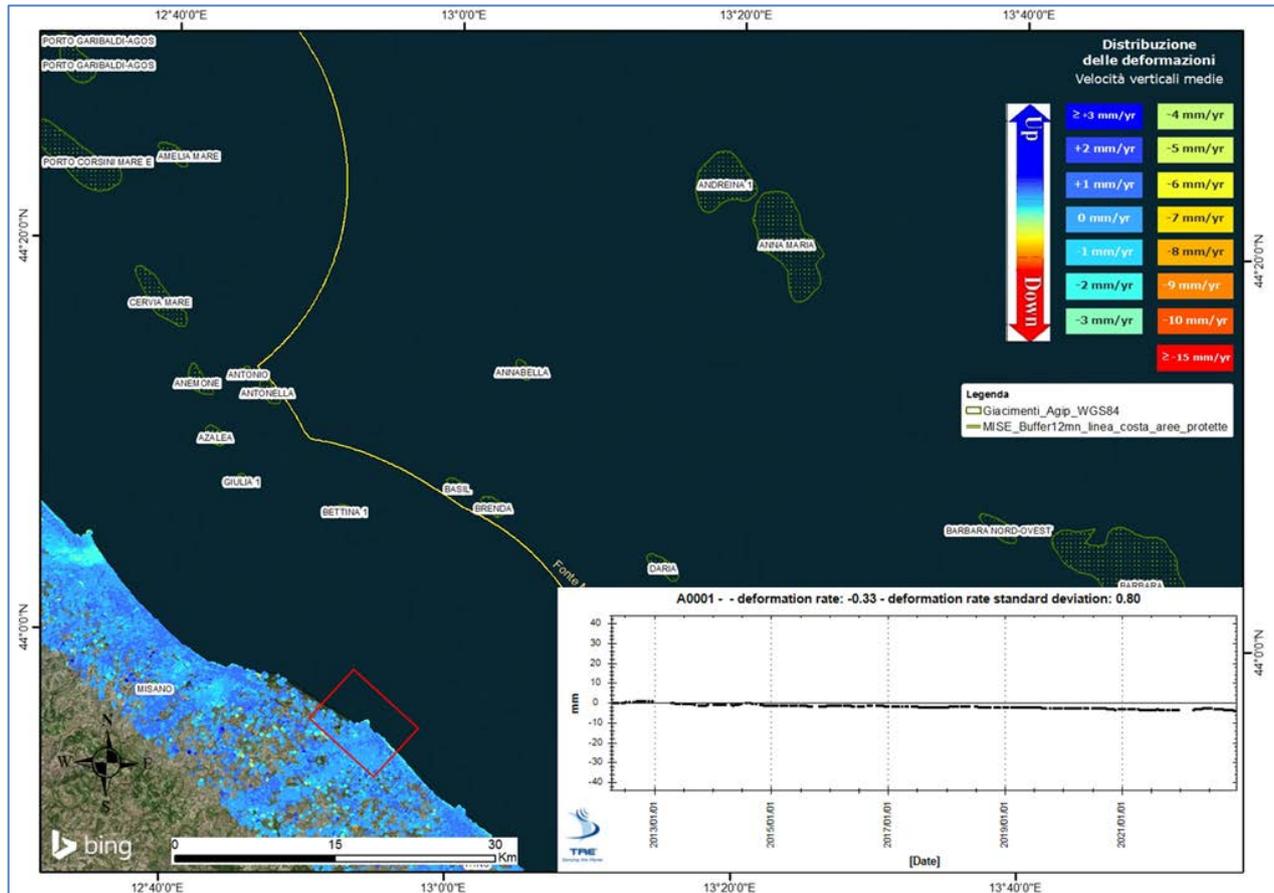


Figura 18 - Analisi dati InSAR dal 2012 al 2022 nel tratto di costa antistante il campo di Annamaria. Serie storica media (dal 2012 al 2022) dello spostamento medio ricavata dai dati InSAR all'interno del poligono rosso.

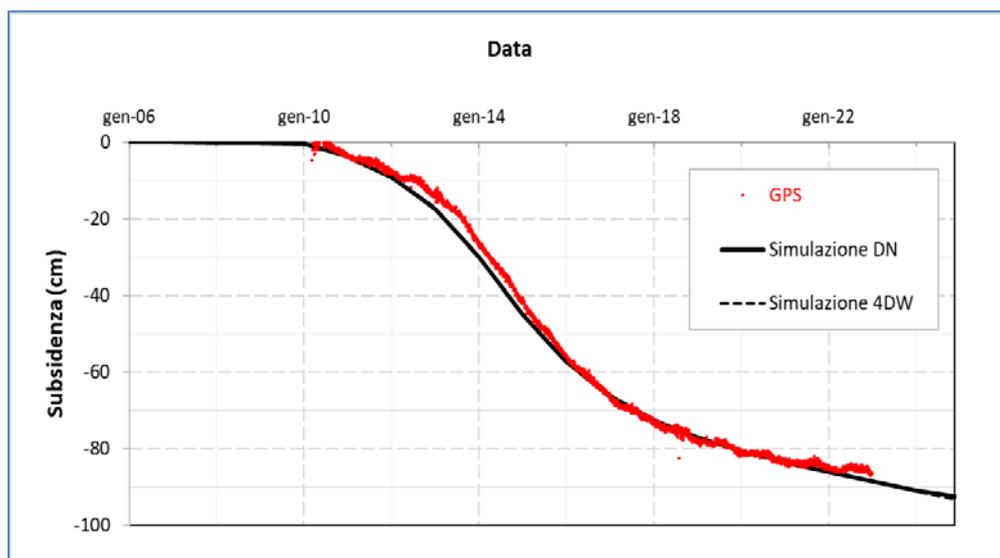
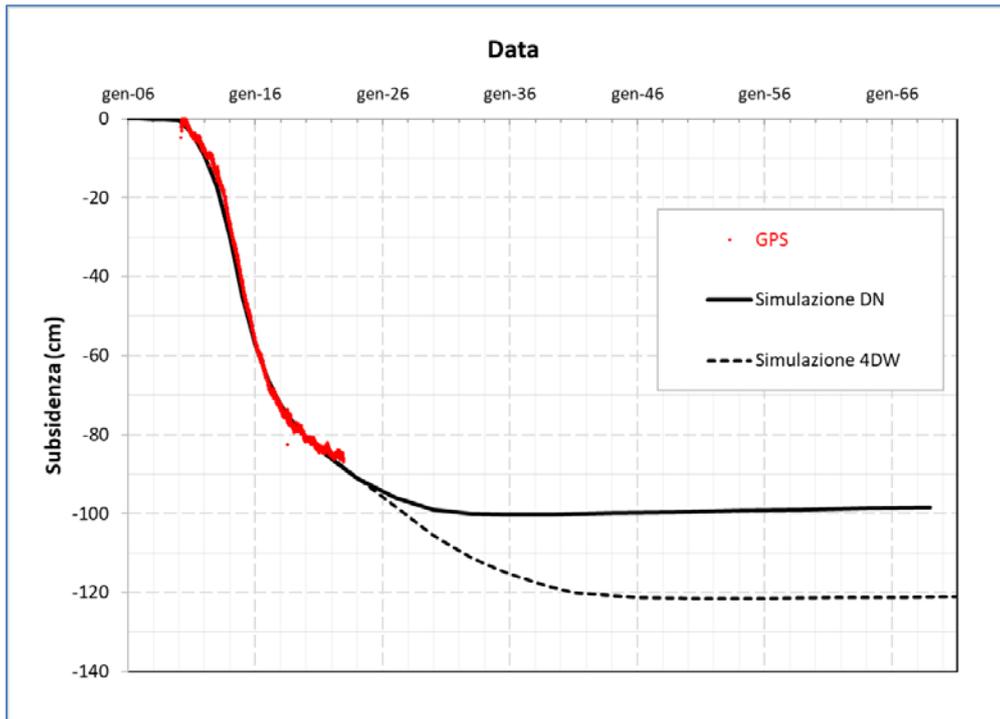


Figura 19 - Confronto fra la subsidenza totale misurata dalla stazione CGPS installata sulla piattaforma Annamaria B e i valori previsti dal modello geomeccanico del 2021

SPACING #	Measured Depth (m)		Compattazione (-) & Espansione (+) (mm)											
	Top Bullet	Bottom Bullet	mar-10	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16	set-17	dic-18	giu-22	
			mar-10	mar-10	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16	set-17	dic-18	giu-22
99	970.00	980.50	0	2	1	2	1	2	-3	-25	-16	-3	-7	
98	975.25	985.75	0	-1	0	0	1	1	-3	2	-2	3	-1	
97	980.50	991.00	0	-5	3	-3	-2	4	-4	27	10	11	5	
96	985.75	996.25	0	0	-1	0	0	0	0	-22	-2	8	-3	
95	991.00	1001.50	0	2	2	-3	-1	1	-1	-2	-1	2	5	
92	1057.55	1068.05	0	1	3	-2	0	2	-6	17	20	9	0	
91	1062.80	1073.30	0	3	-4	2	-2	-1	0	-15	21	9	17	
90	1068.05	1078.05	0	1	0	0	-3	4	-2	-3	-9	0	5	
89	1073.30	1083.80	0	-3	4	4	-11	5	0	19	-6	5	2	
88	1078.05	1089.05	0	2	4	-6	-1	1	-3	-32	-21	10	19	
87	1083.80	1094.30	0	1	-1	-5	7	0	-4	3	-17	6	-3	
86	1089.05	1099.55	0	2	-1	1	7	-14	0	24	25	9	-9	
85	1094.30	1104.80	0	2	0	2	-4	3	-4	-32	6	9	3	
84	1099.55	1110.05	0	2	1	1	0	0	-4	14	-33	-7	-17	
83	1104.80	1115.30	0	-3	-1	1	-1	2	1	-3	-7	4	0	
82	1110.05	1120.55	0	-1	1	4	0	-3	0	4	-3	17	8	
81	1115.30	1125.80	0	4	-4	3	-3	1	-3	3	-7	9	-2	
80	1120.55	1131.05	0	-1	-6	6	-2	5	-1	-4	-7	4	7	
79	1125.80	1136.30	0	-2	-2	3	-3	-4	1	6	-8	5	-5	
78	1131.05	1141.55	0	2	1	1	-4	-2	0	-2	-2	8	-3	
77	1136.30	1146.80	0	4	1	-4	-2	12	0	-24	-10	7	2	
76	1141.55	1152.05	0	-4	2	-2	1	2	-1	-3	-2	8	-2	
75	1146.80	1157.30	0	-1	-3	3	-3	-4	1	10	2	5	2	
74	1152.05	1162.55	0	1	1	-3	-2	5	-5	-8	-4	4	-1	
73	1157.30	1167.80	0	1	-1	1	-2	-3	-6	-27	-4	-2	-1	
72	1162.55	1173.05	0	2	-5	5	-4	-4	-2	-2	-4	4	2	
71	1167.80	1178.30	0	0	2	-3	-6	-3	-6	17	-7	5	2	
70	1173.05	1183.55	0	-6	3	-2	-13	-15	-19	-17	-10	-2	-6	
69	1178.30	1188.80	0	-2	0	0	-9	-46	-28	-27	-11	6	0	
68	1183.55	1194.05	0	2	-2	0	-14	-46	-18	-24	-13	9	7	
67	1188.80	1199.30	0	-4	1	-2	-14	-18	-13	-24	-19	0	0	
66	1194.05	1204.55	0	2	-1	-2	-5	-11	-13	-19	-23	1	1	
65	1199.30	1209.80	0	-1	0	-3	-1	-4	-4	0	-17	-2	0	
64	1204.55	1215.05	0	3	0	-2	-3	5	-2	-5	-2	3	1	
63	1209.80	1220.30	0	-3	2	1	0	-6	-3	-12	4	12	1	
62	1215.05	1225.55	0	1	-3	1	0	2	-3	-4	-2	3	5	
61	1220.30	1230.80	0	0	-2	2	-2	2	1	-5	-8	7	0	
60	1225.55	1236.05	0	-1	0	-2	3	-6	-2	-2	3	-2	-1	
59	1230.80	1241.30	0	2	-3	2	-1	0	-5	-5	-3	2	-10	
58	1236.05	1246.55	0	1	0	-2	-5	-5	2	-9	-7	-2	-6	
57	1241.30	1251.80	0	-3	2	-1	1	-3	-3	-7	-8	1	-2	
56	1246.55	1257.05	0	1	3	0	-14	-1	-3	7	-18	-5	-18	
55	1251.80	1262.30	0	-2	2	3	-9	-12	-2	-8	-8	-3	1	
54	1257.05	1267.55	0	-4	4	0	-7	-14	-13	-14	9	15	-6	
53	1262.30	1272.80	0	-2	-1	-5	-4	-12	-8	-10	-15	-4	-13	
52	1267.55	1278.05	0	1	-1	-4	-10	-15	-12	-14	-12	-5	-14	
51	1272.80	1283.30	0	-4	-2	2	-12	-22	-15	-14	-16	-4	-9	
50	1278.05	1288.55	0	-4	-2	-4	-6	-18	-9	-22	-14	-4	-3	
49	1283.30	1293.80	0	-1	-2	-3	-3	-10	-10	2	-10	3	-2	
48	1288.55	1299.05	0	2	-1	0	-2	0	-3	-2	-4	4	-2	
47	1293.80	1304.30	0	2	1	0	-4	0	0	-1	-8	8	-2	
46	1299.05	1309.55	0	0	-1	0	-3	4	-1	-7	-6	7	-1	

Figura 20 - Misure di compattazione in-situ (da FSMT) da spacing # 46 a spacing # 99

SPACING #	Measured Depth (m)		Compattazione (-) & Espansione (+) (mm)											
	Top Bullet	Bottom Bullet	mar-10	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16	set-17	dic-18	giu-22	
			mar-10	mar-10	set-10	mar-11	apr-12	lug-13	set-14	mag-15	lug-16	set-17	dic-18	giu-22
45	1304.30	1314.80	0	2	0	1	0	-4	-1	-6	-3	3	-1	
44	1309.55	1320.05	0	-1	-2	2	-9	-5	-6	6	-5	5	1	
43	1314.80	1325.30	0	-3	-2	-6	-6	-3	-4	-6	-4	5	0	
42	1320.05	1330.55	0	0	-1	-5	-4	-2	-1	-12	-7	3	2	
41	1325.30	1335.80	0	-1	-2	-3	-7	-6	-3	-2	-7	6	2	
40	1330.55	1341.05	0	-1	-2	-3	-8	-5	-7	3	-8	4	-1	
39	1335.80	1346.30	0	2	-1	-2	-1	1	-4	-12	-3	2	-1	
38	1341.05	1351.55	0	-1	0	1	-1	-6	-1	-3	-3	3	-2	
37	1346.30	1356.80	0	0	-2	-1	-2	-5	-2	-3	-6	6	-2	
36	1351.55	1362.05	0	-1	-1	-1	-7	-4	-2	-4	-6	4	1	
35	1356.80	1367.30	0	-3	1	0	-10	-2	-4	-2	-2	-4	2	
34	1362.05	1372.55	0	0	-2	1	-4	-4	-5	-3	-6	4	-3	
33	1367.30	1377.80	0	-1	0	0	-3	-3	-4	-1	-8	8	-8	
32	1372.55	1383.05	0	-4	1	-1	-2	-8	-2	-5	-5	6	-5	
31	1377.80	1388.30	0	-4	-2	2	-9	-5	-5	-3	-3	3	-3	
30	1383.05	1393.55	0	-3	-2	-3	-7	-2	-4	-4	-5	7	-2	
29	1388.30	1398.80	0	0	-2	-1	-6	-5	-5	1	-8	6	3	
28	1393.55	1404.05	0	0	-3	1	-8	-7	-5	-1	-2	4	2	
27	1398.80	1409.30	0	0	0	0	-4	-3	-4	-3	-4	5	-1	
26	1404.05	1414.55	0	1	1	0	-2	-2	-3	0	-5	3	-2	
25	1409.30	1419.80	0	2	-1	1	-5	-5	-2	-2	-4	4	-1	
24	1414.55	1425.05	0	0	0	0	-13	-4	-3	-1	-4	6	1	
23	1419.80	1430.30	0	1	-2	-1	-11	0	0	0	-5	7	0	
22	1425.05	1435.55	0	0	-1	2	-7	-2	-1	-1	-6	7	0	
21	1430.30	1440.80	0	0	-2	4	-5	-3	-4	-1	-5	8	0	
20	1435.55	1446.05	0	2	-2	1	-4	1	-2	-3	-3	6	-2	
19	1440.80	1451.30	0	1	-2	3	-3	-1	-3	-2	-2	3	2	
18	1446.05	1456.55	0	1	0	-1	1	3	-4	-2	0	3	0	
17	1451.30	1461.80	0	1	1	2	-4	2	-1	-2	-4	6	0	
16	1456.55	1467.05	0	0	1	-2	0	-1	-2	-1	-3	4	-1	
15	1461.80	1472.30	0	-1	1	2	-3	0	0	0	-3	8	0	
14	1467.05	1477.55	0	-1	2	1	-3	2	-6	0	-3	6	1	
13	1472.30	1482.80	0	-1	0	0	1	-1	-3	-1	-6	5	2	
12	1477.55	1488.05	0	1	1	1	-2	4	0	-3	-1	1	5	
11	1482.80	1493.30	0	2	-4	2	0	0	-1	-1	-2	4	2	
10	1488.05	1498.55	0	2	-1	3	-2	-2	-1	-2	-5	6	-2	
7	1738.00	1748.50	0	-2	-2	2	-3	-3	-5	1	-4	-1	1	
6	1743.25	1753.75	0	-4	-1	-5	-11	6	-1	-12	0	-2	0	
5	1748.50	1759.00	0	-2	-2	-4	-5	-6	-2	-6	-1	0	1	
4	1753.75	1764.25	0	-3	-1	-8	-7	-5	-3	1	-7	1	3	
3	1759.00	1769.50	0	5	-1	-3	-9	-6	-3	-1	-8	-1	-1	
2	1764.25	1774.75	0	4	-4	0	-	-	-	-	-	0	0	

Figura 21 - Misure di compattazione in-situ (da FSMT) da spacing # 2 a spacing # 45

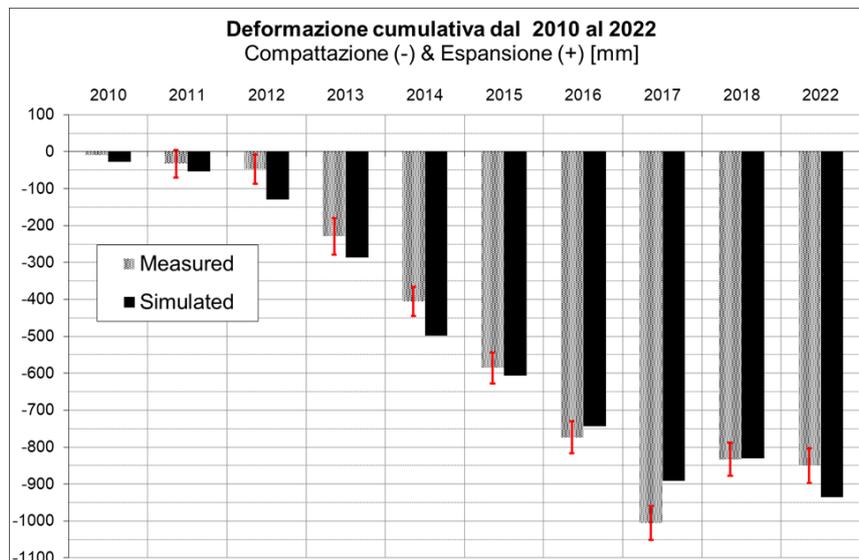


Figura 22 - Campo di Annamaria: confronto tra le deformazioni verticali misurate e le corrispondenti stime del modello geomeccanico (pozzo Annamaria B11)

campo ANNAMARIA - ANNAMARIA B (Eni 100%)																					
DATI DI CAMPO																					
UBICAZIONE	offshore - 60 km dalla costa marchigiana																				
PROFONDITA' FONDALE	55-65 m																				
LITOLOGIA	silti-sabbie fini in livelli sottili																				
ZONA MINERARIA	Ravenna - Carola																				
FORMAZIONE RESERVOIR	PLO2 - PLO1 - PLQ																				
PROFONDITA' RESERVOIR	570 - 1015 (TVSS)																				
TIPO DI PIATTAFORMA	fissa - standard																				
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	torbiditi sottili																				
<p>DECRETO VIA: GAB-DEC-2008-0000271 del 12.12.2008 poi modificato alla lett. C con GAB-DEC-2009-000093 del 31.07.2009</p> <p>AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNAMARIA)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>SIA</th> <th>ULTIMO AGGIORNAMENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>STUDIO DI GIACIMENTO</td> <td>MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "APRILE '06"</td> <td>Agg. studio giac. per studio geomecc. Rel. EORG N° IPET-2D0BBDCF-0 (ago 2021)</td> </tr> <tr> <td>RISERVE (MSm³)</td> <td>8793 (Annamaria B) - 18130 (campo)</td> <td>3250 (Annamaria B) - 7262 (campo)</td> </tr> <tr> <td>MOD. GEOMECCANICO</td> <td>ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ GIUGNO 2007</td> <td>ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ OTTOBRE 2021</td> </tr> <tr> <td>MAX SUBS AL CENTRO (cm)</td> <td>90 (@2038) SCENARIO DI RIFERIMENTO</td> <td>140 @ 2051 - SCENARIO DI SVILUPPO "4WD"</td> </tr> <tr> <td>MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)</td> <td>15 (@ 2060)</td> <td>> 44 km dalla costa per tutti gli scenari simulati</td> </tr> </tbody> </table>					SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO	STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "APRILE '06"	Agg. studio giac. per studio geomecc. Rel. EORG N° IPET-2D0BBDCF-0 (ago 2021)	RISERVE (MSm ³)	8793 (Annamaria B) - 18130 (campo)	3250 (Annamaria B) - 7262 (campo)	MOD. GEOMECCANICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ GIUGNO 2007	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ OTTOBRE 2021	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	90 (@2038) SCENARIO DI RIFERIMENTO	140 @ 2051 - SCENARIO DI SVILUPPO "4WD"	MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	15 (@ 2060)	> 44 km dalla costa per tutti gli scenari simulati
	SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO																			
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "APRILE '06"	Agg. studio giac. per studio geomecc. Rel. EORG N° IPET-2D0BBDCF-0 (ago 2021)																			
RISERVE (MSm ³)	8793 (Annamaria B) - 18130 (campo)	3250 (Annamaria B) - 7262 (campo)																			
MOD. GEOMECCANICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ GIUGNO 2007	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ OTTOBRE 2021																			
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	90 (@2038) SCENARIO DI RIFERIMENTO	140 @ 2051 - SCENARIO DI SVILUPPO "4WD"																			
MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	15 (@ 2060)	> 44 km dalla costa per tutti gli scenari simulati																			
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI																					
CONCESSIONE	A.C11.AG	D.M @dic '08	@ 31 dic 2022																		
DATA SCADENZA CONCESSIONE	23/10/2024																				
N. POZZI (produttori)		12	14																		
Annamaria A		6	6																		
Annamaria B		6	8																		
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm ³)		18130	7262																		
Annamaria A		9337	4012																		
Annamaria B		8793	3250																		
START UP PRODUZIONE (Annamaria B)	mar-10																				
(Annamaria A)	mar-09																				
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2038	2038																		
GAS PRODOTTO (campo) (MSm ³)			6376																		
Annamaria A			3325																		
Annamaria B			3051																		
%RISERVE PRODOTTE (campo)			88%																		
LIVELLAZIONI	ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S.GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2008, 2011, 2014, 2017 e 2020. I DATI FINO AL 2020 SONO STATI CERTIFICATI DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM. IL PROSSIMO RILIEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S.GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2024 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO																				
MARKERS	MARKERS SU ANNAMARIA B11: ULTIMO SURVEY @ giugno 2022 Survey eseguiti : marzo 2010 (rilievo base); settembre 2010; marzo 2011; aprile 2012; luglio 2013, settembre 2104, maggio 2015, luglio 2016, settembre 2017 e dicembre 2018																				
CGPS	NEL GENNAIO DEL 2010 E' STATO INSTALLATO UN CGPS IN PIATTAFORMA. NEL 2008 E' STATO INSTALLATO CGPS NELLA CENTRALE ENI DI FANO (ONSHORE) NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA																				
SAR	ACQUISITO AGGIORNAMENTO COPERTURA SAR @ DICEMBRE 2022 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLE P.MA ANNAMARIA B NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO																				
BATIMETRIE	Rilievo batimetrico di controllo effettuato tra giugno-luglio 2016 Rilievo batimetrico "base" effettuato tra aprile-giugno 2009 (area italiana) e ottobre-dicembre 2009 (area croata)																				

Figura 23 - Campo di Annamaria: scheda di sintesi

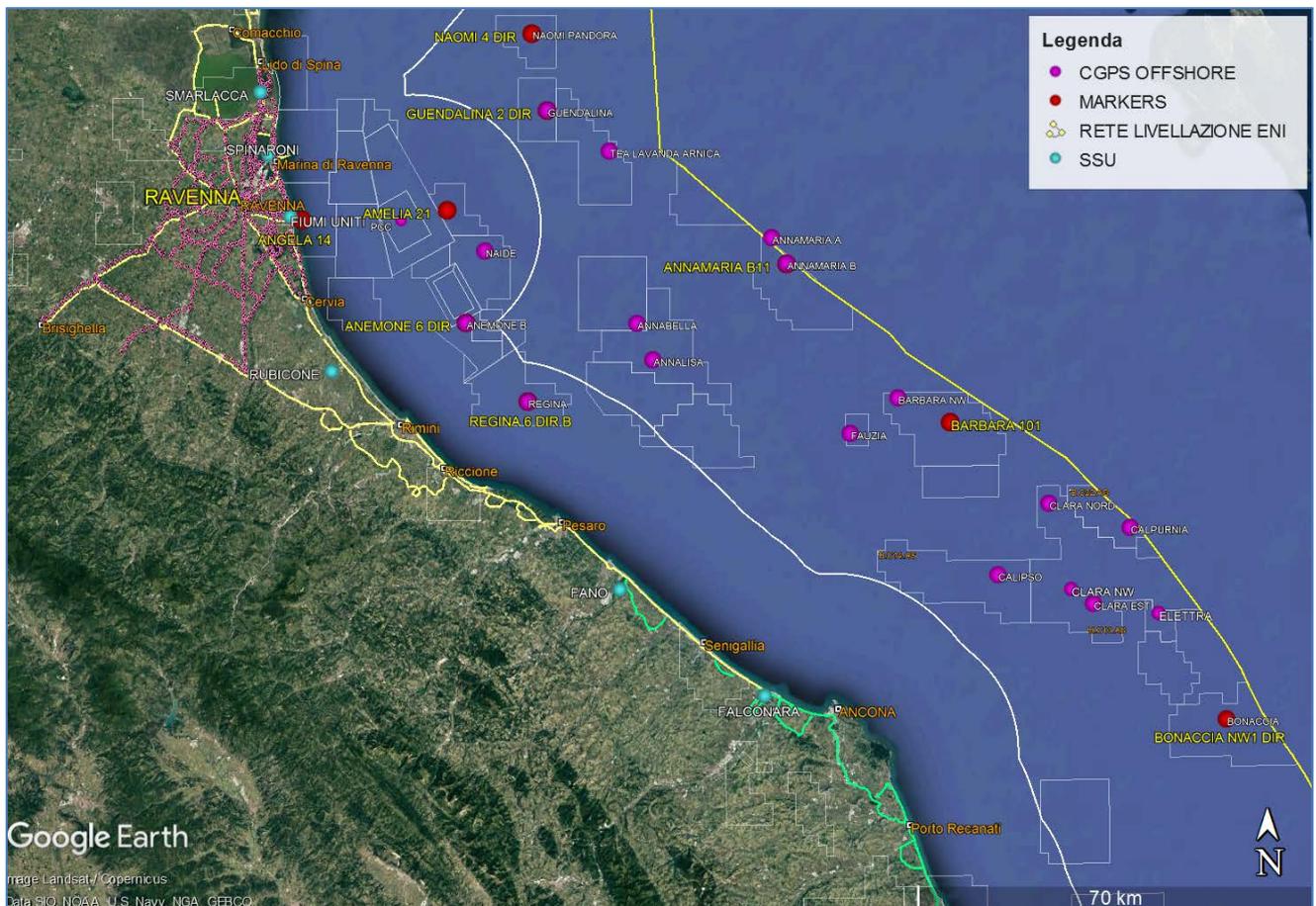


Figura 24 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

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

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

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

Analisi dati InSAR 2012 – 2022

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

Da un'analisi delle differenze tra le velocità medie annuali misurate dai CGPS (2012-2022) presenti nell'area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer), nello stesso intervallo temporale, presenti in un intorno di circa 300 m di raggio centrato nel corrispondente CGPS (Tabella 1), si è scelto di accoppiare i data-set in due macro - aree, in modo tale che la taratura del dato InSAR minimizzi le differenze tra quest'ultimo e le misure CGPS.

In Tabella 1 vengono presentate: le velocità verticali dei CGPS, V_{vert_CGPS} , e il corrispondente scarto quadratico medio sqm_CGPS (colonna 3 e 4); la media delle velocità verticali dei permanent scatterers nell'intorno avente come centro il CGPS corrispondente $Media_V_SAR$, e il corrispondente scarto quadratico medio sqm_SAR (colonna 5 e 6); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio (colonne 7 e 8). Tutte le misure sono in millimetri/anno.

Tabella 2 . Taratura dato InSAR con le misure CGPS.

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

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

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

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

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

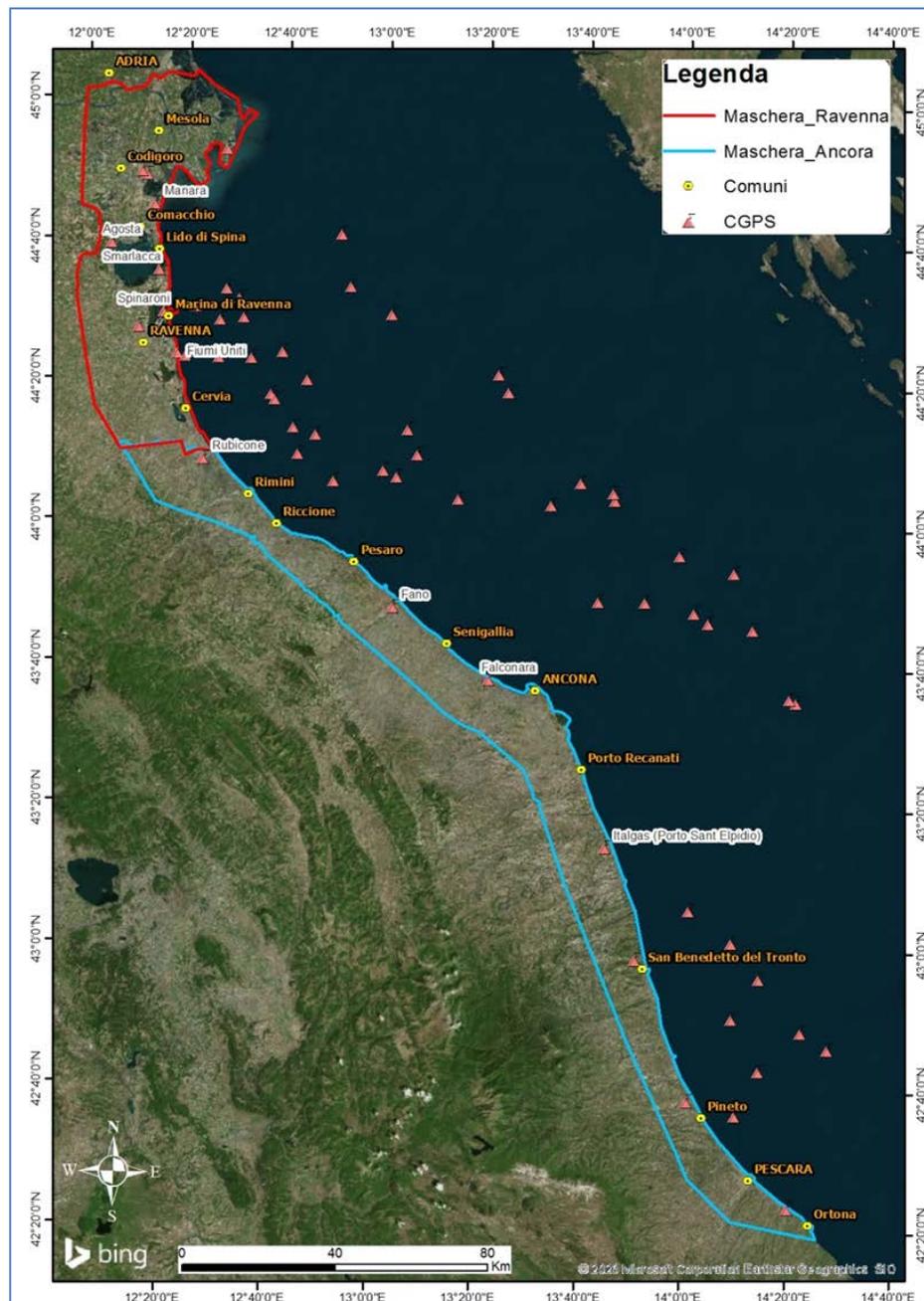


Figura 25. Mappa delle macro aree in cui sono stati raggruppati i dati SAR.

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 38 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

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

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

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

Si è realizzata, quindi, la calibrazione dei dati SAR partendo dall'area più a nord (area Ravennate), utilizzando i dati di velocità della stazione di Smarlacca; i dati delle stazioni di Fiumi Uniti e di Spinaroni sono stati utilizzati esclusivamente come valore di verifica dei risultati ottenuti con la calibrazione. La determinazione delle velocità verticali con dati CGPS è stata calcolata sulla serie storica totale del dato, che per quanto riguarda le postazioni di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti ha un inizio di acquisizione leggermente anteriore rispetto a quello dei dati SAR. Queste velocità così calcolate hanno una differenza sotto il decimo di millimetro/anno, rispetto a quelle calcolate sullo stesso periodo di acquisizione, da considerarsi pertanto trascurabile ai fini di questo studio.

L'analisi dei dati SAR non calibrati, relativi all'area Ravennate nell'intorno della stazione CGPS di Smarlacca per un raggio di 300 metri, ha evidenziato una velocità media pari a $-2,03 \pm 0,26$ mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di $-4,87 \pm 0,02$ mm/anno, si rileva una differenza di $-2,84 \pm 0,28$ mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di $-2,84 \pm 0,28$ mm/anno. Successivamente sono stati confrontati i punti SAR, che ricadevano in un intorno di raggio pari a 300 m, rispetto ai CGPS di Fiumi Uniti e Spinaroni. Il confronto mostra delle differenze, tra i singoli CGPS e i dati SAR calibrati, sotto il millimetro: ciò conferma la validità della calibrazione effettuata.

In Figura 2 si possono visualizzare i PS (Permanent Scatterer) dei dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area di Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

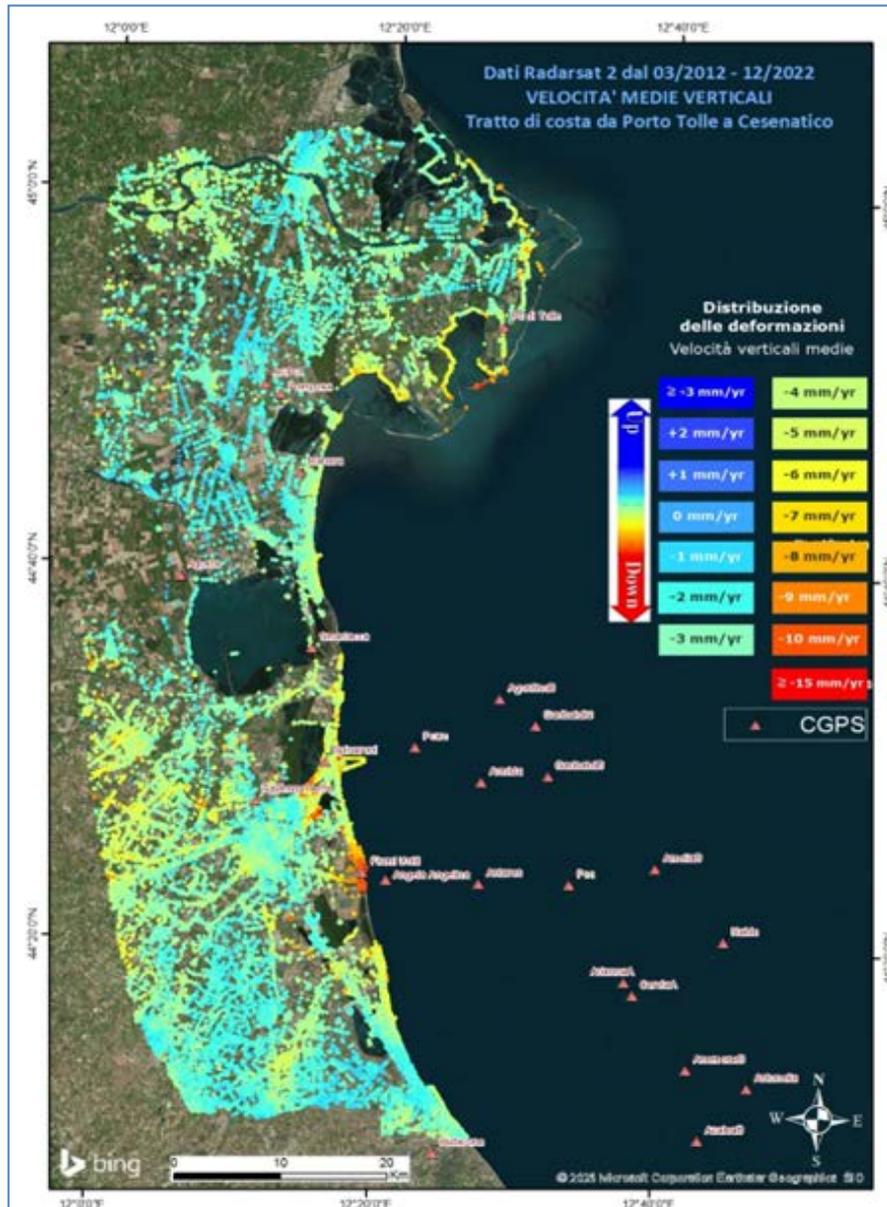


Figura 26. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

Come già effettuato precedentemente, il data set dell'area di Fano-Ancona (vedi Figura 3) verrà analizzato separatamente dall'area Ravennate in quanto è stata rilevata una coerenza delle misure SAR con le misure delle stazioni CGPS interne a ciascun'area.

Analizzando l'area SAR di Fano-Ancona, si evidenzia come le velocità dei CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas siano allineate con le velocità misurate dal SAR, con uno scarto inferiore ai 2 mm (Tabella 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m di raggio, e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono all'interno di questo intorno. Considerata la minima differenza tra il valore misurato dal CGPS

di FANO e quella del dato SAR ($-0,42 \pm 0,13$ mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tabella 1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,44 mm/anno in media.

In Figura 3 si possono visualizzare i PS (Permanent Scatterer) dei dati SAR ottenuti a valle del processo di calibrazione per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona.

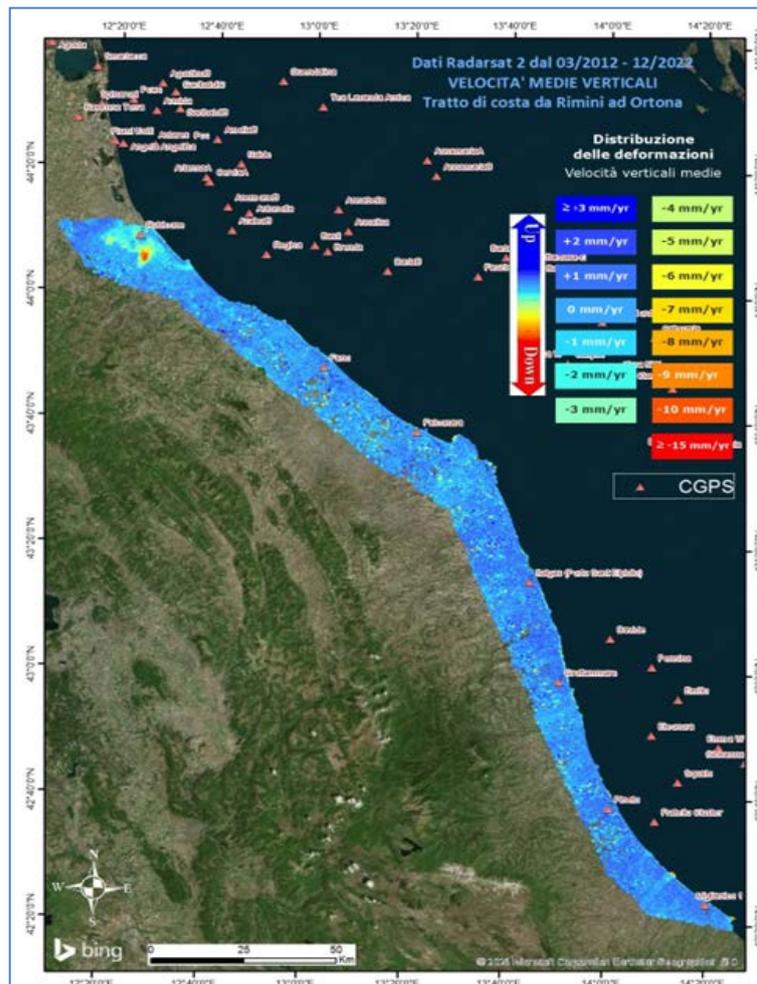


Figura 27. Distribuzione dei PS ricavati dall'elaborazione delle immagini radar da Radarsat-2. Periodo di copertura dal 2012 al 2022. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

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

La tecnologia interferometrica PSP-DIFSAR sviluppata da Telespazio/e-GEOS (<http://www.telespazio.it> / <http://www.e-geos.it>) è una tecnica d'interferometria differenziale SAR di tipo Persistent Scatterer Interferometry (PSI) che utilizza una procedura algoritmica proprietaria per l'individuazione e l'analisi dei Persistent Scatterers (PS) su lunghe serie di immagini SAR (radar ad apertura sintetica), allo scopo di misurare movimenti lenti del terreno dovuti a frane, subsidenza, fenomeni vulcanici e

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 41 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

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

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

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

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

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

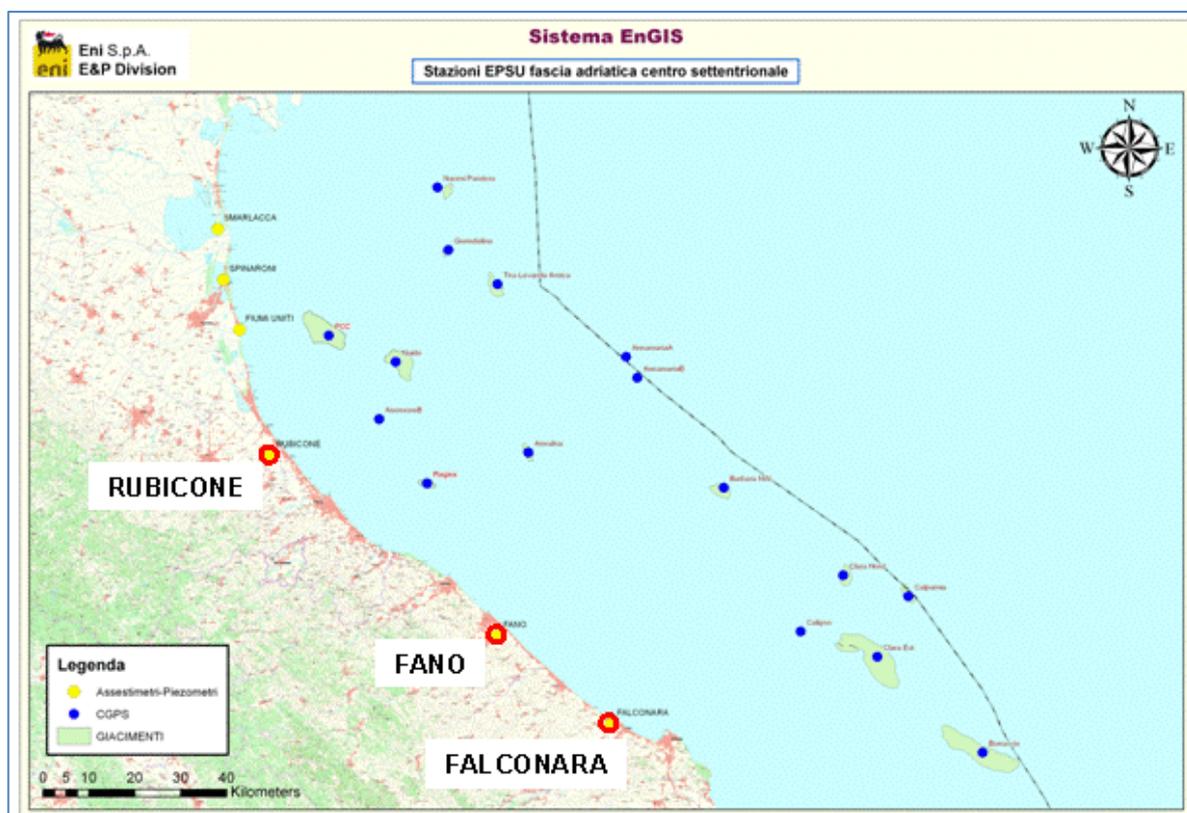


Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU

In generale una stazione *EPSU* è costituita da un assestometro, 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.

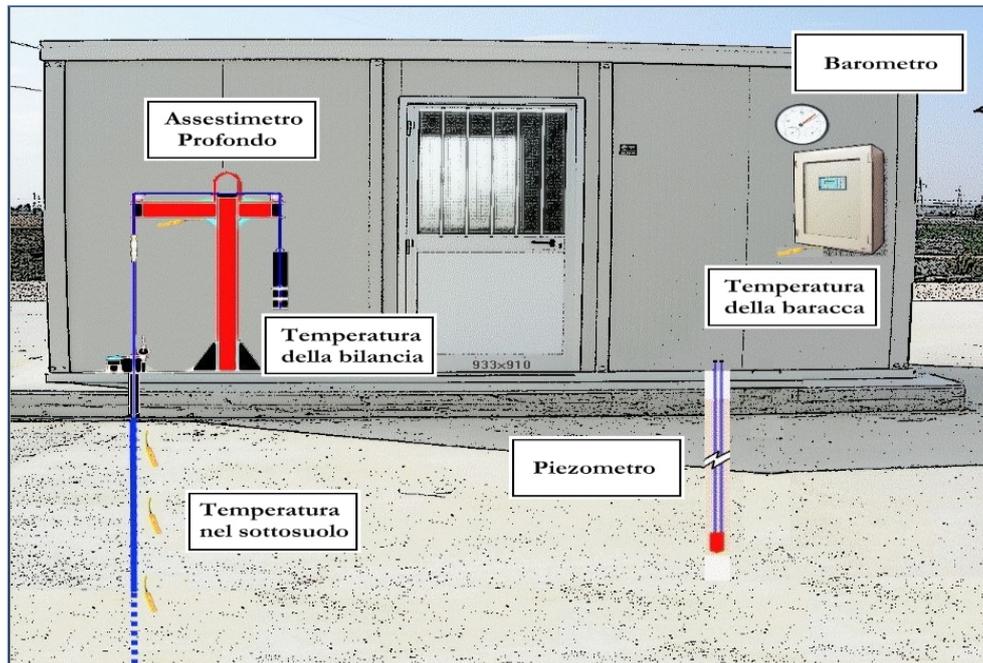


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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).

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 44 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

Stazione *EPSU* di RUBICONE (installata dicembre 2009)

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

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

Strumentazione:

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

La strumentazione messa in opera nella stazione è illustrata schematicamente nelle Figure 3B e 4B mentre la Figura 5B presenta in dettaglio la litologia dei terreni attraversati dal pozzo assestimetrico e dalle 2 verticali piezometriche.

La raccolta dati è iniziata l'8 aprile 2009.

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

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

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

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione. Nel 2011 c'è da segnalare un blackout di dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre. A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) - il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi fosse comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri: le letture manuali, effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili presentando

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 45 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1 cm. Tutti i piezometri revisionati sono risultati integri e affidabili per restituzione dei dati. A giugno 2018 è stato sostituito un trasduttore di pressione del piezometro a 178 m. Verso la fine del 2021 nelle giornate 01 e 02 dicembre è stata effettuata un'attività di lavaggio e spurgo dei 3 piezometri del sito, con anche un controllo generale della strumentazione. Dopo il lavaggio, di ogni singolo piezometro, sono state eseguite le prove di dissipazione dell'acqua immessa (carico idraulico) nei piezometri, durante l'attività di spurgo e lavaggio. Con queste prove si è potuto verificare il corretto funzionamento delle celle filtranti, attraverso una serie di misure manuali (con freatimetro, durante la fase di deflusso dell'acqua), rilevando il tempo necessario al ristabilirsi del livello di falda, che era stato misurato prima e poi dopo l'attività di pulizia dei piezometri. La misura è stata effettuata in entrambi i tubi delle celle "Casa-grande". Tutti e 3 i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dati. Durante l'esecuzione del lavaggio sui due piezometri installati nello stesso foro (-70 m e -146 m), sono state eseguite misure con freatimetro all'interno di un tubo del piezometro profondo (-146 m) durante il lavaggio del superficiale e viceversa durante il lavaggio del piezometro profondo, senza mai notare nessuna interferenza o variazione dei livelli di falda, potendo così escludere comunicazione idraulica tra le due verticali piezometriche. Da segnalare che al termine delle operazioni di spurgo/lavaggio il piezometro a -70 m ha evidenziato un livello dell'acqua a bocca tubo "quasi statico", con dissipazione praticamente assente nelle ore immediatamente successive al lavaggio, gli altri 2 piezometri hanno ristabilito quasi immediatamente il loro livello piezometro di "pre-lavaggio". Il piezometro a -70 m, anche in attività di pulizia effettuate negli anni passati, ha sempre presentato il medesimo comportamento ossia un maggiore ritardo nel ristabilire il livello piezometrico originario; probabilmente il livello freatico -70 m ha un livello di permeabilità molto più basso degli altri due acquiferi monitorati. Nel corso degli anni 2020 e 2021, a causa della situazione pandemica, dovuta all'infezione da virus COVID19, è stato possibile effettuare solo controlli ridotti della strumentazione. Durante il 2022 si è potuti ritornare ad eseguire i normali controlli periodici semestrali, in cui sono stati fatti i controlli manuali e la relativa taratura di tutti i sensori, nei mesi di marzo, luglio e novembre. Per tutto il 2022 la strumentazione assestometrica ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati, tali da non permettere l'individuazione di una tendenza nel

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 46 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

dato stesso.

Analisi dei dati assestimetrici

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

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

Tale misura è quella dell'8 aprile 2009, data di collaudo del sistema.

I valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestimetro indicano una compattazione, quelli negativi, viceversa, un incremento dello spessore (cioè espansione) degli strati di terreno monitorati. Lo strumento ha sempre segnato un andamento stagionale estremamente regolare, con un decremento delle misure da settembre-ottobre ad aprile-maggio dell'anno successivo (massima espansione), una ripresa delle misure da aprile fino a settembre-ottobre (massima compattazione) per poi decrescere di nuovo. Questo andamento è stato registrato in tutti gli anni di osservazione, ma con pendenze delle curve e, quindi, con velocità di incremento e/o decremento, variabili di anno in anno; l'ultimo anno non fa eccezione (Figure 7B e 8B).

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

Analisi dei dati piezometrici

Nei grafici dei piezometri (Figura 6B) l'ordinata è la quota piezometrica (m), ovvero la profondità del livello dell'acqua all'interno del tubo piezometrico riferita al piano campagna.

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 47 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

Nello stesso grafico (come seconda ordinata) è riportato il valore della pressione barometrica. Nella Figura 7B è stata eliminata l'informazione della pressione barometrica e si può meglio apprezzare l'elevata correlazione tra le pulsazioni del terreno, registrate dall'assestometro, e la dinamica annuale delle falde freatiche, che accanto alla componente naturale sembra essere l'unica responsabile della compattazione totale registrata nell'area e localizzata quasi esclusivamente nella parte superficiale di terreno indagata dall'assestometro. Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1). Nel mese di ottobre 2012 sono stati puliti e controllati i 3 piezometri, verificando il loro buon funzionamento. Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014 e si può osservare dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua. A dicembre 2017 è stata fatta una manutenzione straordinaria con spurgo e lavaggio dei tre piezometri con controllo di tutti i trasduttori di pressione. A dicembre 2021 è stata effettuata una nuova attività di spurgo e pulizia dei piezometri. Tutti e tre i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati fisicamente integri e attendibili al fine della restituzione dei dati. Nell'occasione sono stati ritarati tutti i trasduttori di pressione, la cui affidabilità è stata accertata facendo diverse misure manuali con freatimetro.

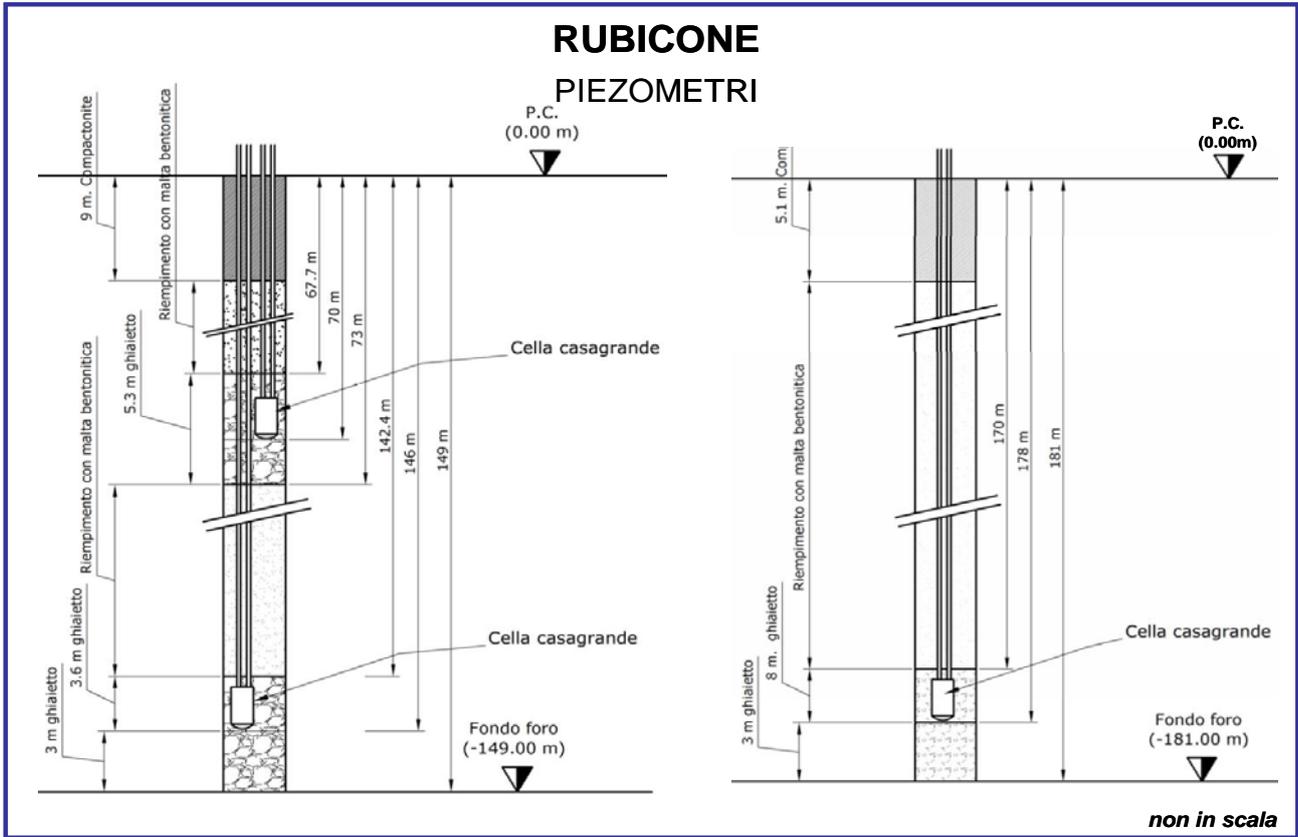


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

RUBICONE ASSESTIMETRO

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

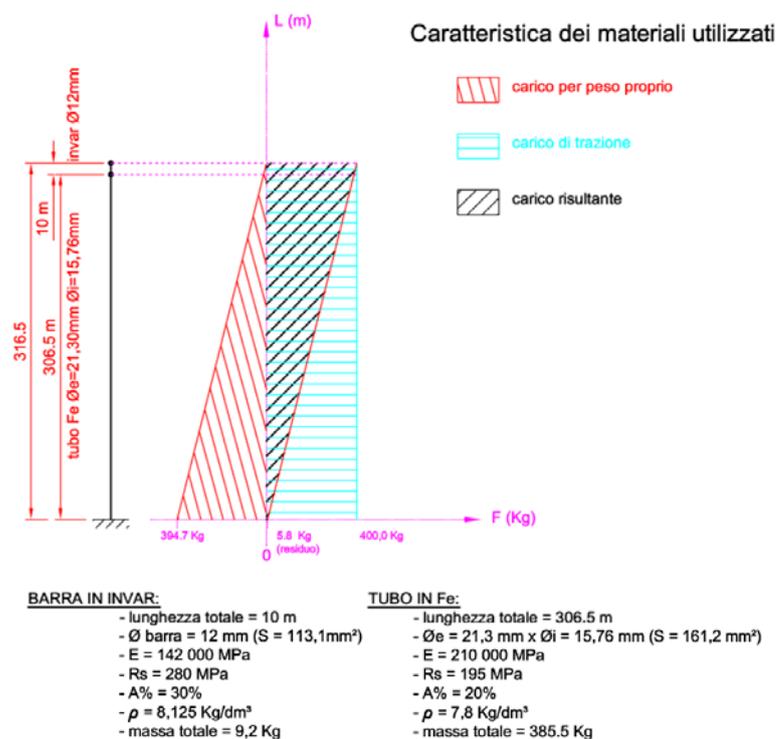


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

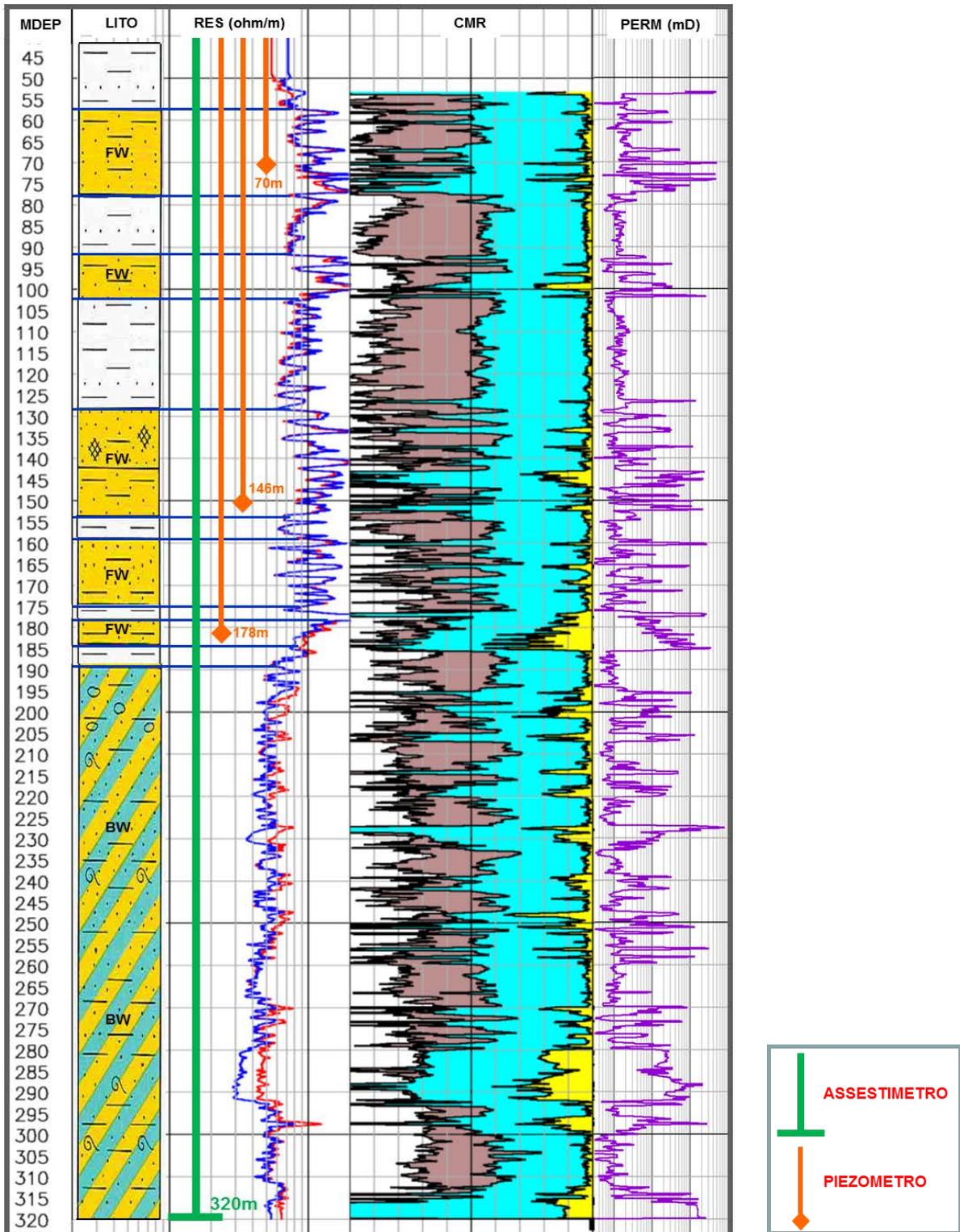


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone (FW=acqua dolce; BW=acqua salmastra)

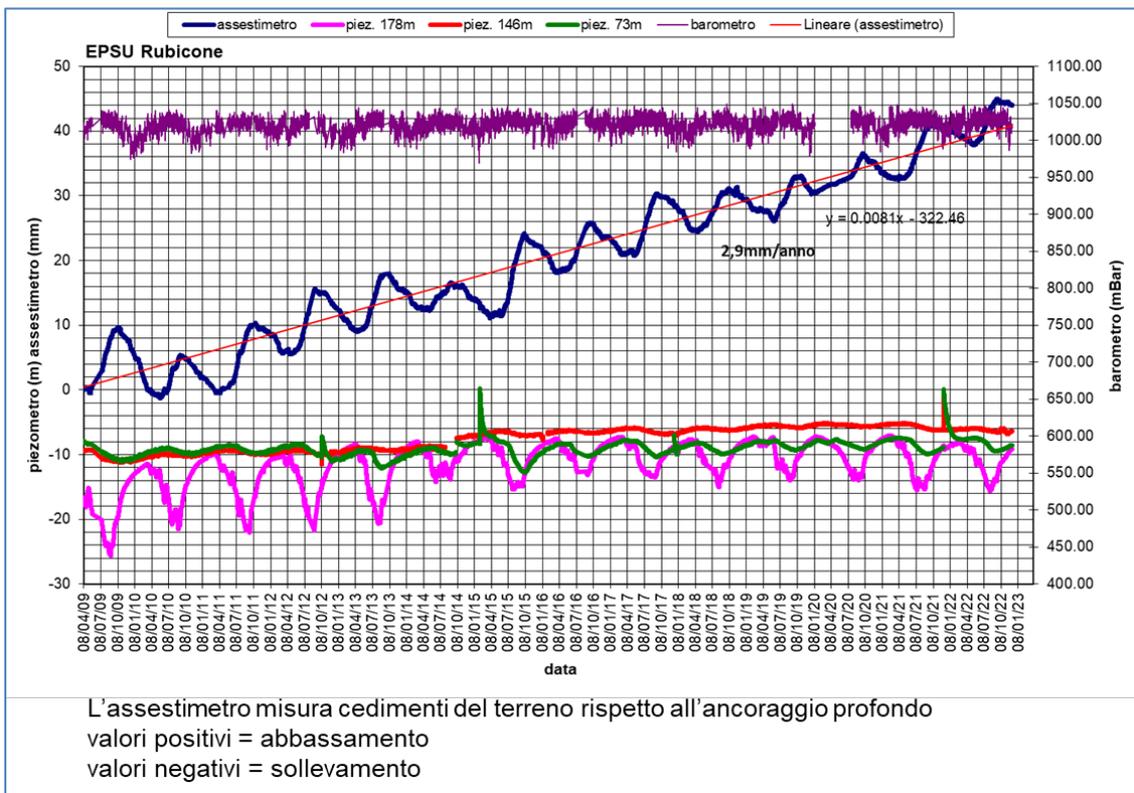


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche

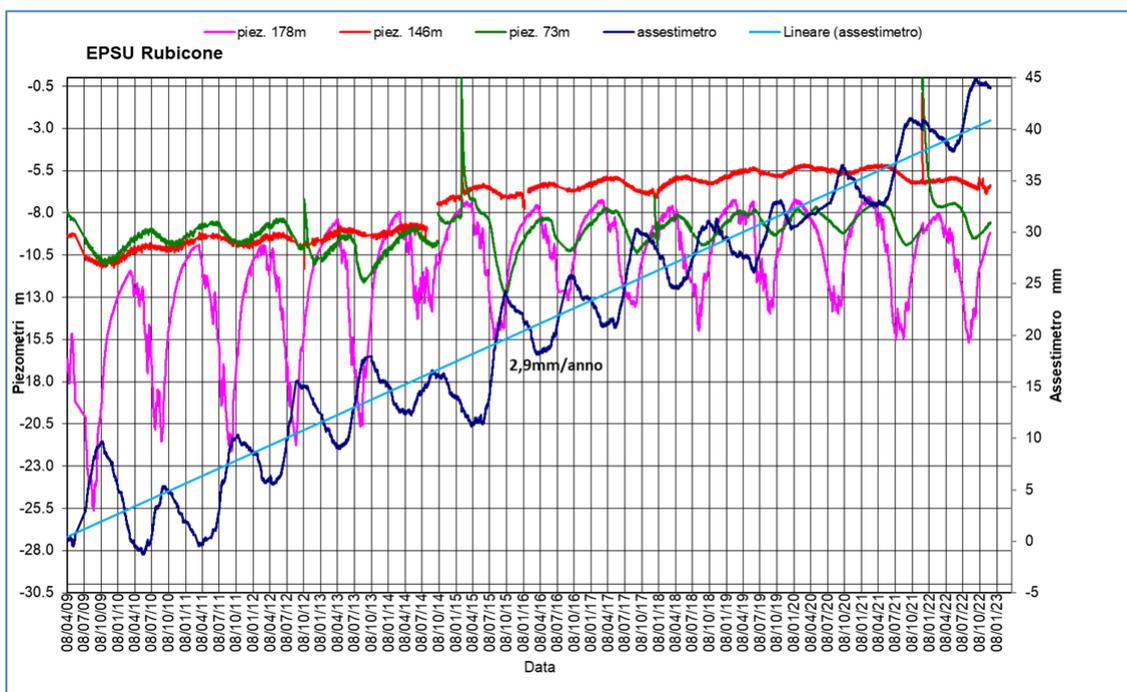


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche-assestimetriche.

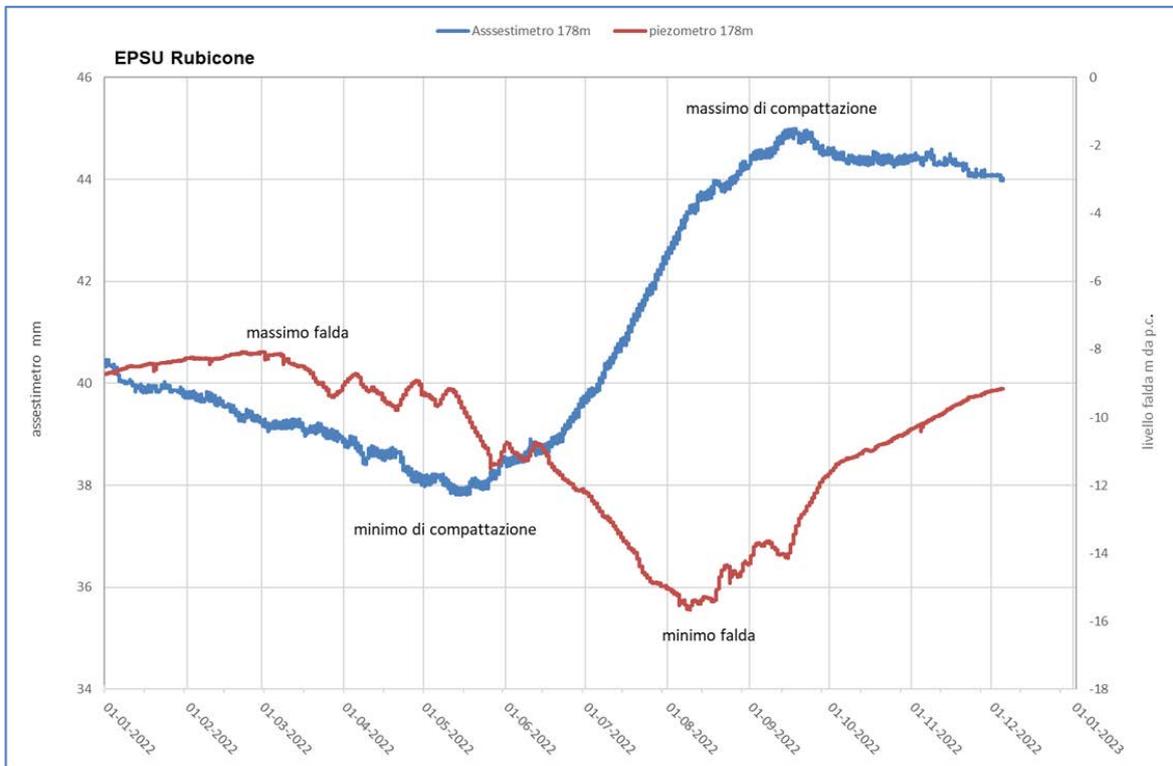


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 53 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

Stazione *EPSU* di FANO (installata ottobre 2008)

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

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

Strumentazione:

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

Lo schema della strumentazione messa in opera nella stazione è illustrato nella Figura 9B, mentre la Figura 10B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico. La raccolta dati di questa stazione è iniziata il 16 ottobre 2008. In tale data (in occasione del collaudo) è stato fatto "lo zero" per tutti i sensori di misura.

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

- 16 ottobre 2008 - 18 maggio 2009: una misura ogni ora;
- dal 19 maggio 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

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

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

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

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 54 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

Analisi dei dati assestimetrici

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

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

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

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

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

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

Nel corso del 2022 (Figura 12B), per quasi tutto l'anno (sino ad i primi del mese di novembre) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.99) a inizio anno è stata parzialmente recuperata da una successiva espansione estiva (fine giugno/inizio luglio), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (1.08mm di compattazione) nel periodo autunnale (inizio di novembre).

In corrispondenza di quest'ultimo periodo, esattamente il 09/11/22, però l'assestimetro fa registrare un salto di compattazione anomalo, circa 0.8mm non recuperati, che, per l'anda-

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 55 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

mento che ha sempre caratterizzato questo strumento, è degno di nota. Il salto di compattazione si è verificato in corrispondenza dell'evento sismico che ha avuto luogo al largo di Fano, nell'offshore adriatico, a circa trenta chilometri dalla costa il 09/11/22 alle ore 06 circa (Figura 13B), dopo tale evento lo strumento sembra essere rimasto stabile sugli ultimi valori di compattazione registrati (1.9mm). Comportamenti simili, della strumentazione assestometrica in occasioni di sismi, erano già stati verificati in passato in altre postazioni per la misura della compattazione superficiale (assestometro di F.Uniti in occasione dei sismi del 2014 e 2016).

Tale variazione anomala di compattazione comunque non fa cambiare l'andamento generale delle misure assestometriche, acquisite nei circa 14 anni di osservazioni (14.21) da questa stazione, che mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione/espansione complessiva (-0.0018mm/anno) nulla (Fig.11B) a parte le variazioni cicliche stagionali.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che la curva assestometrica mostra una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestometrica si presenta sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 11B e Figura 12B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 10B) quando varia la pressione. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestometrico.

Analisi dei dati piezometrici

Nel grafico di Figura 11B sono riportati i valori (in m) misurati dal piezometro Casagrande a doppio tubo di acciaio zincato da 1" ½. L'installazione di due trasduttori di pressione, uno per ogni canna, rende possibile controllare il grado di affidabilità del piezometro stesso. In questo caso la differenza di misura tra i due sensori è stata di circa ± 7 cm, il che rientra nella normale tolleranza dello strumento. In data 30 novembre 2021 è stata effettuata una attività di spurgo/lavaggio del piezometro e sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pres-

sione. Al termine dell'attività di manutenzione il piezometro è risultato integro e perfettamente funzionante.

Come già detto, l'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata in novembre 2022.

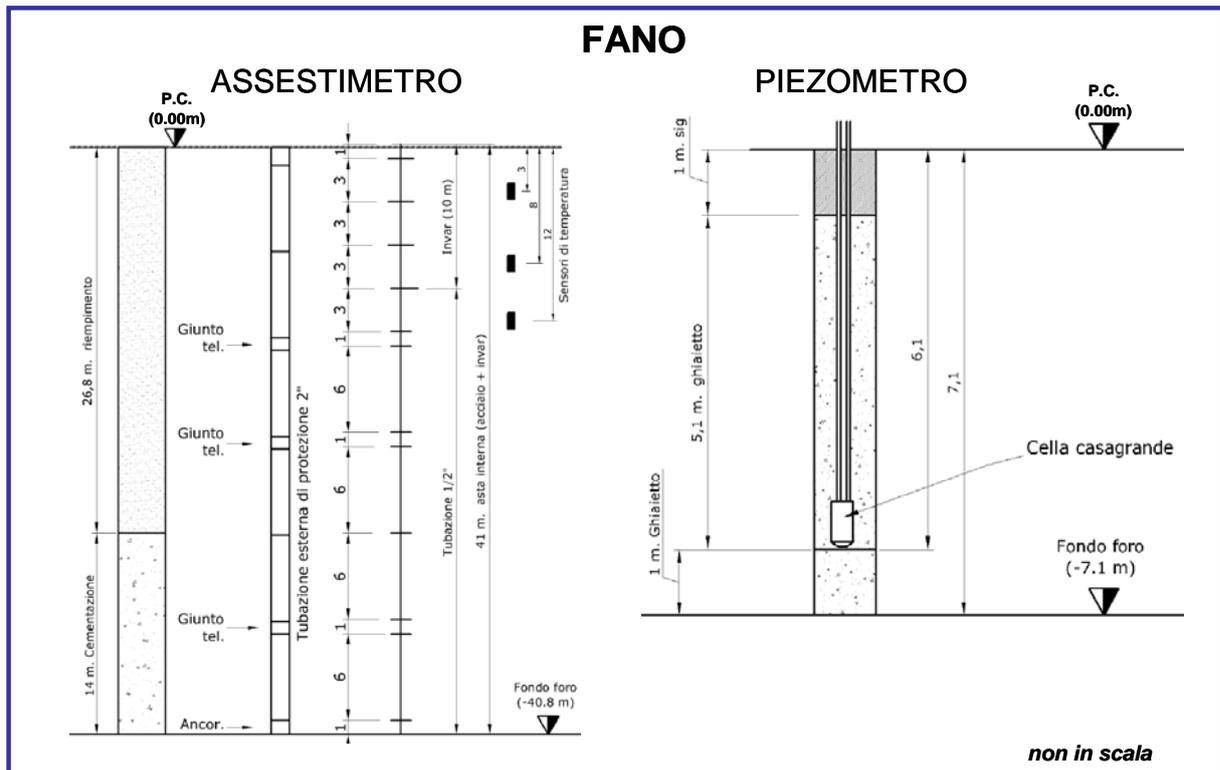


Figura 9B - Stazione EPSU di Fano

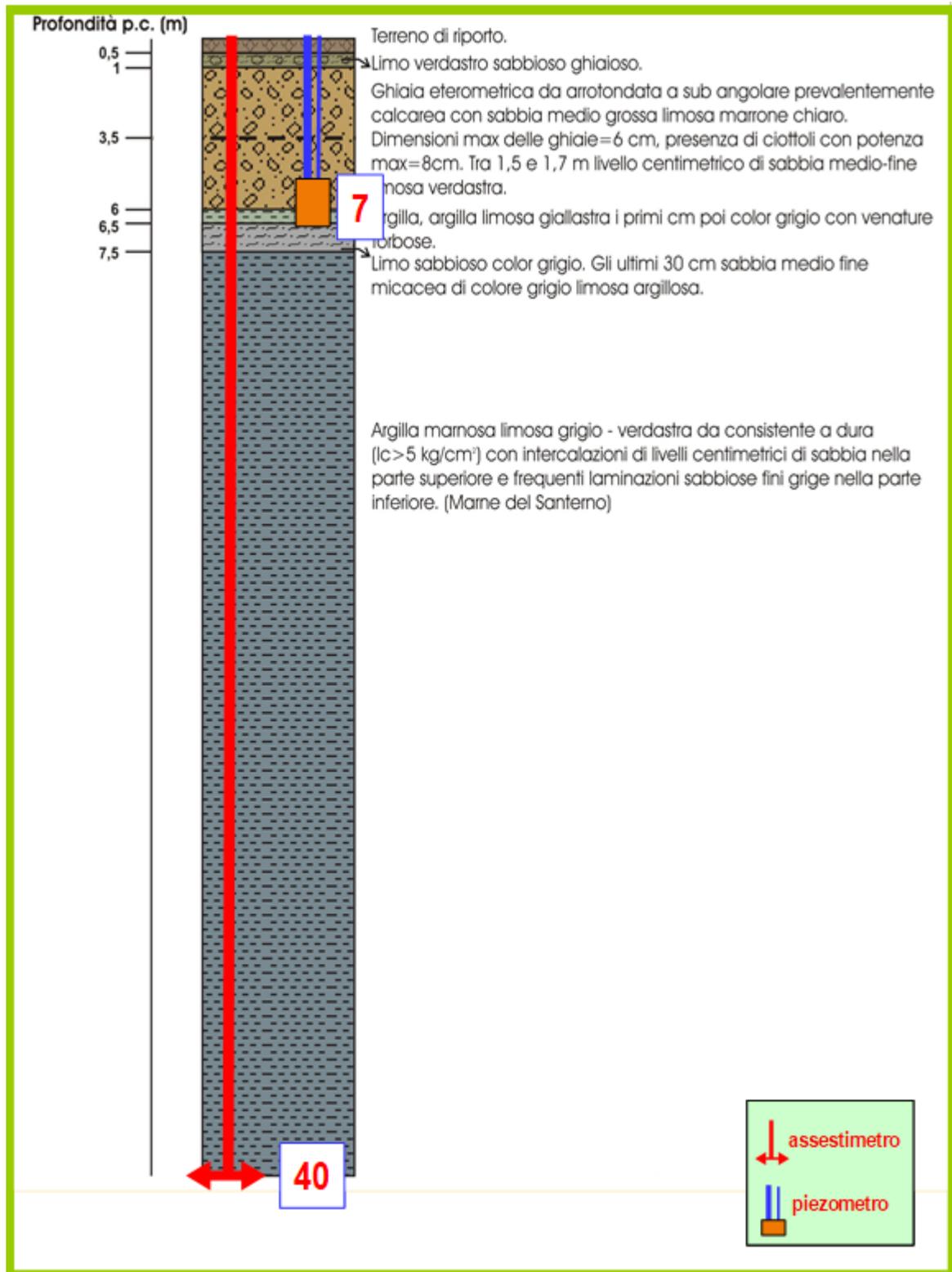


Figura 10B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

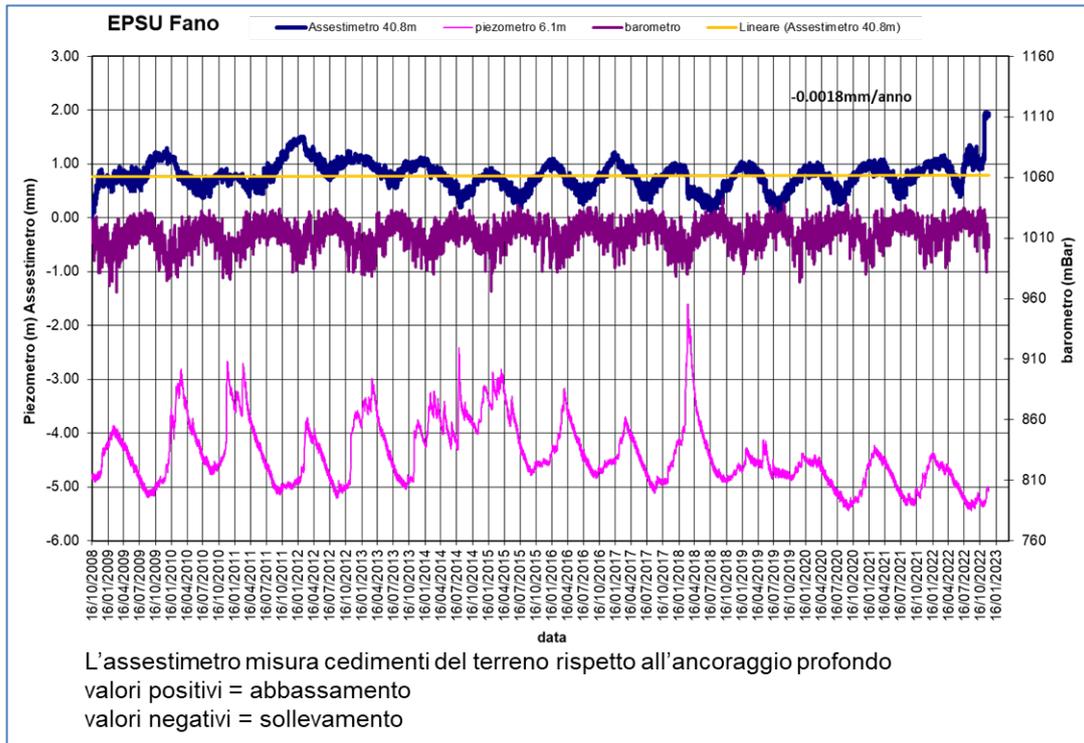


Figura 11B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

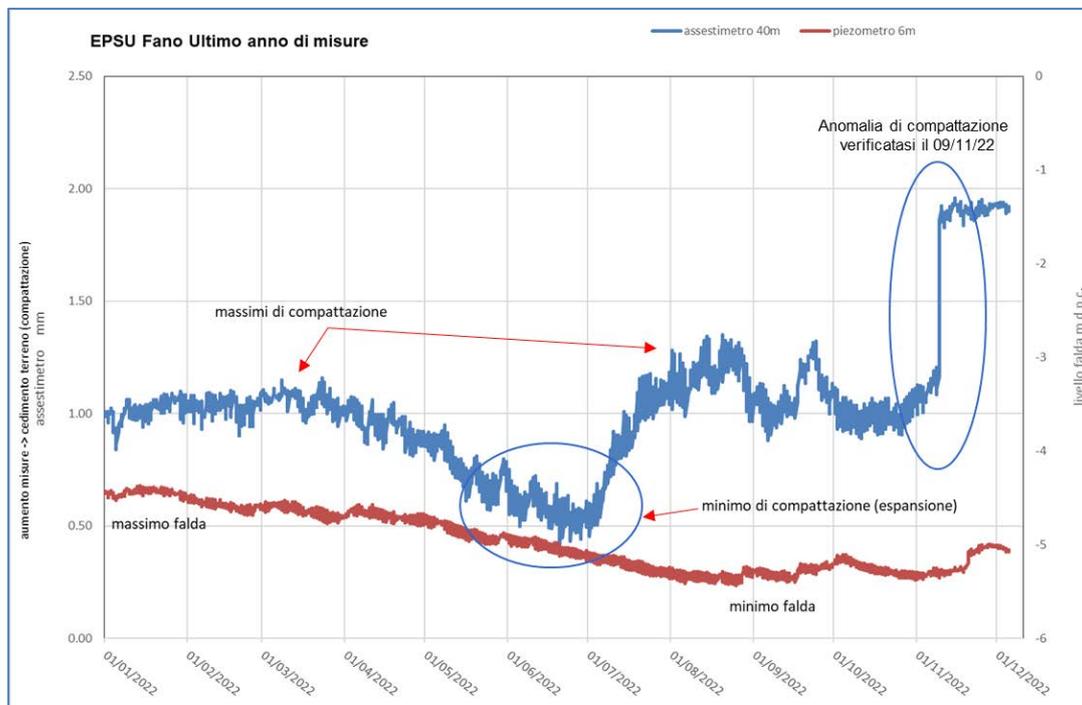


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

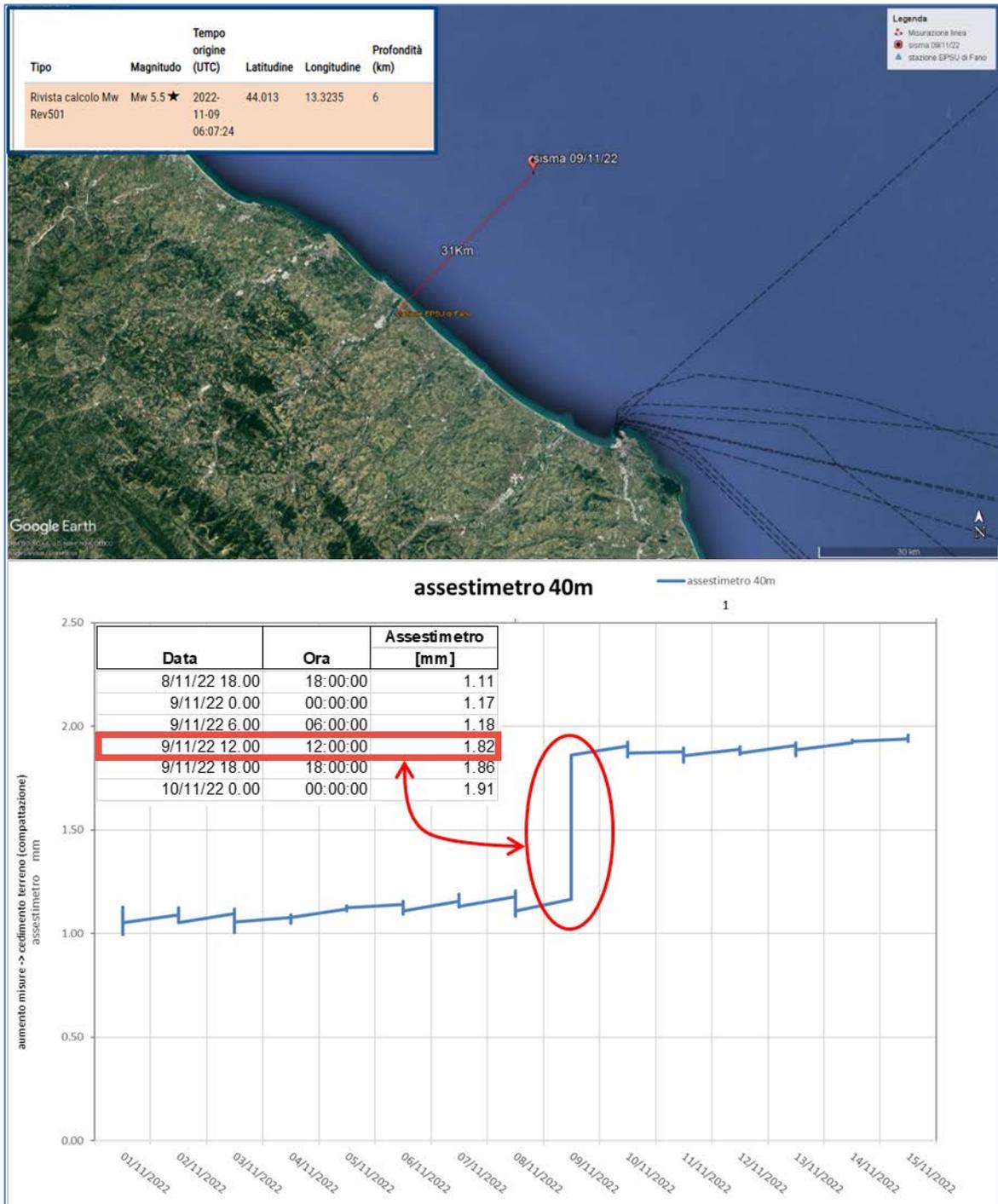


Figura 13B – In alto, ubicazione dell’evento sismico nell’offshore di Fano del 09/11/22 (coordinate ed ora evento da INGV) e in basso relativo comportamento della strumentazione assestimetrica

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 60 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

Stazione *EPSU* di FALCONARA (installata ottobre 2008)

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

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

Strumentazione:

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

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

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

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

- 16 ottobre 2008 -18 maggio 2009: una misura ogni ora;
- 08 maggio 2009 ad oggi: una misura ogni 6 ore.

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

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

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

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

Nel 2022 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNAMARIA novembre 2023</p>	<p>Documento GEODCS_REL2023_ANM</p>	<p>Page - 61 - of 66</p>
---	---	---	--------------------------

Analisi dei dati assestimetrici

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

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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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

Anche in questa occasione sono stati rifatti i controlli dei trasduttori di pressione e Il piezometro sottoposto a manutenzione ha risposto in modo positivo durante l'attività di pulizia, risultando integro e perfettamente funzionante.

Nel caso di Falconara il livello della falda nell'ultimo anno è risultato abbastanza alto, circa 1.5 m da p.c. Dato che si sono utilizzati 2 trasduttori di pressione - uno per ogni canna del piezometro Casagrande - si è in grado di controllare l'attendibilità delle misure.

Come già detto, l'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori, è stata effettuata in novembre 2022, il piezometro è da considerarsi affidabile.

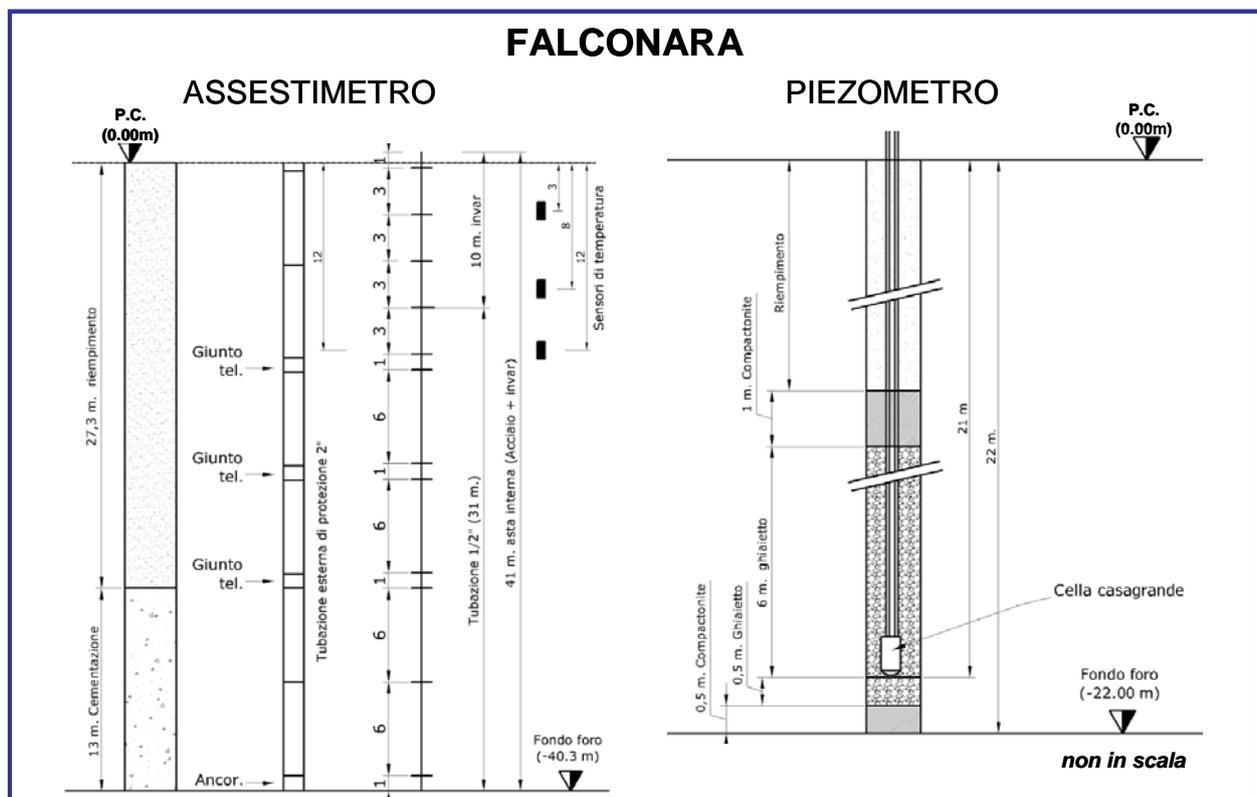


Figura 14B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

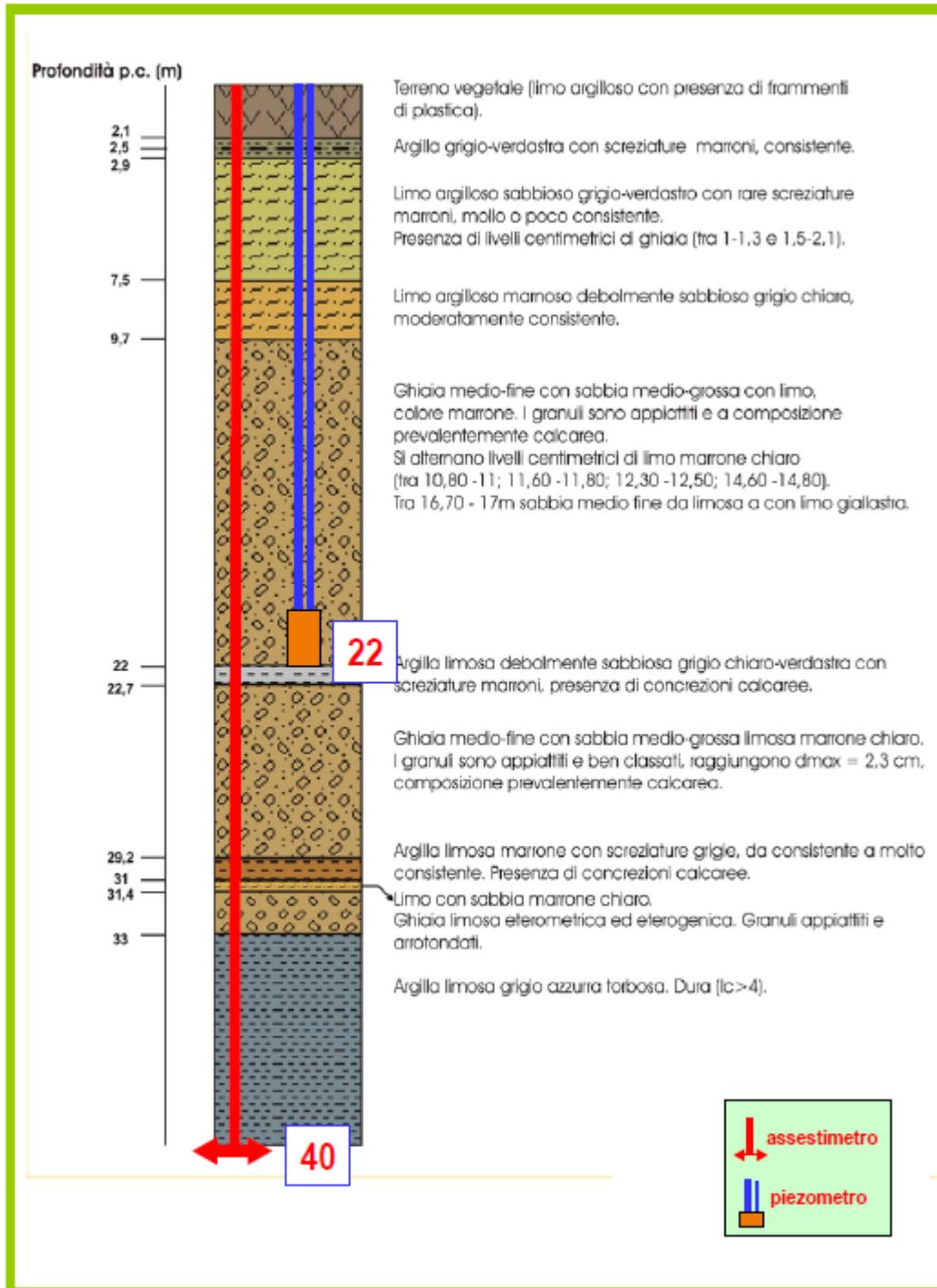


Figura 15B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

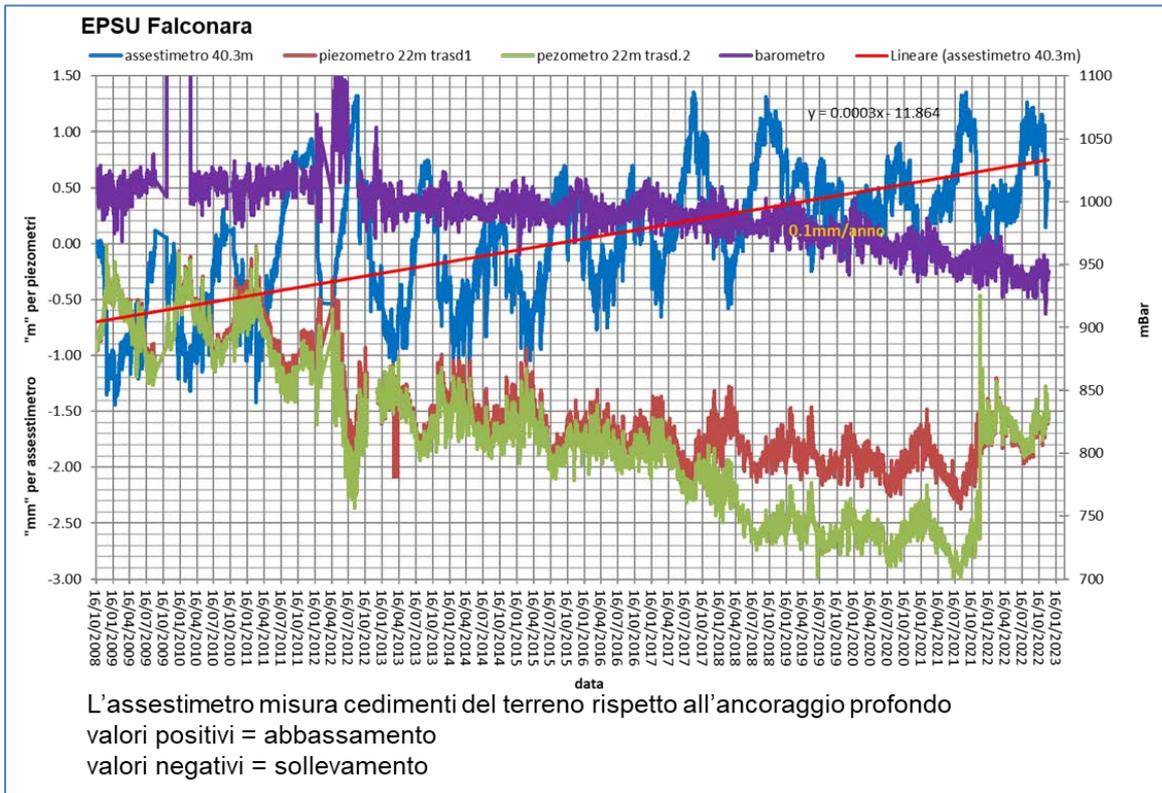


Figura 16B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche-assestimetriche e barometriche.

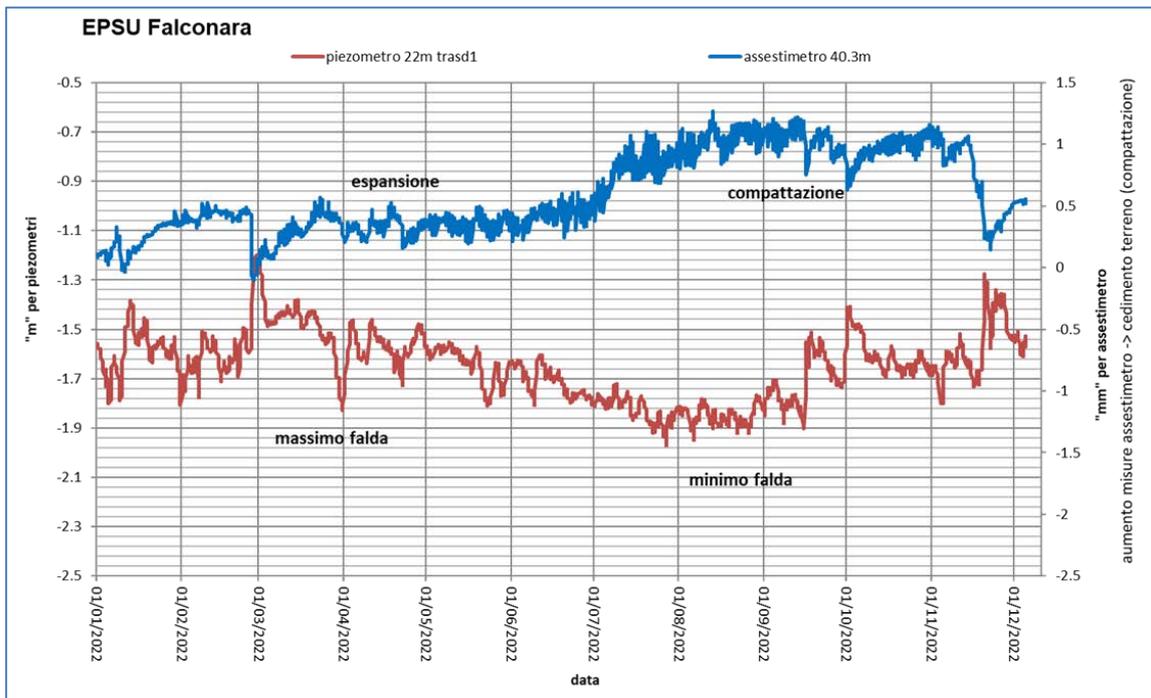


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

 Eni spa	Campo di ANNAMARIA novembre 2023	Documento GEODCS_REL2023_ANM	Page - 65 - of 66
--	-------------------------------------	---------------------------------	-------------------

Conclusioni

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

Tale correlazione è più evidente nel caso di Falconara, dove il piezometro monitora la falda acquifera superficiale che è più sensibile a tutte le variazioni stagionali di piovosità.

Anche nel caso di Rubicone c'è un'ottima correlazione tra i cicli stagionali di compattazione/espansione del terreno monitorati dall'assestimetro e le corrispondenti variazioni di livello delle tre falde, registrate dai piezometri. Le compattazioni massime (contrazioni del terreno), infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno dopo circa 1 / 1.5 mesi dai minimi livelli di falda; le espansioni massime si verificano, invece, mediamente verso aprile/maggio di ogni anno e a loro volta sono in buona correlazione con i livelli piezometrici massimi delle stesse falde avvenuti nei mesi precedenti. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo di quelli installati nelle 3 *EPSU*, è anche quello che registra nel tempo un aumento progressivo della compattazione del terreno monitorato (spessore 320 m). Lo strumento a dicembre 2022, dopo 13.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 44.02 mm, che equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 3.2 mm/anno. Tale valore resta circa uguale, 2.9 mm/anno, se si calcola il valore della velocità media di compattazione con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia maggiormente argillosa che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato all'interno di uno strato argilloso spesso circa 32 m e più scarsamente comprimibile; lo strumento, infatti, nei circa 14 e più anni (14.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (1.08mm sino agli inizi di novembre), poi il salto di compattazione di circa 1mm scarso, successivo al sisma del 09/11/22 come già precedentemente evidenziato. Dopo tale data, sino a fine anno, la compattazione sembra essere costante intorno all'ultimo valore registrato dopo il 09/11. Allo spessore di litologia

argillosa si potrebbero imputare i ritardi nella compattazione espansione del terreno rispetto all' escursione della falda freatica monitorata.

La tabella che segue riporta, per ciascuna stazione, la compattazione complessiva del terreno al 31/12/2022 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2022 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. Questo procedimento potrebbe pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici. Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emersa una tendenza ben definita di compattazione del terreno (valori piccolissimi). In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
Rubicone	13.73	44	3.2	n.i.	-
Fano	14.21	n.i.	-	1.92	n.v.
Falconara	14.21	n.i.	-	0.52	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile