

 Eni spa	Campo di ANNALISA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_ALS	Page - 1 - of 58
--	-----------------------------------	---------------------------------	------------------

Campo di ANNALISA

Aggiornamento al 31/12/2019

Il campo di Annalisa è situato nell'offshore Adriatico circa 34 km a NE di Pesaro, a una profondità d'acqua di circa 55 m, nella concessione A.C32.AG evidenziata in Figura 1.

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C32.AG	30/11/24	Eni	Eni	100%	Marche

Il giacimento è costituito da una blanda anticlinale con asse in direzione NW-SE e si estende per una superficie di circa 4.2 km². La serie mineralizzata è compresa tra i 2300 e 3400 m slm e interessa 52 livelli della serie PL3 della Formazione P.to Garibaldi (Figura 2).

Il campo è stato scoperto nel 1984 con il pozzo Annalisa 1; in seguito nel 1985 è stato perforato il pozzo di *appraisal* Annalisa 2 per meglio definire l'assetto della struttura. Nel novembre 1997 è stata presentata da Eni una domanda di pronuncia di compatibilità ambientale concernente la realizzazione della piattaforma Annalisa e la posa del relativo sealine di collegamento. Nel documento SIA si riportava un profilo di produzione, ottenuto dagli studi statico e dinamico di giacimento (modello *Eclipse*) del marzo 1997, che stimava riserve a vita intera pari a 1659 MSm³ producibili in 8 anni con un picco di produzione giornaliera di 1000 kSm³/g. La subsidenza massima, prevista in relazione a tale profilo e valutata con un modello geomeccanico del tipo Geertsma cilindrico, è stata stimata in 3.2 cm (in corrispondenza del culmine del giacimento) dopo 10 anni dall'inizio produzione; alla stessa data il cono di subsidenza (linea d'iso-subsidenza di 2 cm) è risultato estendersi per circa 1.6 km verso la costa. Per tale previsione sono stati utilizzati i parametri geomeccanici che, con le informazioni disponibili a tale data, venivano considerati come più rappresentativi del comportamento della formazione, in particolare:

- comprimibilità uniassiale $C_m = 0.367 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$
- coefficiente di Poisson $\nu = 0.33$.

In seguito al Decreto VIA n° 3547 del 07/01/99 che approvava il programma lavori presentato, nel periodo maggio-dicembre 1999 si è sviluppato il campo perforando tre nuovi pozzi (Annalisa 3, Annalisa 4 e Annalisa 5) da una piattaforma di tipo BEAF.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 2 - of 58</p>
---	---	---	-------------------------

La produzione di gas è iniziata nel marzo del 2000 con una portata di circa 900 kSm³/g che, però, è rapidamente declinata.

Mentre i pozzi di sviluppo hanno sostanzialmente confermato le dimensioni della struttura, la loro produttività è stata notevolmente inferiore a quanto atteso. Nei primi 4 anni d'erogazione, infatti, si è avuto un arrivo prematuro e inizialmente non previsto dell'acqua di formazione ai pozzi; tale comportamento produttivo ha, pertanto, reso necessaria una revisione degli studi statico e dinamico del campo.

Con tale revisione (aprile 2005) non solo si è aggiornato il valore del GOIP che è risultato in diminuzione (*GOIP studio statico del marzo 1998 pari a 3091 MSm³, GOIP revisione studio statico dell'aprile 2005 pari a 2440 MSm³*), ma, soprattutto, si è potuto meglio calibrare il meccanismo di produzione, evidenziando una spinta dell'acquifero con conseguente sostegno della pressione nei singoli livelli messi in produzione. Ciò ha comportato una riduzione pari a circa il 46% delle riserve producibili a vita intera dal campo. Il nuovo profilo di produzione ha previsto, infatti, il recupero in 15 anni di 890 MSm³ con una graduale chiusura dei pozzi dovuta all'alta percentuale di acqua prodotta.

Nel maggio 2008 si sono di nuovo aggiornati i modelli statico e dinamico del campo di Annalisa (*Studio di giacimento - Nota Tecnica "Proposta pozzi di infilling" del maggio 2008 - rel. Eni-INPE n° 52-08*) allo scopo d'ottimizzarne la coltivazione e valutarne le residue potenzialità minerarie. Il nuovo valore del GOIP è stato di 2637 MSm³, con un incremento di circa il 10% rispetto alla stima dell'aprile 2005. Le riserve producibili in 21 anni sono a loro volta aumentate di circa 84% rispetto alla valutazione precedente, risultando pari a 1636 MSm³. Tale aumento è riconducibile sia ad una rivalutazione delle riserve associate ai completamenti esistenti, sia al progetto di porre in produzione livelli mineralizzati non ancora sviluppati. Tale progetto è stato realizzato nel 2009 con la perforazione del nuovo pozzo Annalisa 6dir e l'esecuzione di due *side-track* dai pozzi Annalisa 3dir e Annalisa 5dir.

Nel maggio 2014 si sono rivisti gli studi statico e dinamico sia del campo di Annalisa, sia di quello di Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella - Studio di giacimento - rel. GISE n°13-14 - ottobre 2014"*). I due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 3 - of 58</p>
---	---	---	-------------------------

Nei nuovi modelli di giacimento di Annabella e di Annalisa si è tenuto conto dei dati storici di produzione sino ad aprile 2014, onde valutare ancora le residue potenzialità minerarie di detti campi e, inoltre, individuare interventi mirati ad aumentarne il fattore di recupero finale.

In base ai risultati di questa revisione è stato perforato un *side-track* (Annalisa 4dirA) sul pozzo Annalisa 4dir, che ha dato risultati superiori alle attese quanto a performance produttiva. Nel corso del 2015, infatti, tale *side-track* ha inizialmente erogato 280 KSm³/g di gas contro i 160 KSm³/g previsti da modello *Eclipse*.

Il nuovo valore del GOIP per il campo di Annalisa è stato valutato in 3966 MSm³, con un incremento di circa il 50% rispetto alla precedente stima del maggio 2008. Sempre per il campo di Annalisa, le riserve a vita intera sono a loro volta aumentate di circa 23%, risultando pari a un volume di 2012 MSm³ di gas producibile al 2023.

Nel novembre 2018 si è nuovamente aggiornato il modello dinamico del campo di Annalisa - Annabella (*"Campi di Annalisa e Annabella – Aggiornamento modello dinamico 2016 – Scheda riassuntiva - rel. REIT/EORG n°RDR IPET – E5149F94-0 - novembre 2018"*). Anche in questo caso i due campi sono stati studiati congiuntamente al fine di tener conto di eventuali fenomeni d'interferenza idraulica e meccanica fra gli stessi. Scopo del nuovo aggiornamento è stato quello di aggiornare il modello con i nuovi dati produttivi e di pressione fino a febbraio 2018, di valutare il potenziale produttivo residuo e di fornire un modello di giacimento aggiornato da utilizzare per l'aggiornamento del modello geomeccanico FEM del 2014. Nel nuovo aggiornamento le riserve a vita intera del campo di Annalisa (caso DN - Do Nothing) sono state ridotte da 2012 MSm³ al 2023 a 1953 MSm³ al 2021.

Nella Figura 3 è riportato l'andamento storico della portata di gas (kSm³/g), d'acqua (m³/g). Nella Figura 4, Figura 5 e Figura 6 è riportato, invece, il confronto tra la produzione reale (annuale e cumulativa) e quella prevista dal modello *Eclipse* 2018. Al 31/12/2019 la produzione cumulativa del campo è di 1939 MSm³, pari al 99% delle riserve producibili.

In Figura 7 sono riportati per il campo di Annalisa sia i profili di pressione statica di giacimento calcolati con il modello *Eclipse* del novembre 2018 sia le pressioni statiche misurate nei livelli più rappresentativi (PL3-B10+B11, PL3-G+H, PL3-D4a+D4b, PL3-D4a+D4b+D5a+D5b).

Tale confronto mostra come, in generale, i valori calcolati dal modello siano in buon accordo con i dati misurati. In particolare, la ripressurizzazione registrata nel 2019 nei livelli PL3-D4a+D4b+D5a+D5b risulta superiore rispetto a quanto previsto dal modello.

Già nel marzo 2009 è stata rivista la previsione iniziale di subsidenza, seguendo l'approccio modellistico e le metodologie di lavoro descritte nel provvedimento direttoriale del Ministero dello Sviluppo Economico del 20/03/08. Per tale nuova previsione, si sono considerati i possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra il campo di Annalisa e il campo di Annabella data la loro vicinanza (7 km circa). La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "rel. Eni-TERA n° 02-09 del marzo 2009". Tali previsioni di subsidenza sono eseguite per tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato valutato assumendo un diverso valore (*Low*, *Medio*, *Up*) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione.

Una sintesi dei risultati ottenuti è presentata nella seguente Tabella 1.

Tabella 1 – Scenari di subsidenza

Scenario	2006			2022			2045		
	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)	Max sub (cm)	Max ext A (km)	Max ext B (km)
Low	1	-	-	2	-	-	2	-	-
Medio	3	9	1	6	11	3	6	11	3
Up	8	13	3	18	14	5	18	15	5

In tutti i casi esaminati si può notare come la subsidenza massima a fine produzione (anno 2022) raggiunga valori modesti, e, soprattutto, come la distanza del cono di subsidenza dalla costa sia sempre superiore ai 27 km.

Un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico (*rel. Eni-TERA n° 07-2014 del dicembre 2014*), che ha fatto seguito alla revisione degli studi statico e dinamico di giacimento dell'ottobre 2014 per i campi di Annalisa-Annabella, è stato fatto tenendo sempre conto dei possibili effetti d'interferenza idraulica e meccanica fra questi ultimi. Come nello studio del 2009, per le nuove previsioni di subsidenza si sono considerati tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato ottenuto assumendo un differente valore del coefficiente di compressibilità uniassiale (*Lower*, *Middle*, *Upper*) per i livelli soggetti a compattazione. Le simulazioni con modello geomeccanico sono state protrate fino al 2061 (a pozzi chiusi) così da seguire nel tempo l'evoluzione della pressione nei livelli mineralizzati e negli acquiferi dopo la fine della produzione (anno 2027).

I principali risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 2.

Tabella 2 - Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per i tre scenari considerati – aggiornamento modello 2014

Scenario	1-gen-2015		Fine produzione		1-gen-2061	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
Lower	3	9	4	10	4	10
Middle	8	12	10	13	10	13
Upper	16	13	21	14	21	14

L'analisi di tali risultati consente di concludere che:

- il valore massimo di subsidenza è previsto verificarsi per tutti e tre gli scenari esaminati in corrispondenza del punto di coordinate 2366492 m E 4899497 m N, ed è pari a 4 cm per lo scenario *Lower*, 10 cm per lo scenario *Middle* (scenario più probabile e, quindi, assunto di riferimento) e 21 cm per lo scenario *Upper*,
- la distanza del cono di subsidenza dalla costa è sempre di circa 27 km per i tre scenari

Infine, nel dicembre 2018 è stato eseguito un ulteriore aggiornamento del modello geomeccanico a seguito dell'aggiornamento del modello dinamico di giacimento relativo ai campi di Annalisa e Annabella, effettuato con lo scopo di valutare quantitativamente la subsidenza indotta dall'attività estrattiva.

La descrizione tecnica dello studio e i risultati ottenuti sono riportati in dettaglio nella "rel. Eni-REIT n° IPET-33FC4D85-0 del dicembre 2018". La previsione di subsidenza è stata eseguita per tre diversi scenari, ognuno dei quali è stato valutato assumendo un diverso valore (*lower*, *middle*, *upper*) del coefficiente di compressibilità uniassiale per i livelli soggetti a compattazione. Una sintesi dei risultati ottenuti è presentata nella seguente Tabella 3.

Tabella 3 - Risultati finali: massima subsidenza ed estensione del fenomeno per i tre scenari considerati – aggiornamento modello 2018

Scenario	1-gen-2018		1-feb-2027		1-gen-2057	
	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)	Max sub (cm)	Max estensione (km)
Lower	5	11	6	11	6	12
Middle	7	12	9	13	9	14
Upper	11	13	13	14	13	14

L'analisi dei risultati consente di osservare che il valore massimo di subsidenza per lo scenario di riferimento (Middle) è pari a 9 cm al 2027 e che il fenomeno si esaurisce a circa 27 Km dalla linea di costa per tutti e tre gli scenari considerati (Figura 8 e Figura 9).

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

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

Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della documentazione e della metodologia utilizzata a un ente esterno, che attualmente è il Dipartimento DICAM dell'Università di Bologna.

La rete di livellazione rilevata nel 2017 (ultimo rilievo eseguito), è stata ampliata con l'aggiunta di uno sbraccio esteso all'area del campo di Agosta.

Tale rete è suddivisa nei seguenti tronchi di livellazione:

- dorsale Adriatica, da Treviso fino a Pesaro, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po, per un totale di circa 1200 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 210 km di sviluppo lineare;

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 7 - of 58</p>
---	---	---	-------------------------

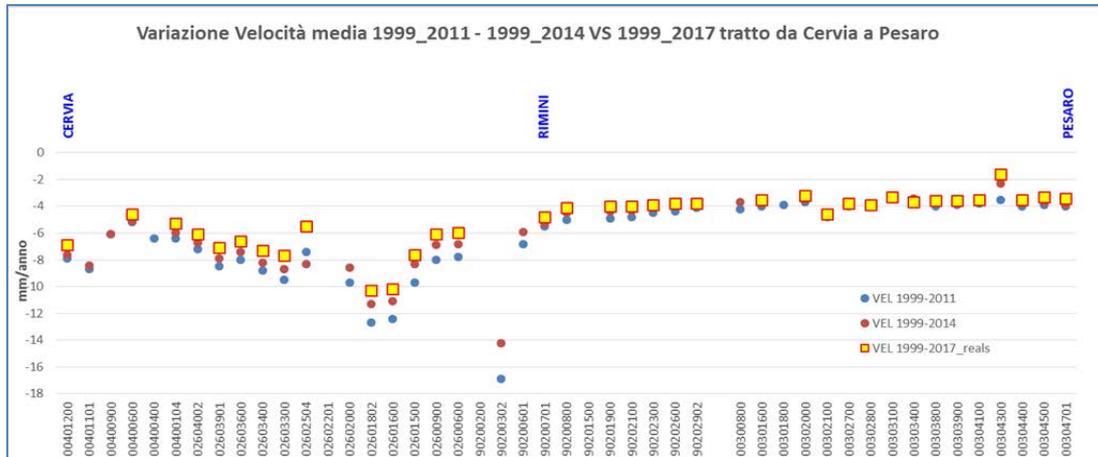
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare.

Le operazioni di campagna si sono svolte nel periodo compreso tra agosto e ottobre 2017 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell'ente certificatore.

Si ritiene opportuno sottolineare, inoltre, che, sebbene vi siano punti di contatto tra i vari tratti di livellazione afferenti alla rete Eni, allo stato attuale non è possibile utilizzare in modo congiunto i valori di quota ottenuti sulle singole reti a causa della disomogeneità tra i capisaldi origine delle tre reti di livellazione. Per ovviare a tale situazione, determinata da fattori ambientali (grandi distanze), su suggerimento dell'ente certificatore è stata realizzata una linea di stazioni permanenti CGPS disposte a distanze regolari tra Ortona e P.to Sant'Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d'ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara. Per il tratto di costa da Cervia a Pesaro, monitorato per controllare la stabilità del litorale emiliano-romagnolo, sono disponibili, includendo la campagna del 2017, 13 serie di misure. Queste ultime sono state eseguite con cadenza annuale dal 1999 al 2009 (10 serie) e, in seguito 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.

Le velocità medie di subsidenza, stimate con regressione lineare e relative ai capisaldi di tale tratto di costa, sono riportate in Figura A per i seguenti periodi: 1999-2011, 1999-2014 e 1999-2017. Il confronto fra i valori rilevati dei tre periodi mostra come negli ultimi anni dette velocità siano generalmente in diminuzione. Il fenomeno, già osservato con le misure del 2014, è stato ulteriormente confermato dai dati acquisiti con la campagna di livellazione del 2017.

Figura A –Tratto Cervia - Pesaro: velocità medie di subsidenza (periodo 1999-2017)



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 matematici della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura, sia per i valori legati alla propagazione dell'errore. Come programmato in precedenza, l'ente certificatore ha iniziato, da questa campagna, ad introdurre la compensazione sviluppata utilizzando i valori di velocità desunti dalle stazioni CGPS permanenti della rete Eni. A questo proposito, però, è necessario anche segnalare che i valori delle quote dei capisaldi ottenuti con questo procedimento possono differire da quelli che si ottengono con la compensazione classica, che è invece vincolata a un solo caposaldo di riferimento. In effetti, ciò è stato osservato nel caso dei risultati del rilievo 2017, in cui le misure delle quote di alcuni capisaldi sono risultate maggiori dei corrispondenti valori rilevati con la livellazione del 2014. Valori questi ultimi che erano stati ottenuti con la compensazione classica vincolata al solo caposaldo di Treviso.

I risultati del rilievo 2017 sono, comunque, compatibili con il quadro generale di una diminuzione della velocità di subsidenza osservata anche con il monitoraggio SAR.

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 9 - of 58</p>
---	---	---	-------------------------

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

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

L'elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2014 mostra per l'area in esame un quadro di generale abbassamento, con valori in leggera diminuzione rispetto a quelli misurati nelle campagne fatte fino al 2011. Il 50% dei punti, infatti, ricade nella classe 2, il 45% dei punti in quella 3 e solo il 5% (due capisaldi) ha valori di V_a di poco superiori a 10 mm/a (11.3 mm/a come valore massimo).

Il confronto con i dati di livellazione del periodo 1999-2017 conferma, come già detto, tale rallentamento della velocità di subsidenza, che è diffuso per tutto il tratto analizzato. Ricade, infatti, nella classe 2 il 60% dei punti analizzati, il 31% dei punti in quella 3, mentre è praticamente invariata la percentuale dei punti appartenenti alla classe 4 (6%, ovvero due soli punti); un solo caposaldo appartiene alla classe 1.

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2020), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione dei dati di campagna basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del tratto analizzato, al netto di eventuali movimenti anomali localizzati sui singoli capisaldi, movimenti che saranno oggetto di verifica durante le prossime campagne di misura.

Per completare il monitoraggio altimetrico del tratto di costa antistante alle piattaforme si è proceduto, inoltre, ad aggiornare la copertura SAR (dicembre 2019) per un'analisi areale altimetrica integrata (Appendice A) con i dati forniti dalle stazioni CGPS (Figura 10).

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

 Eni spa	Campo di ANNALISA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_ALS	Page - 10 - of 58
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

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

Il sistema di monitoraggio è stato poi ulteriormente potenziato con la costruzione lungo la costa, nel tratto prospiciente i campi sopracitati, di 3 nuove stazioni altimetriche SSU (Satellite Survey Unit) equipaggiate ciascuna con un CGPS, un caposaldo di livellazione geometrica e 2 bersagli *radar* solidalmente connessi tra loro tramite una trave di cemento armato. Le 3 stazioni SSU sono state realizzate nelle Centrali Eni di Rubicone, di Fano e di Falconara nel dicembre 2007 (Appendice B); negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche tre pozzi assestometrici per il monitoraggio della compattazione superficiale del terreno. Tali stazioni si sono aggiunte a quelle preesistenti, installate più a Nord lungo la costa ravennate, nelle località di Fiumi Uniti, di Smarlacca e di Spinaroni.

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

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è, però, più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico (completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017). Nel corso del 2018, sono state installate due nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. sulle postazioni di Pomposa (ACPO – installata a settembre 2018) e di Po di Tolle (POTO – installata nel mese di luglio 2018). Una volta acquisita e consolidata una serie storica sufficientemente lunga di misure, tutte le nuove stazioni entreranno a fare parte delle stazioni utilizzate per il monitoraggio della stabilità della costa.

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, Facoltà di Fisica – Dipartimento di Fisica e Astronomia DIFAS.

I dati CGPS acquisiti sulla piattaforma Annalisa, certificati fino al 2017 e in fase di certificazione per gli anni successivi, sono stati elaborati con il *software* scientifico Bernese dalla ditta e-GEOS. Si segnala che la serie storica di misure CGPS presenta un'interruzione a dicembre 2014 a causa di lavori di *work-over* in piattaforma e di un guasto della strumentazione di misura, che non hanno permesso l'acquisizione di dati nel 2015 e nella prima parte del 2016. Per rappresentare in grafici plano-altimetrici la serie storica più completa di misure, ovvero quella estesa al 31/12/2019 (Figura 11), sono stati utilizzati in questa relazione i dati non certificati, vista la generale convergenza di questi ultimi con quelli certificati, come mostrato nella seguente Tabella 4.

Tabella 4 - Confronto dati CGPS certificati e non certificati aggiornati al 31/12/2017

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
Annalisa	17.87	21.13	-3.62	17.85	21.18	-3.78	0.02	-0.05	0.16

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

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 12 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

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;
- dataset > 36 mesi: analisi di trend e calibrazione dei modelli geomeccanici confrontando il dato di velocità di subsidenza misurato (depurato dalla velocità di subsidenza naturale) e i valori dei modelli previsionali.

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

Per il campo di Annalisa, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale² pari a -3.51 mm/a (Figura 11), sostanzialmente senza variazioni significative rispetto a quanto riportato nella precedente relazione d'aggiornamento (-3.81 mm/a nel 2018).

Utilizzando un software realizzato dall'Università di Roma La Sapienza (software FEED – Fast Elbow Effect Detector), creato per migliorare le analisi dei dati delle serie storiche GNSS per rilevare variazioni di velocità, nell'ambito della serie storica dei dati CGPS disponibile è,

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 13 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

inoltre, possibile individuare (modello empirico), alcune variazioni di velocità correlabili con la storia produttiva del campo (Figura 12).

In particolare:

- periodo che va dall'installazione del CGPS fino a gennaio 2014, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -5.63 mm/a;
- periodo gennaio 2014 – dicembre 2019, in cui la velocità media di subsidenza totale è pari a circa -1.32 mm/a, mostrando un rallentamento rispetto ai valori calcolati nel periodo precedente.

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. Come riportato nella precedente relazione, si ricorda che le elaborazioni delle nuove serie storiche sono state influenzate sia dal cambio del sistema di riferimento (da ITRF2008lgb08 a ITRF2014) sia dall'utilizzo della nuova release del software scientifico Bernese (da 5.0 a 5.2). Entrambe le condizioni hanno introdotto modeste variazioni nelle velocità medie pregresse, dovute anche al ricalcolo delle serie storiche delle stazioni di riferimento. In particolare, le verifiche effettuate hanno mostrato che tali condizioni possono determinare un aumento della velocità di subsidenza dell'ordine di 0.5 mm/anno, anche sulle serie storiche delle stazioni di riferimento.

I valori di subsidenza previsti dal modello geomeccanico del 2018 sono stati confrontati con quelli acquisiti dal CGPS (aggiornati al 31/12/2019), senza che questi ultimi siano stati depurati della componente di subsidenza naturale. Come si vede dalla Figura 14, le misure CGPS si collocano sullo scenario *Middle* (scenario medio di riferimento), confermando l'attendibilità dell'attuale modello di subsidenza.

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 Annalisa siano di piccola entità e, soprattutto, non abbiano alcun impatto sull'andamento altimetrico del tratto di costa antistante.

 Eni spa	Campo di ANNALISA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_ALS	Page - 14 - of 58
--	-----------------------------------	---------------------------------	-------------------

Si segnala, infine, che:

- a) in Figura 15 è presentata una scheda riassuntiva con i dati di campo e lo status dei monitoraggi;
- b) in Figura 16 è presentato un particolare della rete di monitoraggio Eni.



Figura 1 – Ubicazione del campo di Annalisa

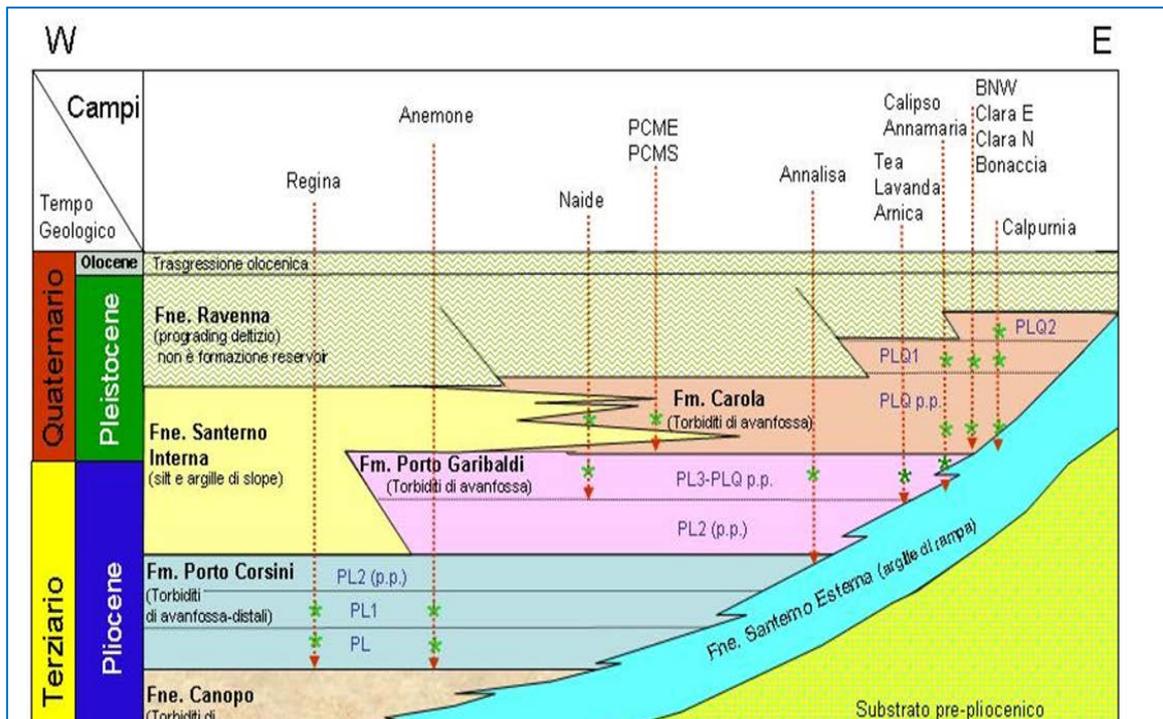


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici

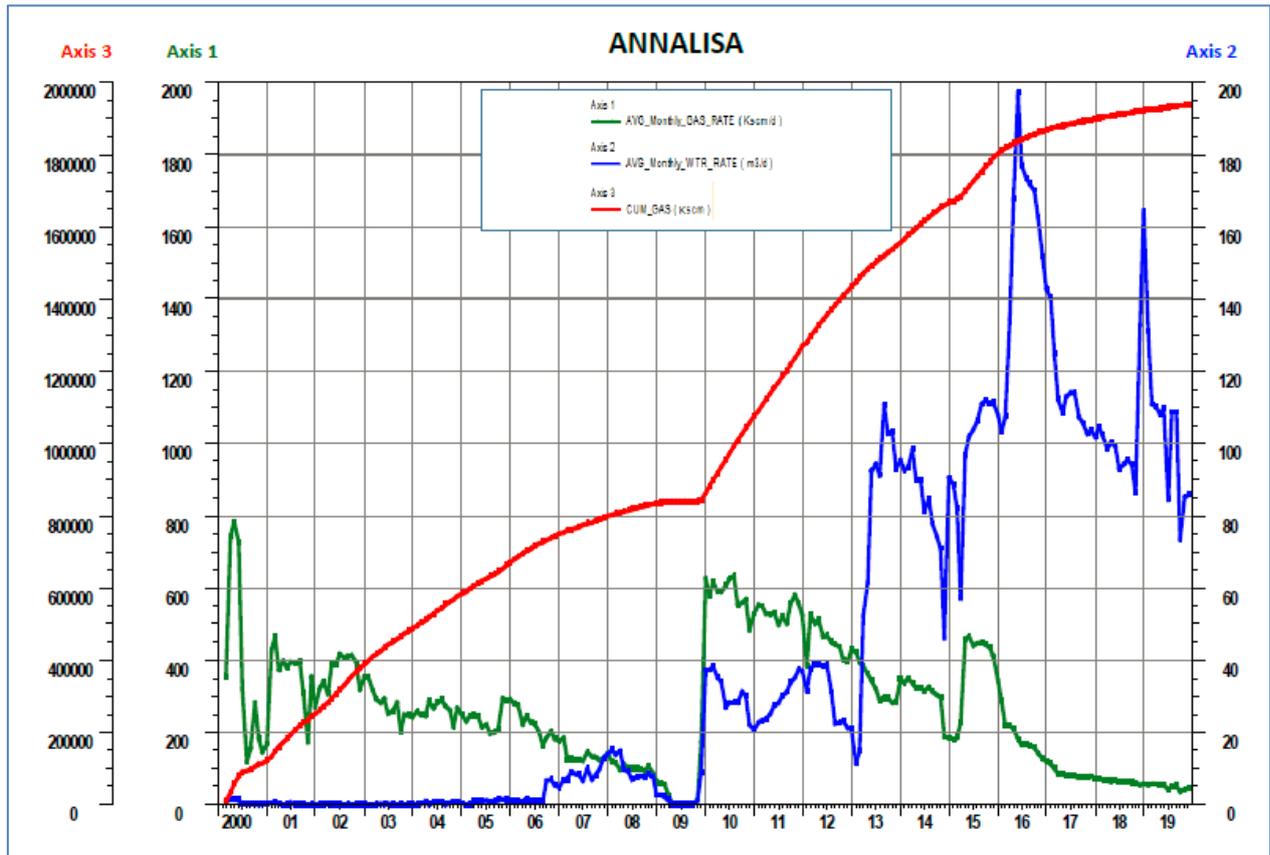


Figura 3 – Campo di Annalisa: produzione storica

CAMPO DI ANNALISA					
ANNO	Produzione annuale (MSm ³)		Produzione cumulativa (MSm ³)		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2000	116	116	116	116	6%
2001	128	128	245	245	13%
2002	133	133	378	378	19%
2003	103	103	481	481	25%
2004	96	96	576	576	30%
2005	86	86	663	663	34%
2006	82	82	744	744	38%
2007	50	50	794	794	41%
2008	39	39	833	833	43%
2009	12	12	845	845	43%
2010	214	214	1058	1058	54%
2011	195	195	1254	1254	64%
2012	168	168	1422	1422	73%
2013	124	125	1546	1547	79%
2014	114	111	1660	1658	85%
2015	132	132	1792	1790	92%
2016	73	74	1865	1864	96%
2017	32	32	1897	1896	97%
2018	24	24	1920	1920	98%
2019	18	20	1939	1940	99%
2020		9		1948	
2021		4		1953	
2022					
2023					
2024					

Figura 4 - Campo di Annalisa: produzioni reali e da modello *Eclipse* 2018

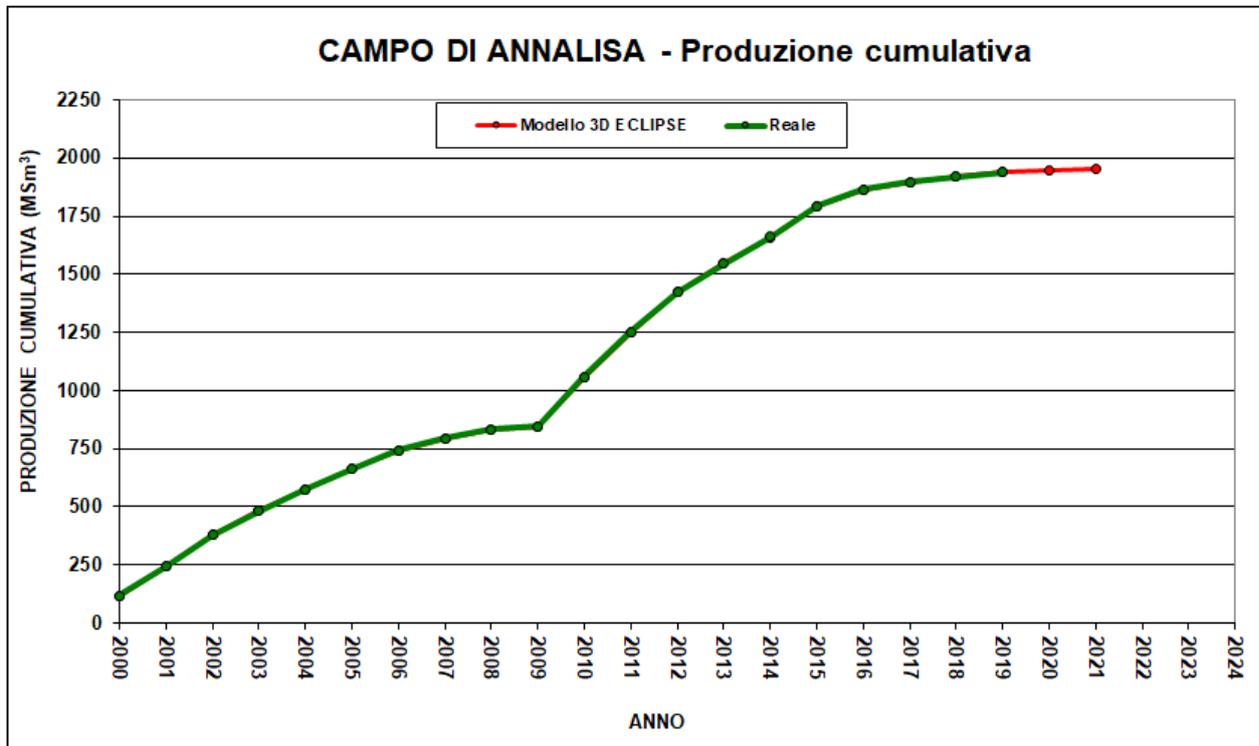


Figura 5 - Campo di Annalisa: grafico di produzione reale e da modello *Eclipse* 2018

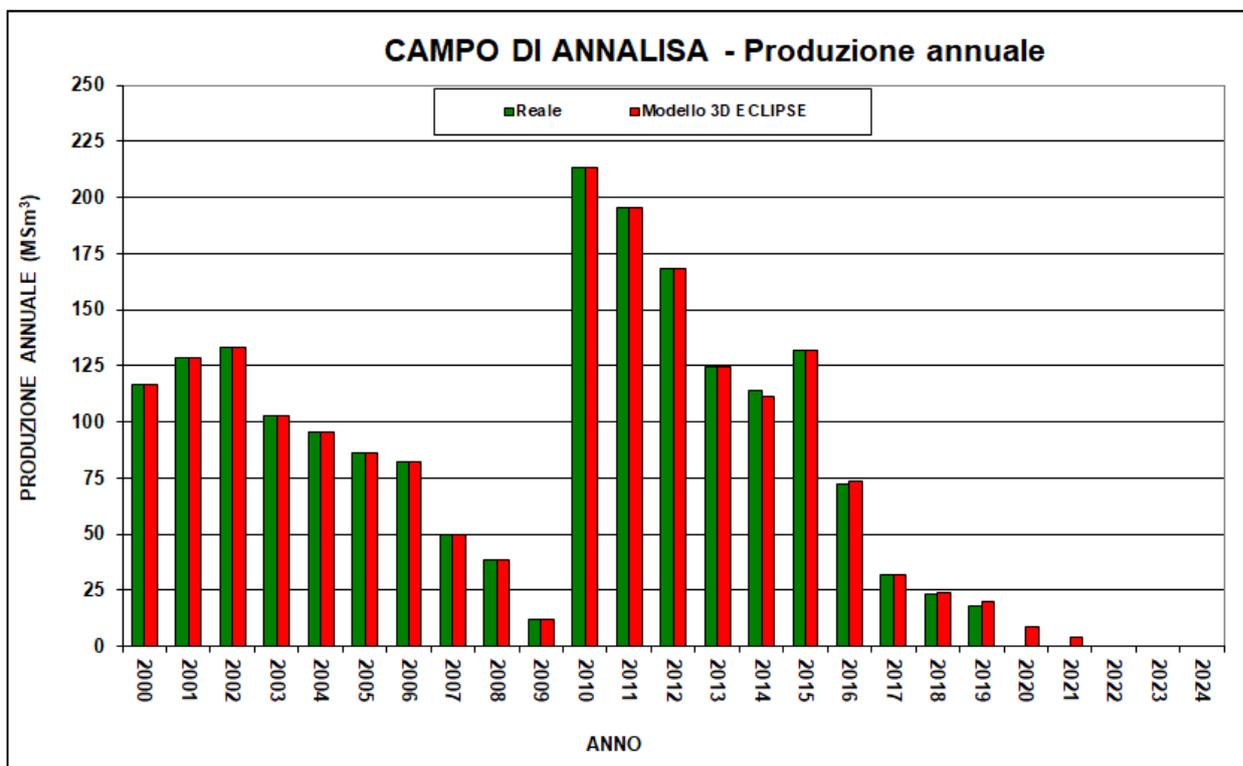


Figura 6 - Campo di Annalisa: produzione (annuale) reale e da modello *Eclipse* 2018

CAMPO DI ANNALISA															
Data	Livelli PL3-B10+B12			Livelli PL3-B10+B11			Livelli PL3-G+H			Livelli PL3-D4+D4b			Livelli PL3-D4+D4b+D5a+D5b		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
20/07/2003	223		4 C	220		5 C				253		3 L			
23/10/2006	199		4 C	192		5 C				214		3 L			
22/09/2010							285		6 L						
24/10/2012							265		6 L						
21/11/2014													231		3 L
17/10/2015													190		3 L
29/09/2016													152		3 L
02/10/2017													139		3 L
15/11/2018													142		3 L
26/12/2019													227		3 L

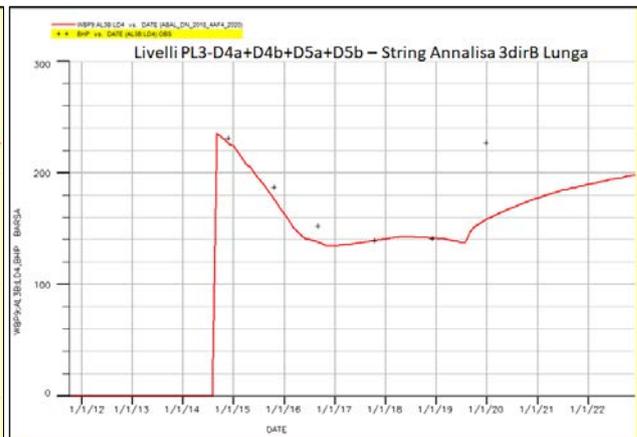
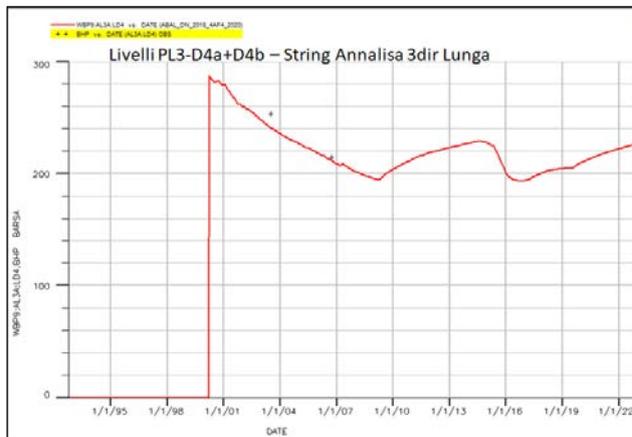
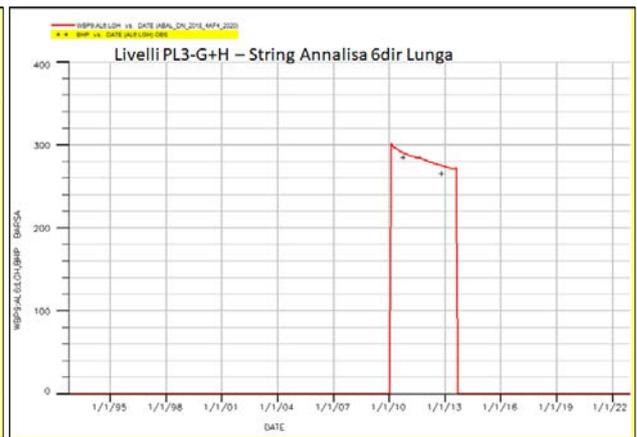
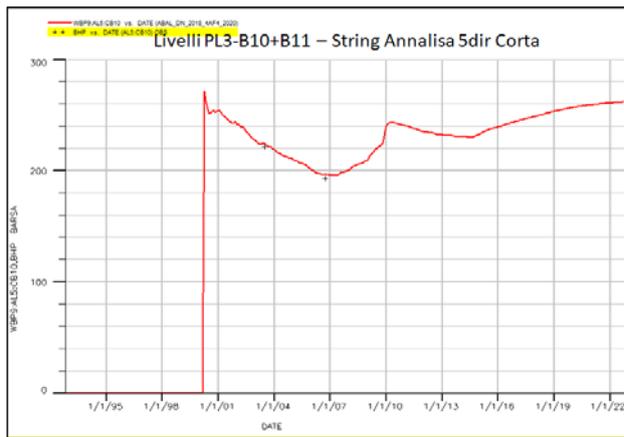


Figura 7 - Campo di Annalisa: confronto fra i dati misurati di pressione statica e i profili di pressione calcolati (modello *Eclipse* - 2018)

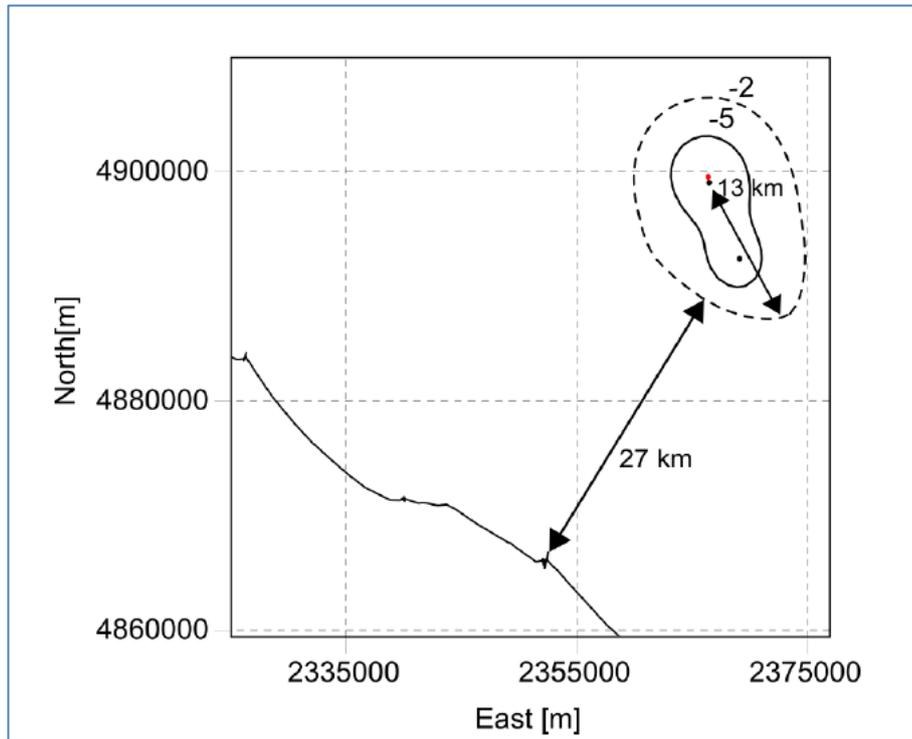


Figura 8 - Campo di Annalisa: mappa di subsidenza al 2027 (fine prod.) per lo scenario di riferimento (middle)

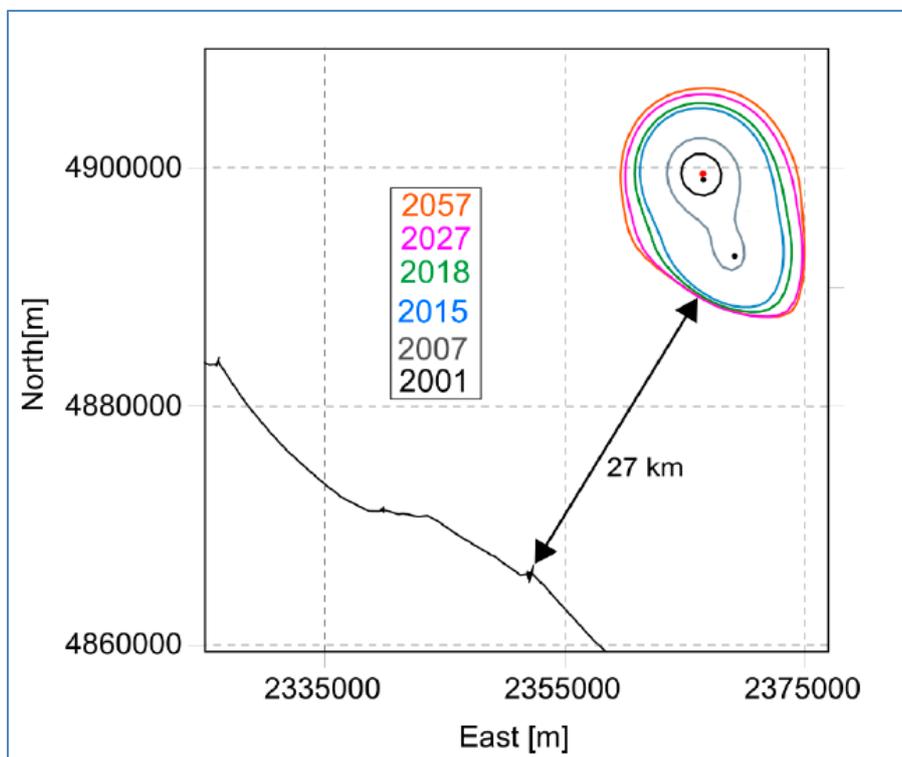


Figura 9 - Campo di Annalisa: evoluzione nel tempo della linea di iso-subsidenza di 2 cm per lo scenario di riferimento (middle)

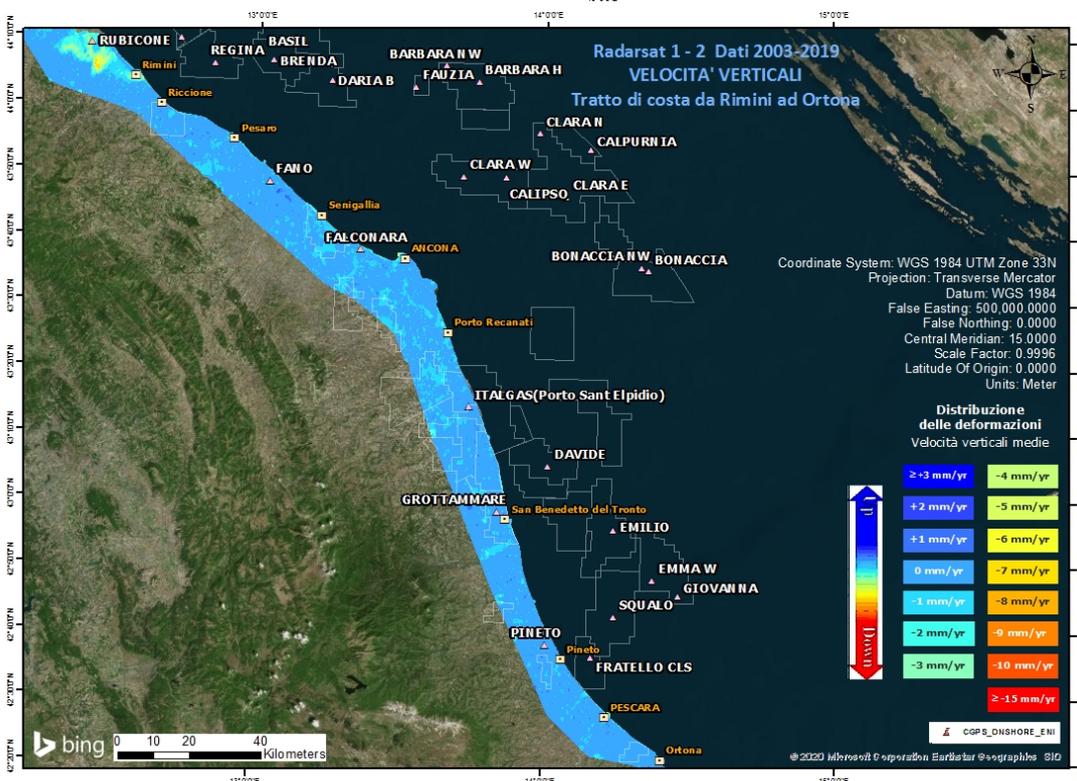
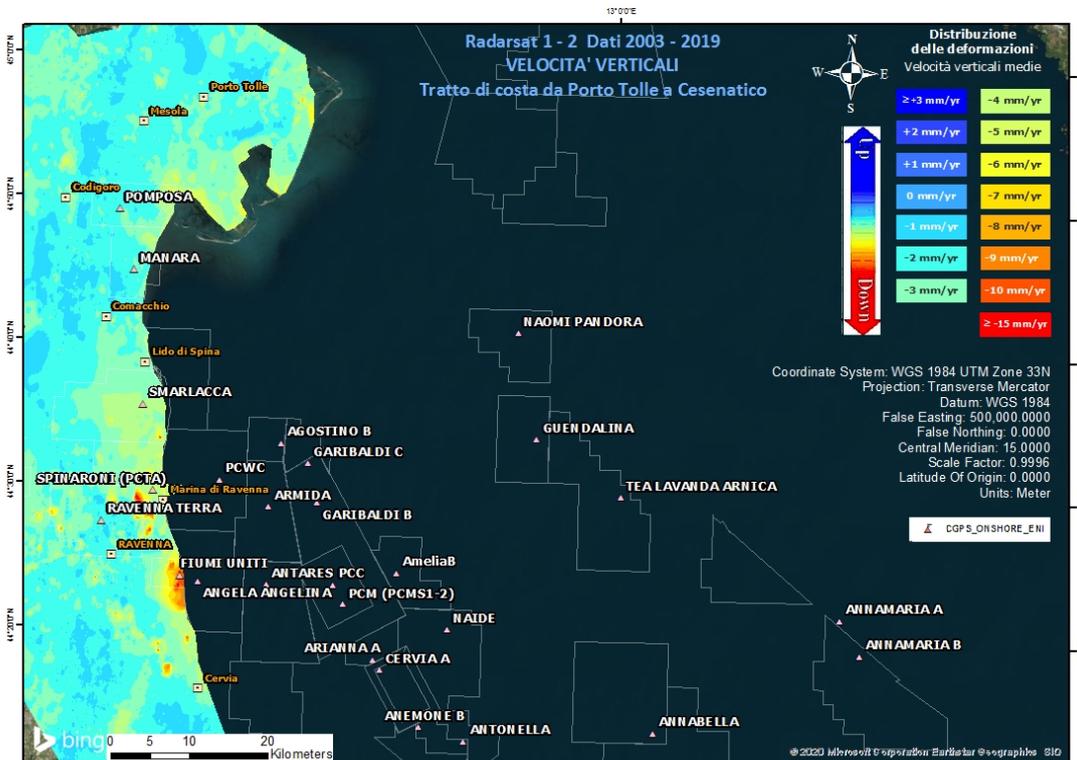


Figura 10 - Campo di Annalisa: analisi dei dati SAR dal 2003 al 2019

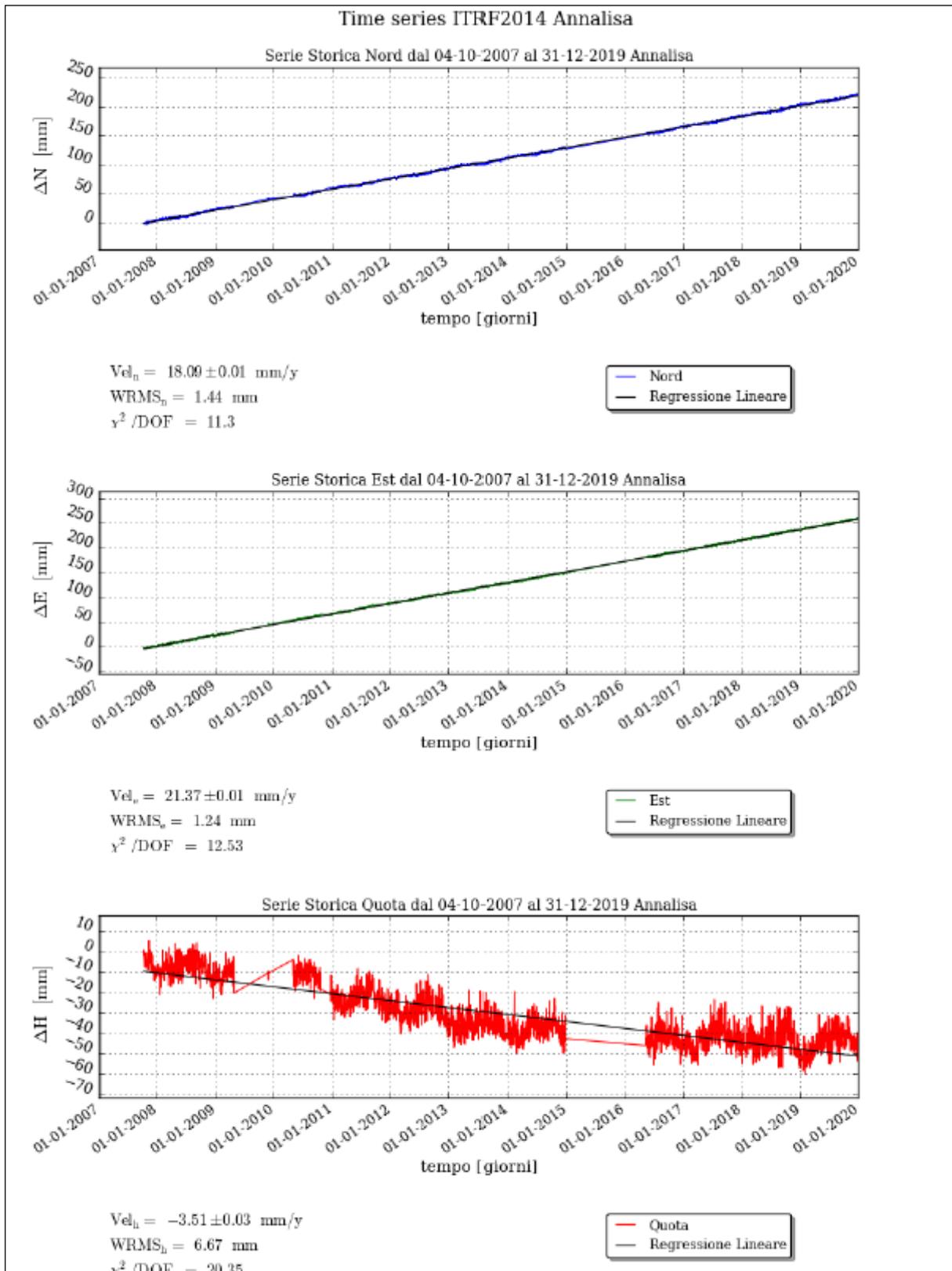
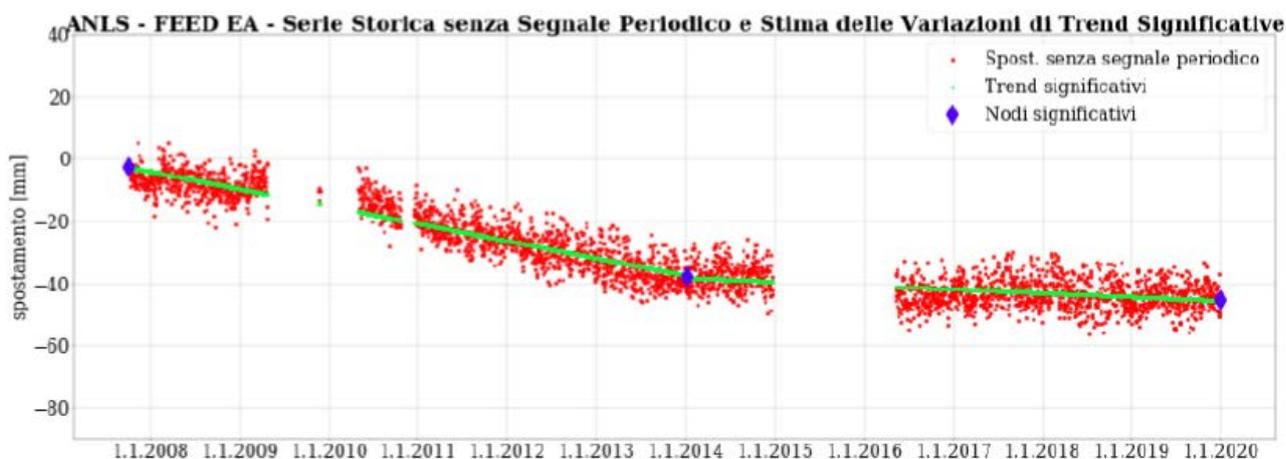


Figura 11 - Campo di Annalisa: serie storiche di misure CGPS



FEED PP - MODELLO EMPIRICO			
Periodo		velocità	sigma
-		[mm/y]	[mm/y]
04/10/2007	- 04/01/2014	-5.63	0.05
04/01/2014	- 31/12/2019	-1.32	0.10

Figura 12 - Campo di Annalisa: analisi della serie storica di misure CGPS

CAMPO	Inizio produzione	Fine produzione (rif. ultimo profilo di produzione - Mod. Eclipse)	Riserve prodotte @ dic.2019	Max subsidenza prevista (scenario di riferimento)	Ultimo aggiornamento studio	CGPS		
						inizio registrazione	vel.media (mm/a) @ dic.2019	anni di registrazione
ANEMONE	1978	2018	100%	-49cm al 2049	2019	2007	-4,6	12
ANNALISA	2000	2021	99%	-9cm al 2027	2018	2007	-3,5	12
ANNAMARIA	2009	2030	79%	-163cm al 2051	2017	2005	-100,9	14
BARBARA NW	1999	2035	79%	-44cm al 2029	2017	2008	-26,9	11
BONACCIA	1999	2026	95%	-233cm al 2073	2018	2008	-68,1	11
BONACCIA NW	2015					2015	-43,5	4
CALIPSO	2002	2025	92%	-84cm al 2026	2017	2007	-13,7	12
CALPURNIA	2000	2022	99%	-14cm al 2015	2017	2008	-0,4	11
CLARA EST	2000	2038	74%	-81cm al 2038	2017	2007	-14,4	12
CLARA NW	2016					2016	-24,8	3
CLARA NORD	2000	2021	99%	-34cm al 2016	2017	2007	-17,8	12
ELETTRA	2014	2029	69%	-11cm al 2061	2017	2014	-17,8	5
FAUZIA	2014	2023	82%	-5cm al 2068	2017	2014	-4,1	5
GUENDALINA	2011	2022	89%	-8,5cm al 2055	2018	2011	-6,3	8
NAIDE	2005	2020	100%	-8cm al 2020	2017	2005	-3,6	14
NAOMI - PANDORA	2001	2037	55%	-2,6cm al 2049	2017	2002	-2,1	17
PCME (PCMS)	2001	2014	100%	-5,4cm al 2020	2016	2005	-3,9	14
REGINA	1997	2030	99%	-130cm al 2061	2017	2007	-23	12
TEA - LAVANDA - ARNICA	2007	2023	97%	-5cm al 2023	2019	2007	-4,1	12

Figura 13 - Velocità medie di "subsidenza totale" calcolate per tutta la serie storica di misure CGPS vs. modelli

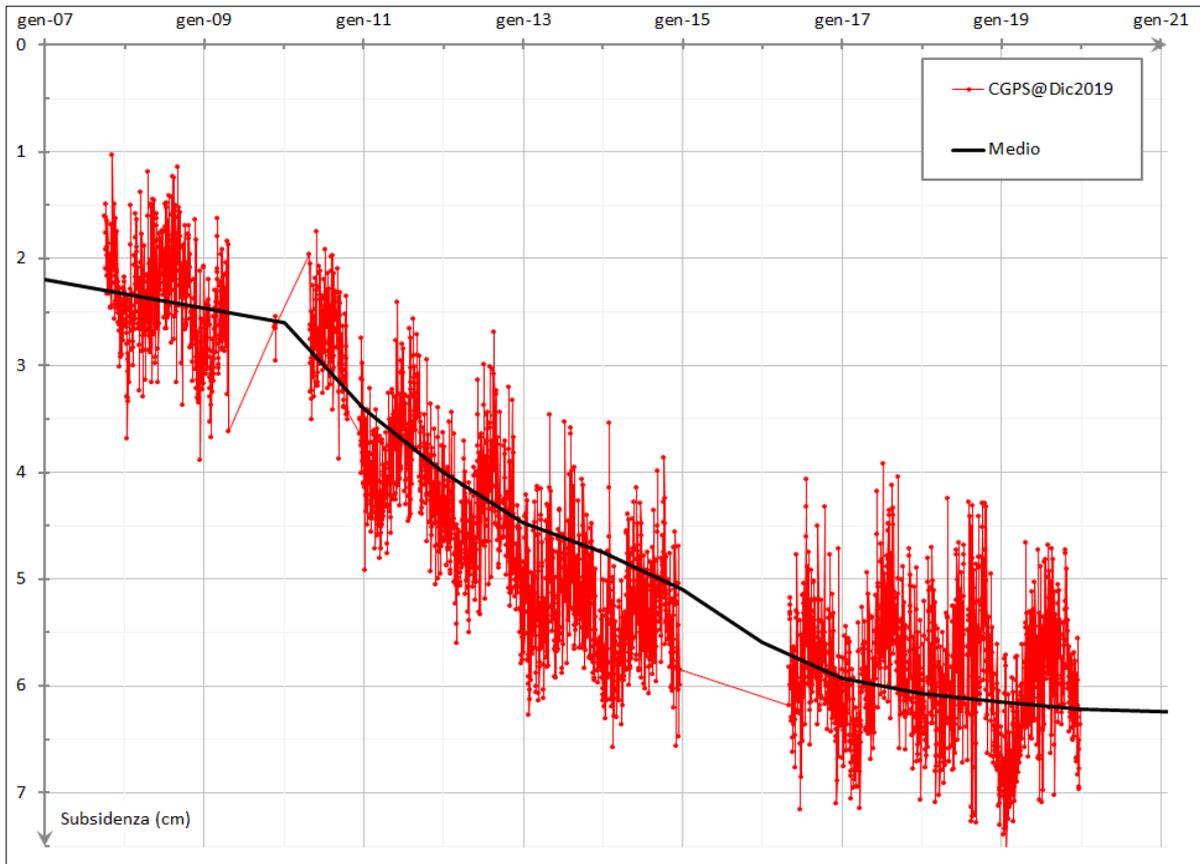


Figura 12 – Campo di Annalisa: misure CGPS vs. previsioni di subsidenza da modello geomeccanico (in corrispondenza della piattaforma)

campo ANNALISA (Eni 100%)			
DATI DI CAMPO			
UBICAZIONE	offshore: a circa 34 km a NE di Pesaro		
PROFONDITA' FONDALE	55 m		
LITOLOGIA	sabbie fini		
FORMAZIONE RESERVOIR	Porto Garibaldi		
ZONA MINERARIA	PL3		
PROFONDITA' RESERVOIR	2300-3400 (IVDSS)		
TIPO DI PIATTAFORMA	BEAF		
CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	blanda anticlinale		
CONCESSIONE	A.C32.AG	D.M @ gen '99	@ 31 dic 2019
DATA SCADENZA CONCESSIONE	30/11/2024		
N. POZZI		3	9
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm ³)		1659	1953
START UP PRODUZIONE	mar-00		
FINE PRODUZIONE PREVISTA		2007	2021
GAS PRODOTTO (MSm ³)			1939
% RISERVE PRODOTTE			99%
AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (ANNALISA)			
DECRETO VIA n. 3547 del 7 gennaio 1999			
STUDIO DI GIACIMENTO	MOD. STATICO E DINAMICO ECLIPSE 3D "MARZO '97"		ULTIMO AGGIORNAMENTO
RISERVE (MSm ³)	1659		1953
MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA CILINDRICO		ELEMENTI FINITI (F E M) @ 12/2018
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	3,2 (dopo 10 anni)		9 @ 2027 (scenari di riferimento-Middle)
MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	#		27 @ 2027 (per tutti gli scenari considerati)
N.B.: IL MODELLO DI SUBSIDENZA E' STATO AGGIORNATO COERENTEMENTE ALLA REVISIONE DEL MODELLO DINAMICO DI CAMPO. I RISULTATI DELLO STUDIO TENGONO CONTO ANCHE DELL'INTERFERENZA CON IL VICINO CAMPO DI ANNABELLA.			
STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI			
LIVELLAZIONI	ACQUISITI DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA - PESARO-PORTO S. GIORGIO) ANTISTANTE IL CAMPO NEL PERIODO 1998-2009, 2011, 2014 e 2017. I DATI FINO AL 2017 SONO STATI CERTIFICATI DALL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA - DICAM. IL PROSSIMO RILEVO DI ENTRAMBE LE RETI DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA E PESARO-PORTO S. GIORGIO) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2020 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE I GIACIMENTO		
MARKERS	NON PRESCRITTI		
CGPS	NEL CORSO DEL 2007 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 @ DIC. 2019 DEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE LA PIATTAFORMA PER ANALISI INTEGRATA DEI DATI ALTIMETRICI E PER L'INSERIMENTO DELLA P.M.A ANNALISA. NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO		

Figura 15 – Campo di Annalisa: scheda di sintesi

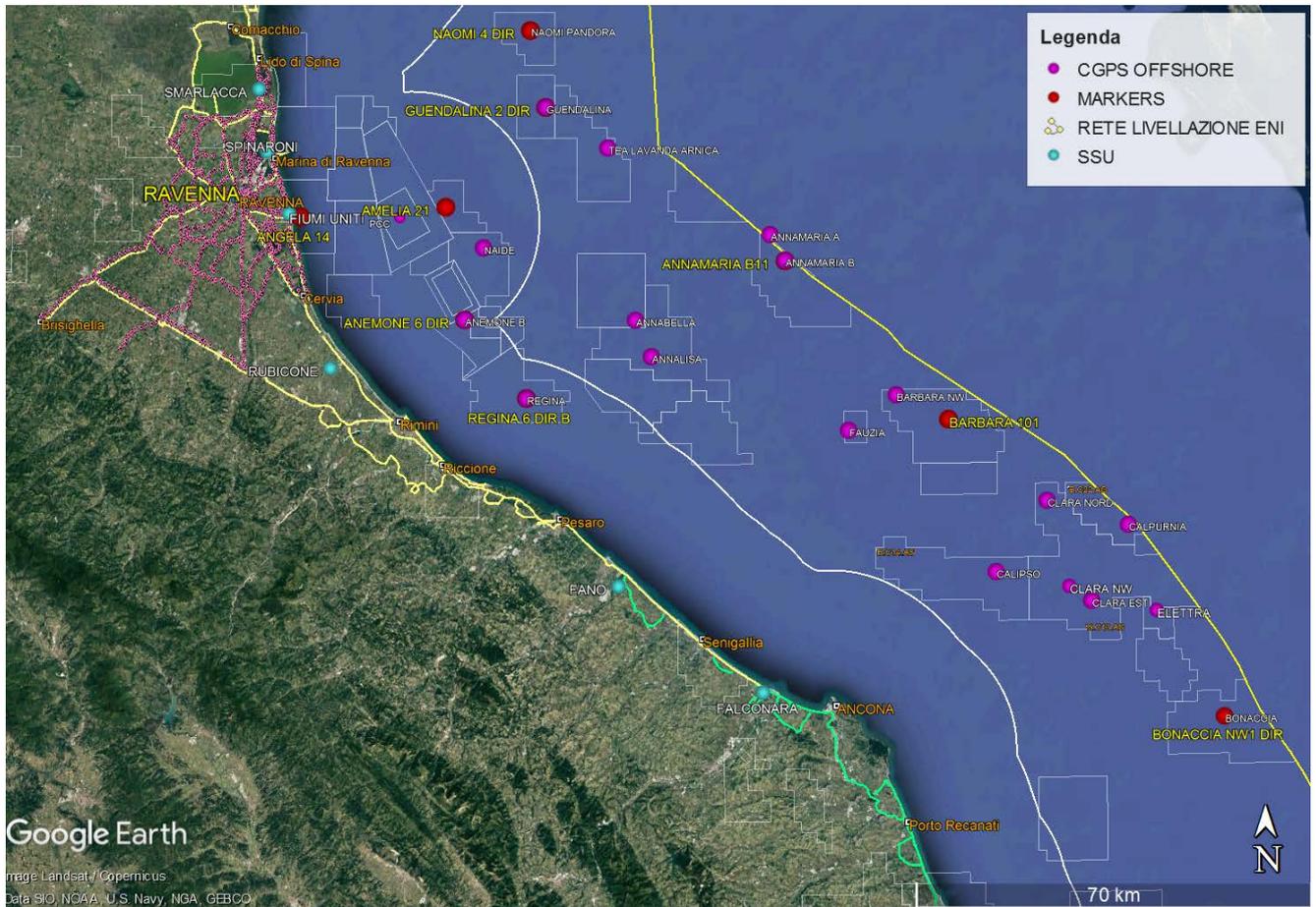


Figura 13 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

Appendice A: aggiornamento dati SAR 2003-2019

Le elaborazioni dei dati InSAR per il periodo 2003 – 2019 sono state effettuate con lo stesso algoritmo utilizzato per le analisi dei dati dell’anno precedente.

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

Analisi dati InSAR 2003 – 2019

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

Da un’analisi delle differenze tra le velocità medie annuali misurate dai CGPS presenti nell’area di interesse e quelle dei PS (Permanent Scatterer) presenti in un intorno di circa 300 m centrato nel corrispondente CGPS (Tab. 1), si è scelto di 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 Tab. 1 vengono presentate: le velocità verticali dei CGPS (V_{vert_CGPS}) e il corrispondente scarto quadratico (medio sqm_CGPS); 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); la differenza tra le velocità CGPS e SAR e il relativo scarto quadratico medio. Tutte le misure sono in millimetri/anno.

	CGPS	V_{vert_CGPS} [mm/yr]	sqm_CGPS [mm/yr]	$Media_V_SAR$ [mm/yr]	sqm_SAR [mm/yr]	$Diff_VEL$ $CGPS-SAR$ [mm/yr]	sqm_diff [mm/yr]
RAVENNA	SMARLACCA	-6,16	0,01	-3,39	1,21	-2,77	1,22
	SPINARONI	-7,80	0,01	-3,97	0,91	-3,83	0,92
	FIUMI UNITI	-13,73	0,02	-11,19	3,35	-2,54	3,37
FANO-AN- CONA	RUBICONE	-2,64	0,03	-2,93	1,81	0,29	1,84
	FANO	0,1	0,02	0,13	0,82	-0,03	0,84
	FALCONARA	-0,31	0,02	-0,22	1,50	-0,09	1,52
	ITALGAS	-0,06	0,02	0,46	0,72	-0,52	0,74

Tab. 1. Taratura dato InSAR con misure CGPS

La stazione CGPS di Manara è stata dismessa, pertanto non rientra nei calcoli per la taratura del dato InSAR 2019.

Come si può vedere in Tab. 1, le differenze di velocità tra dati CGPS e le velocità medie dei dati InSAR rappresentati nella penultima colonna hanno andamenti diversi nell'intera area, con differenze che si aggirano intorno 3 mm/anno di media per i primi 3 CGPS, mentre per gli ultimi 4 CGPS si notano differenze massime intorno a 0,5 mm/anno. Di conseguenza si è scelto di mosaicare i diversi data-set in due macro-aree (Fig. 1):

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

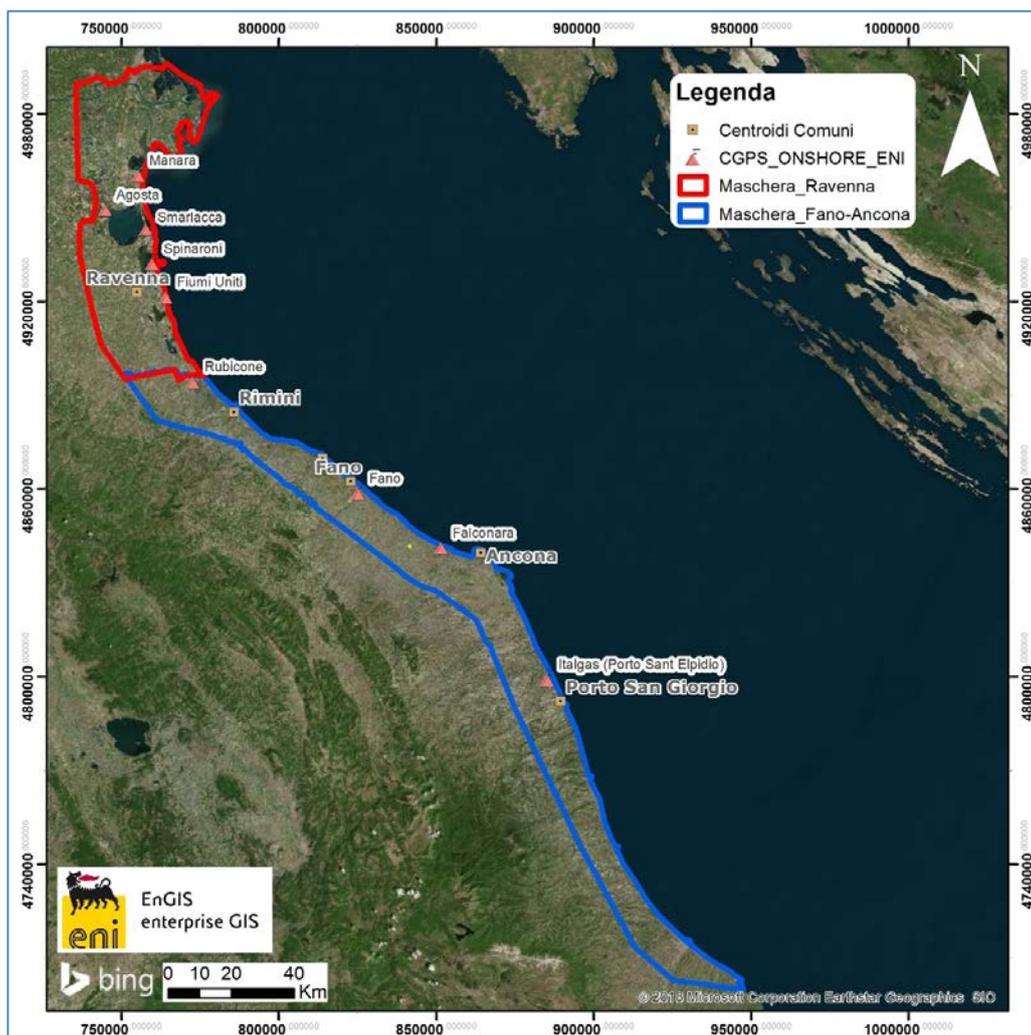


Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 28 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

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

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

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

Si è realizzata quindi la calibrazione dei dati SAR partendo dall'area più a nord (area Ravennate), utilizzando i dati di velocità della stazione di Smarlacca; i dati delle stazioni di Fiumi Uniti e di Spinaroni sono stati utilizzati esclusivamente come valore di verifica dei risultati ottenuti con la calibrazione.

La determinazione delle velocità verticali con dati CGPS è stata calcolata sulla serie storica totale del dato, che per quanto riguarda le postazioni di Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti ha un inizio di acquisizione leggermente anteriore rispetto a quello dei dati SAR. Queste velocità così calcolate hanno una differenza sotto il decimo di millimetro/anno, rispetto a quelle calcolate sullo stesso periodo di acquisizione, da considerarsi pertanto trascurabile ai fini di questo studio.

L'analisi dei dati SAR non calibrati, relativi all'area Ravennate nell'intorno della stazione CGPS di Smarlacca per un raggio di 300 metri, ha evidenziato una velocità media pari a $-3,39 \pm 1,21$ mm/anno. Considerando la velocità determinata con il CGPS di $-6,16 \pm 0,01$ mm/anno, si rileva una differenza di $-2,77 \pm 1,22$ mm/anno. Per questo motivo ai valori di velocità media della componente verticale determinata con il monitoraggio SAR, è stato aggiunto il valore di $-2,77 \pm 1,22$ 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.

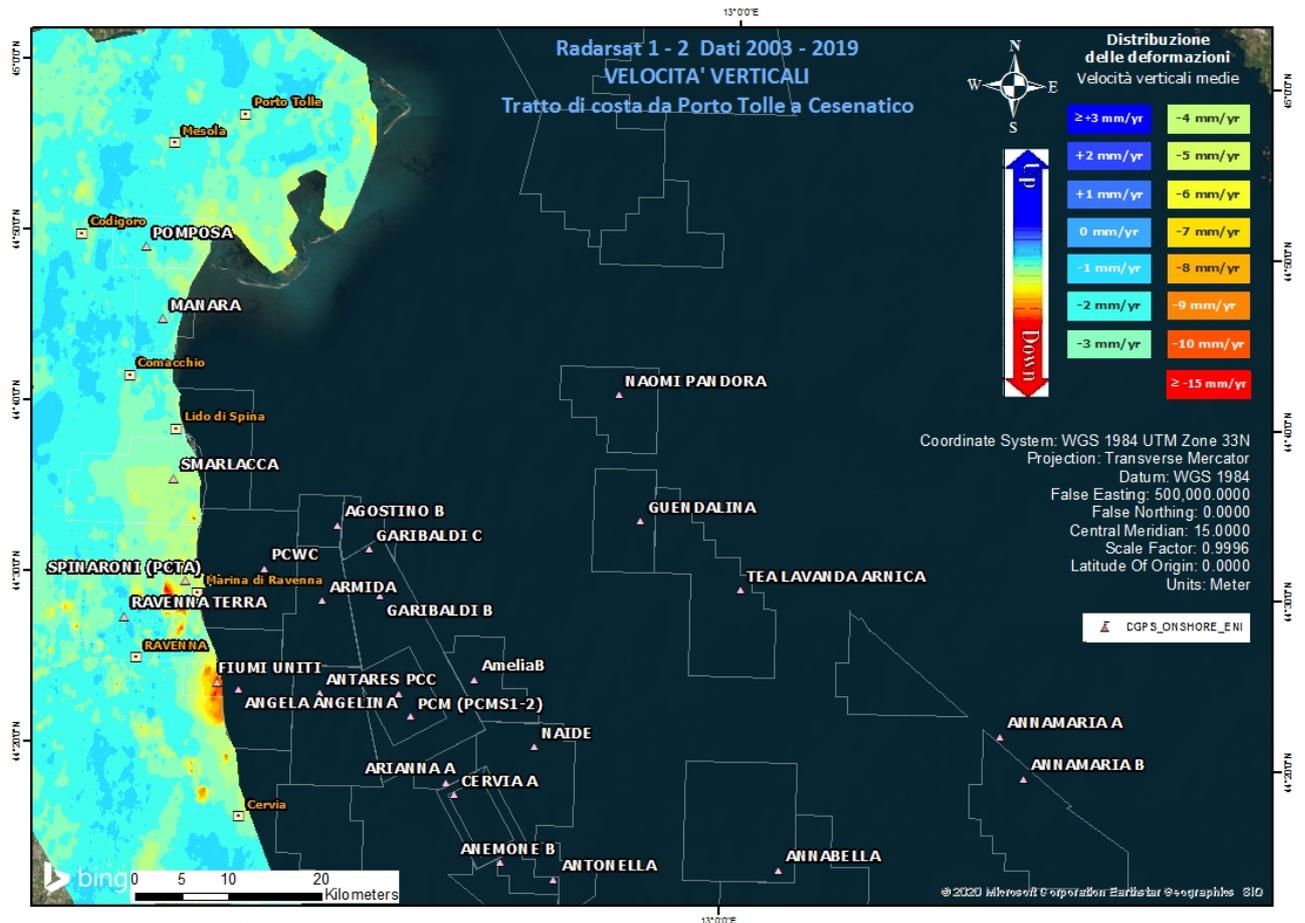


Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

Come già effettuato nel 2018, l'altro data set (Area di Fano-Ancona, vedi Fig. 1), verrà analizzato separatamente dall'area Ravennate in quanto è stata rilevata una coerenza delle misure SAR con le misure delle stazioni CGPS interne a ciascun area.

Analizzando l'area SAR di Fano-Ancona, si evidenzia come le velocità dei CGPS di Rubicone, Fano, Falconara e Italgas siano allineate con le velocità misurate dal SAR, con uno scarto inferiore al mezzo millimetro (Tab. 1). Si fa presente che per il confronto viene considerato un intorno di circa 300 m, e la velocità dei dati SAR è una media delle velocità verticali dei Permanent Scatterer (PS) che ricadono all'interno di questo intorno. Considerata l'esiguità della differenza tra il valore misurato dal CGPS di FANO e quella del dato SAR ($-0,03 \pm 0,84$ mm/anno), non si è ritenuto necessario eseguire una calibrazione. Come è possibile notare in Tab.1 per i vari CGPS presenti nell'area, il confronto mostra delle differenze rispetto ai dati SAR puri di circa 0,5 mm/anno in media.

In Fig. 3 è visualizzata l'interpolazione dei dati mosaicati, per l'area Fano-Ancona nel tratto di costa da Rimini ad Ortona. L'interpolatore utilizzato è l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

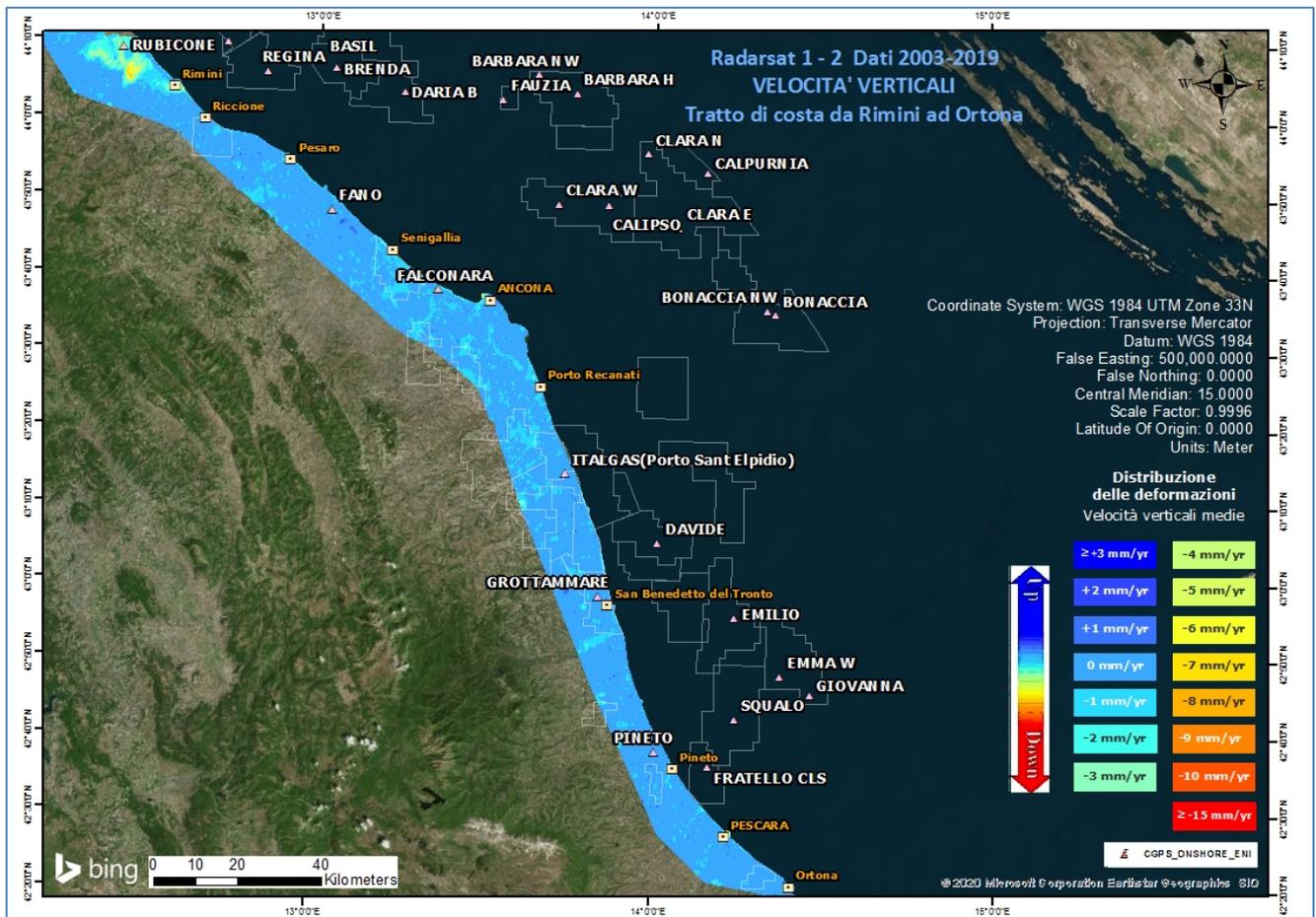


Fig. 3 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGis Spatial Analyst®. Tratto di costa da Rimini ad Ortona.

Confronto dati SAR 2003 – 2018 vs 2003 – 2019

Il processo di sottrazione tra IDW 2019 e IDW 2018 permette di evidenziare graficamente eventuali differenze nell'andamento medio delle velocità verticali.

Come mostrato in Fig. 4 e Fig. 5 la sottrazione tra i due IDW non mostra differenze importanti, ed in ogni caso rientranti all'interno della deviazione standard dichiarata. Per quanto riguarda punti spot che mostrano differenze più marcate, da un'attenta analisi del dato si è riscontrato come si tratti di aree prevalentemente industriali o di recente edificazione, o zone in cui i dati

SAR sono assenti o molto esigui, per cui l'interpolazione IDW ha generato un dato non attendibile per un anno o il successivo, da cui derivano differenze non realistiche. Si sta studiando la possibilità di intervenire sul tool di interpolazione per evitare le zone di ambiguità in caso di aree con mancanza o esiguità di dati.

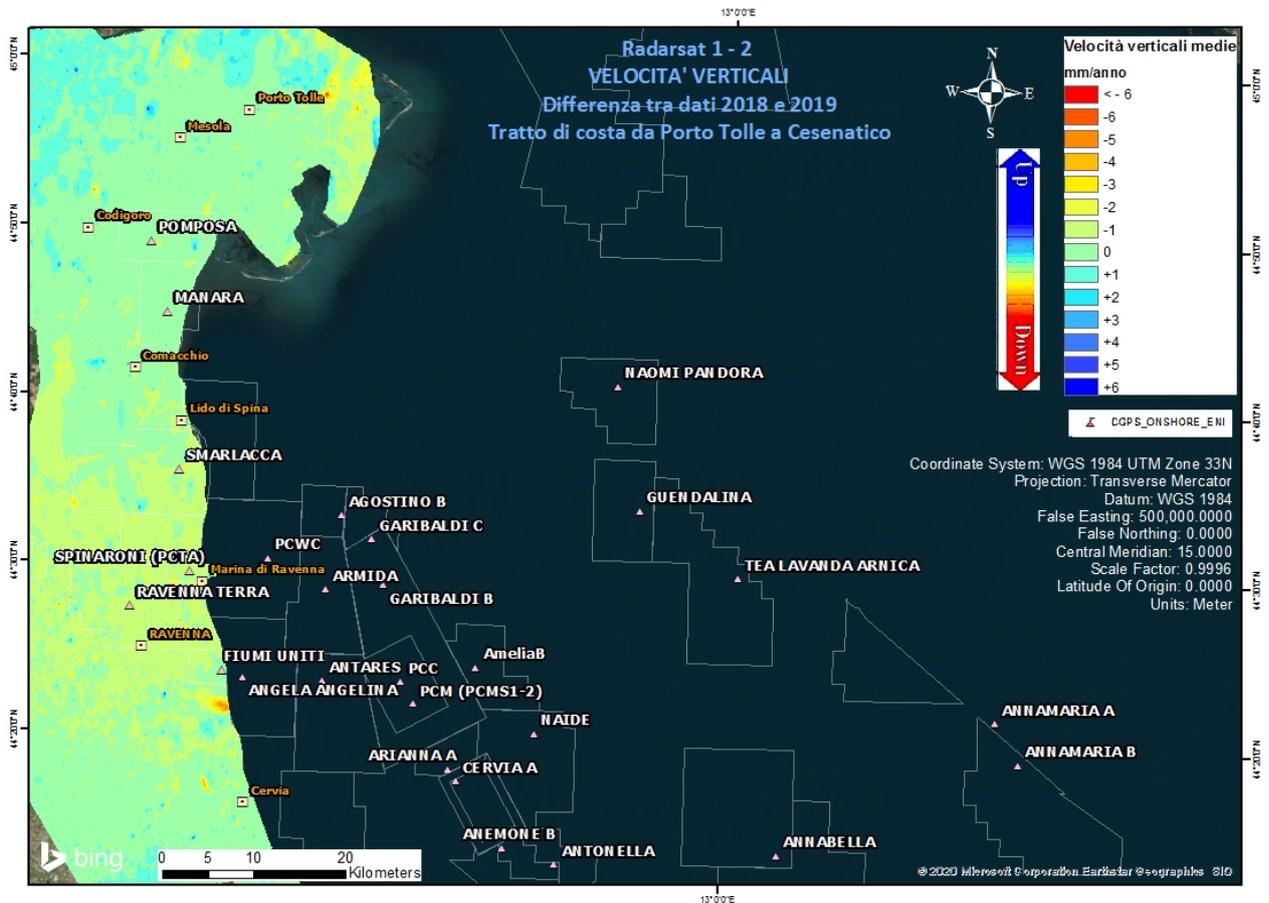


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

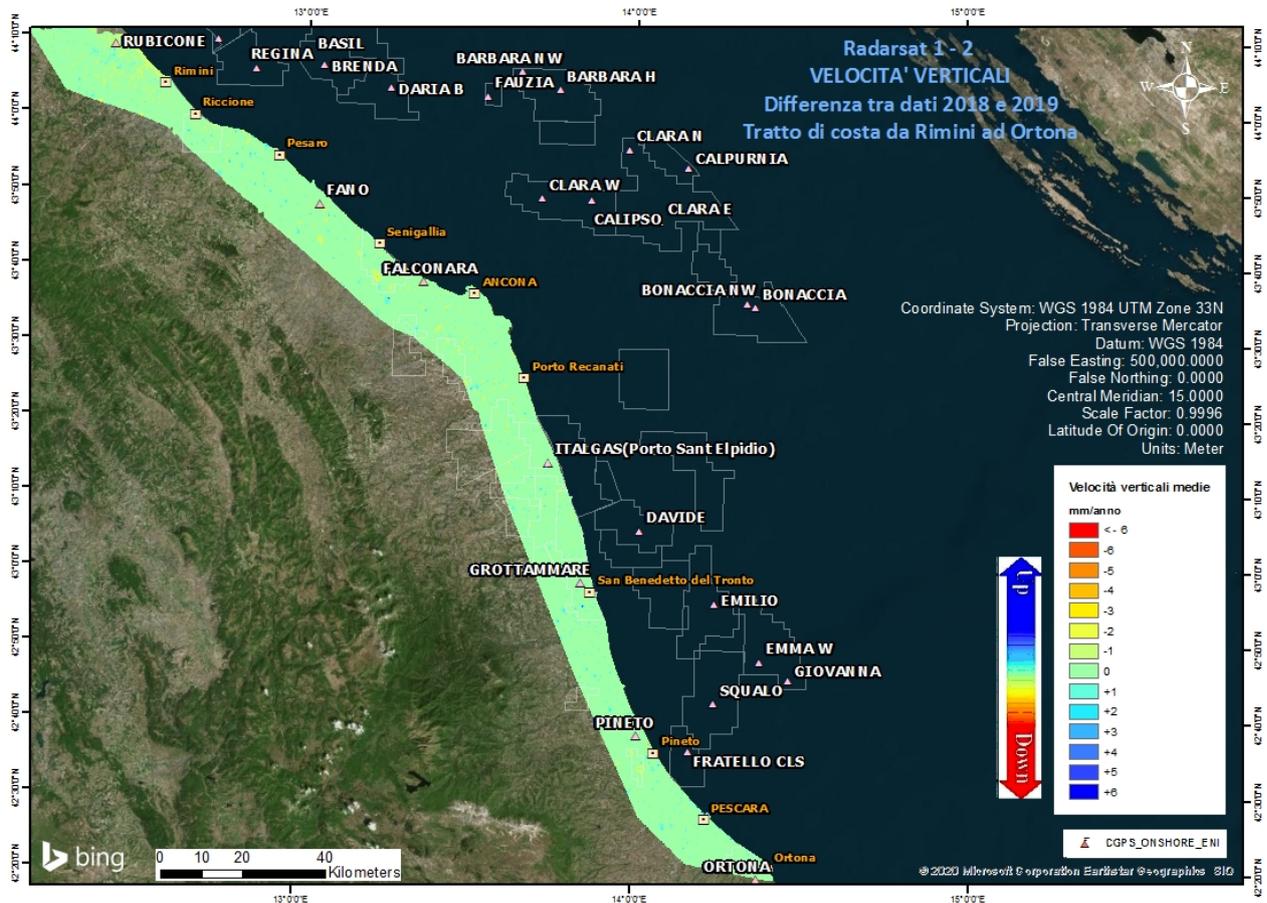


Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

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

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

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.

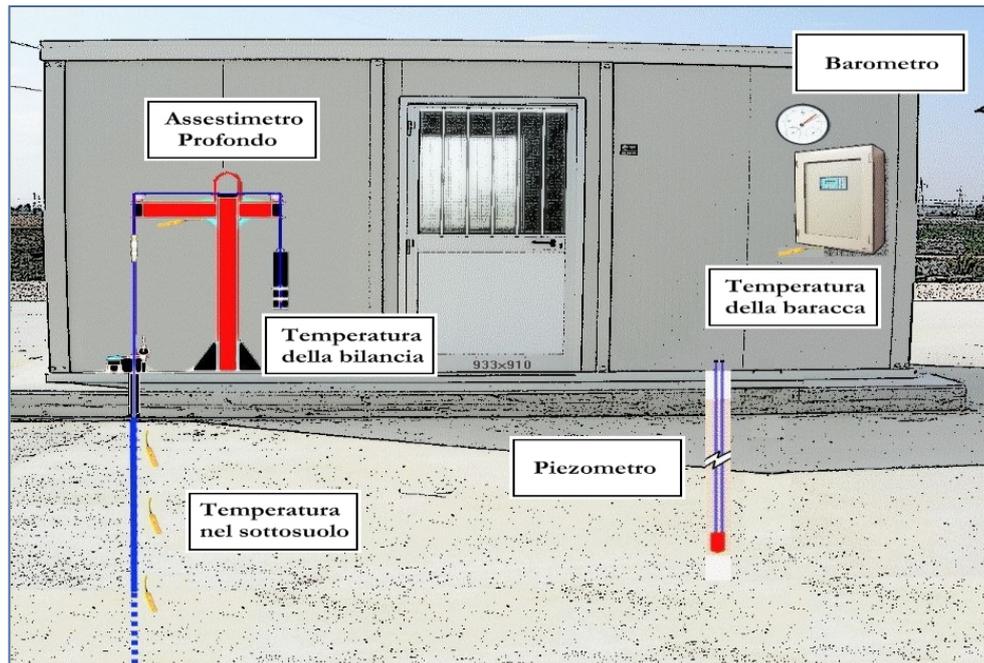


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

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

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 36 - of 58</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 6m s.l.m., a circa 3.5Km a sud-ovest dell'abitato di Gatteo a Mare (FC), lungo il corso della sponda nord del fiume Rubicone ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Rubicone".

Strumentazione:

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

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

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

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

Le misure sono state fatte con alimentazione a batteria fino al 22 maggio 2009. Da tale data fino al 14 luglio 2009 non si hanno registrazioni a causa dei lavori di messa a norma della baracca secondo la normativa ATEX. Dal 14 luglio è ripreso il normale ciclo di funzionamento della stazione. Nel 2011 c'è da segnalare un blackout di dati per mancanza di alimentazione dell'apparecchiatura tra il 29 settembre e il 14 ottobre. A dicembre 2017 è stata fatta manutenzione straordinaria dei tre piezometri con spurgo e lavaggio dei piezometri della stazione. Per i due piezometri ubicati sulla stessa verticale - quello superficiale e l'intermedio (70 e 146 m da p.c.) - il lavaggio con acqua in pressione ha consentito di escludere che vi fosse comunicazione idraulica fra gli stessi. Le celle e i tubi di tutti e tre i piezometri (tipo Casagrande) sono risultati perfettamente integri: le letture manuali, effettuate subito dopo lo spurgo e durante la fase di ricarica della falda, sono risultate attendibili presentando per tutti i piezometri un dislivello massimo tra i due tubi compreso tra 0 e 1 cm. Tutti i piezometri revisionati sono

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 37 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

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

Per tutto il 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in giugno, agosto e dicembre 2019.

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati (Figura 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'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero").

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

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

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

Nella stessa area della stazione assestimetrica è installata anche una postazione CGPS.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 38 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

Ciò ha permesso un confronto fra la velocità media d'abbassamento totale del suolo rilevata dai dati CGPS con quella di compattazione del terreno ottenuta dalle misure assestometriche (Figura 9B). Tali velocità, che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, sono risultate in sostanziale accordo, soprattutto a partire dal 2012. La velocità media annua, calcolata con regressione lineare, della serie storica di misure CGPS è di -2.64 mm/a, abbastanza prossima a quella ottenuta, in modo analogo, dalle misure assestometriche, che è pari a -2.77 mm/a (Figure 6B e 7B)

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

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

Nel caso di Rubicone si notano delle effervescenze gassose nei tubi piezometrici causate dalla presenza di piccole quantità di gas nell'acqua; il fenomeno era già stato osservato durante le operazioni di messa in opera dell'attrezzatura. Queste piccole effervescenze causano differenze di misura dei livelli d'acqua nei due tubi del piezometro profondo (pozzo CGRP-1).

Nel mese di ottobre 2012 si sono puliti e controllati i 3 piezometri verificando il loro buon funzionamento. Un nuovo spurgo è stato fatto a fine settembre 2014 e si può osservare dai grafici dei piezometri, soprattutto per la curva relativa a quello superficiale, che a partire da tale data si è modificata la dinamica dell'escursione del livello dell'acqua.

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

Ad oggi (dicembre 2019) tutti i piezometri e relativi trasduttori, risultano integri ed in grado di fornire dati attendibili.

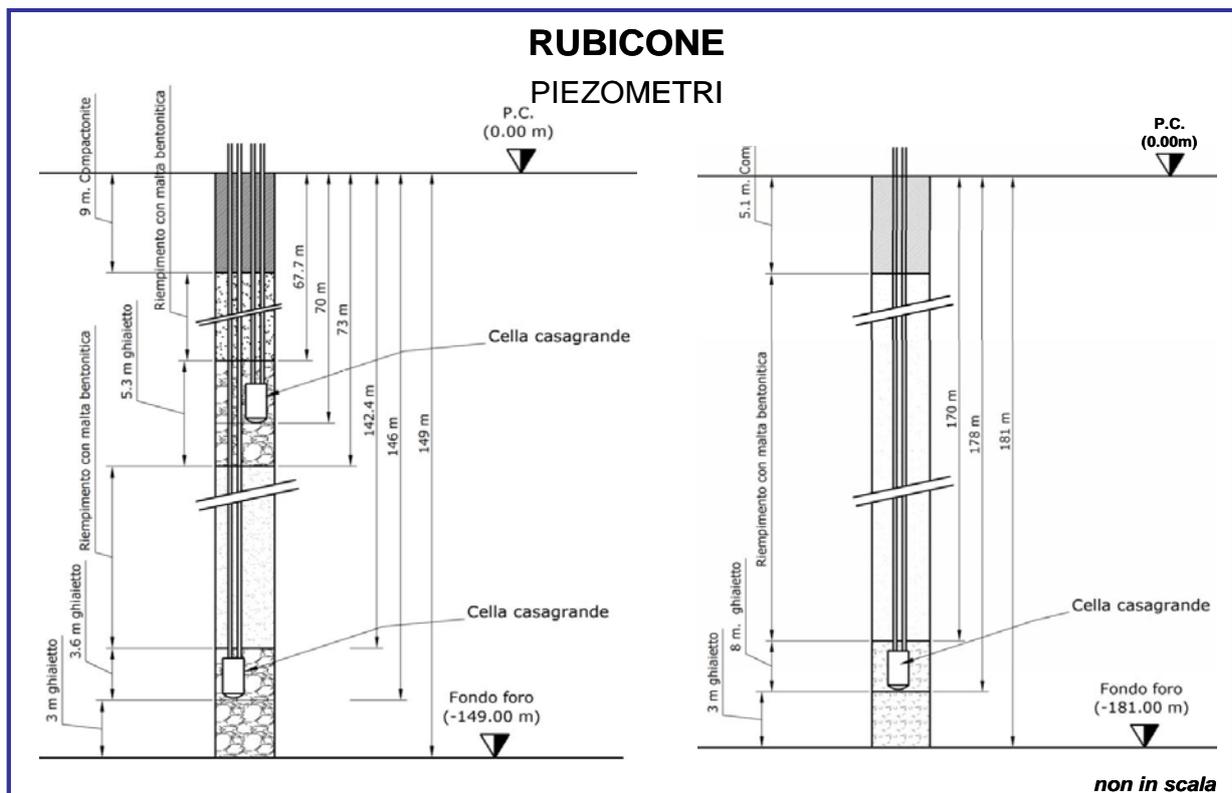


Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Rubicone

RUBICONE ASSESTIMETRO

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

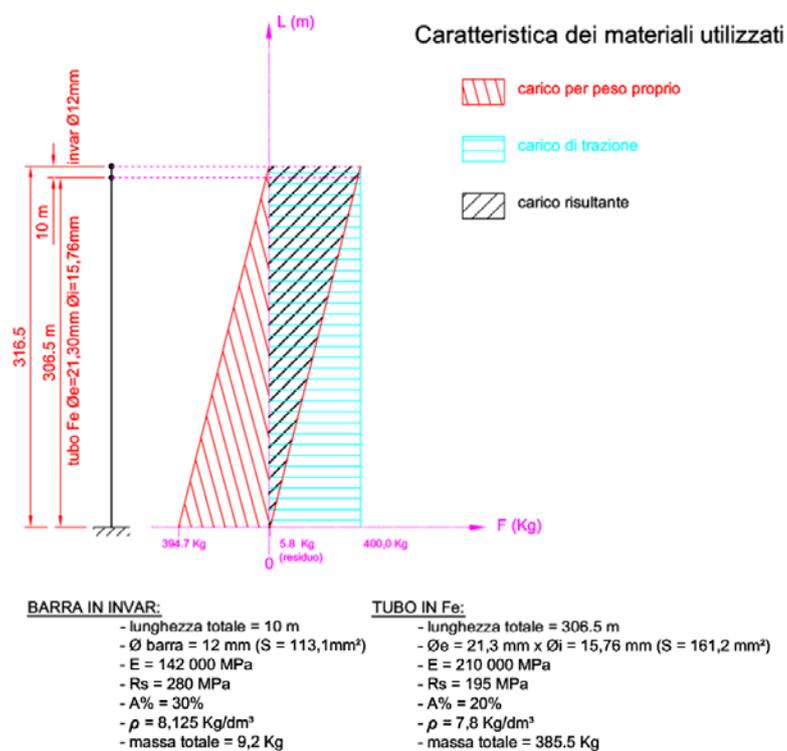


Figura 4B – Dettagli dell'assestimetro di Rubicone

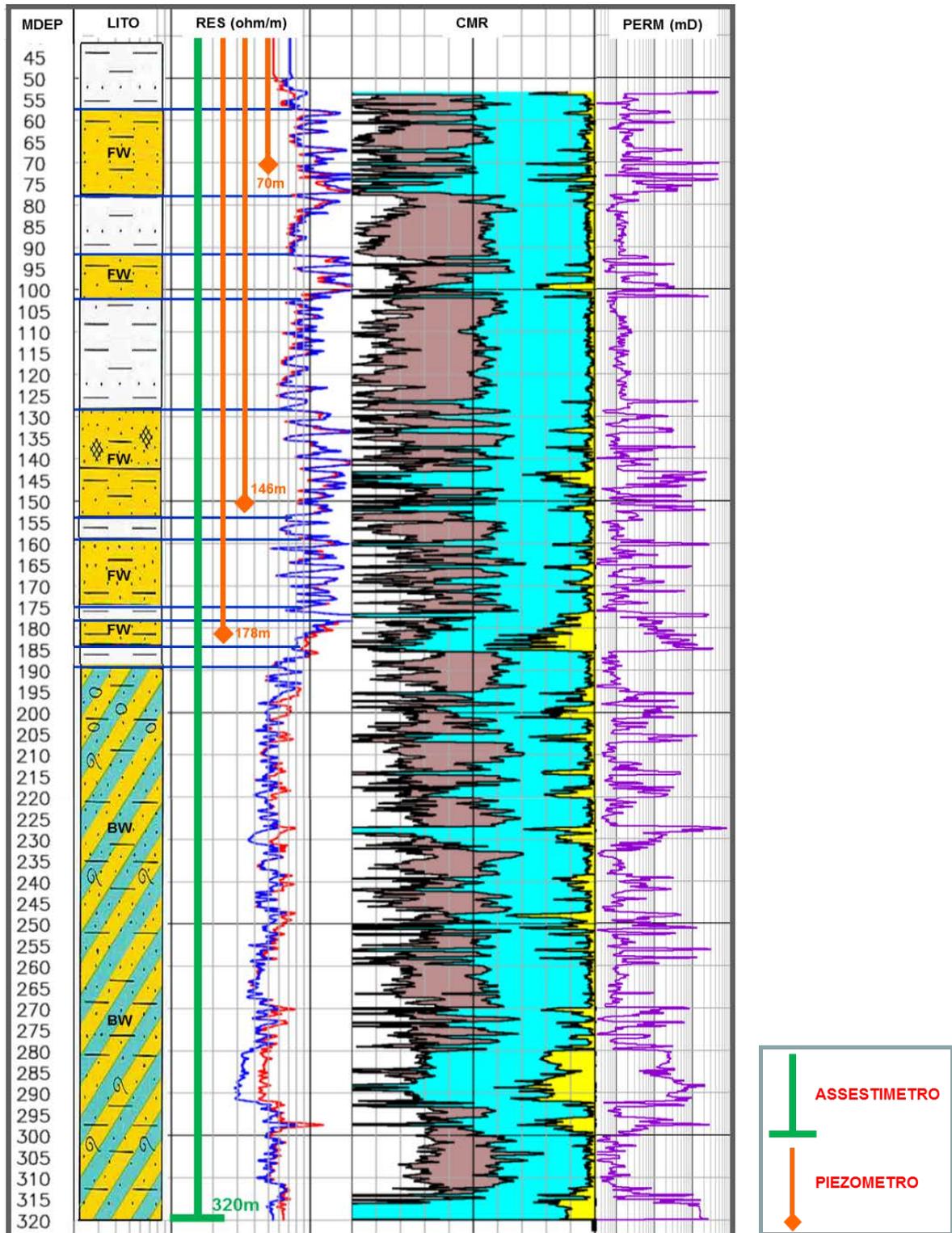


Figura 5B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Rubicone

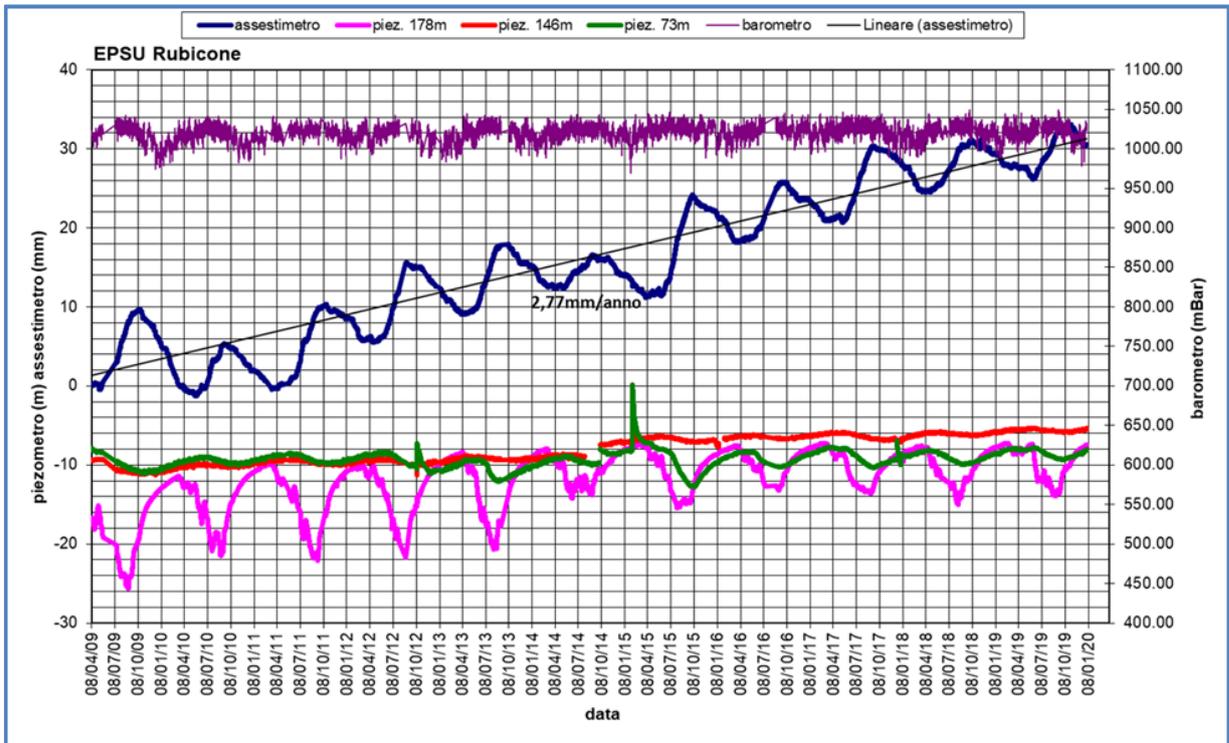


Figura 6B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche

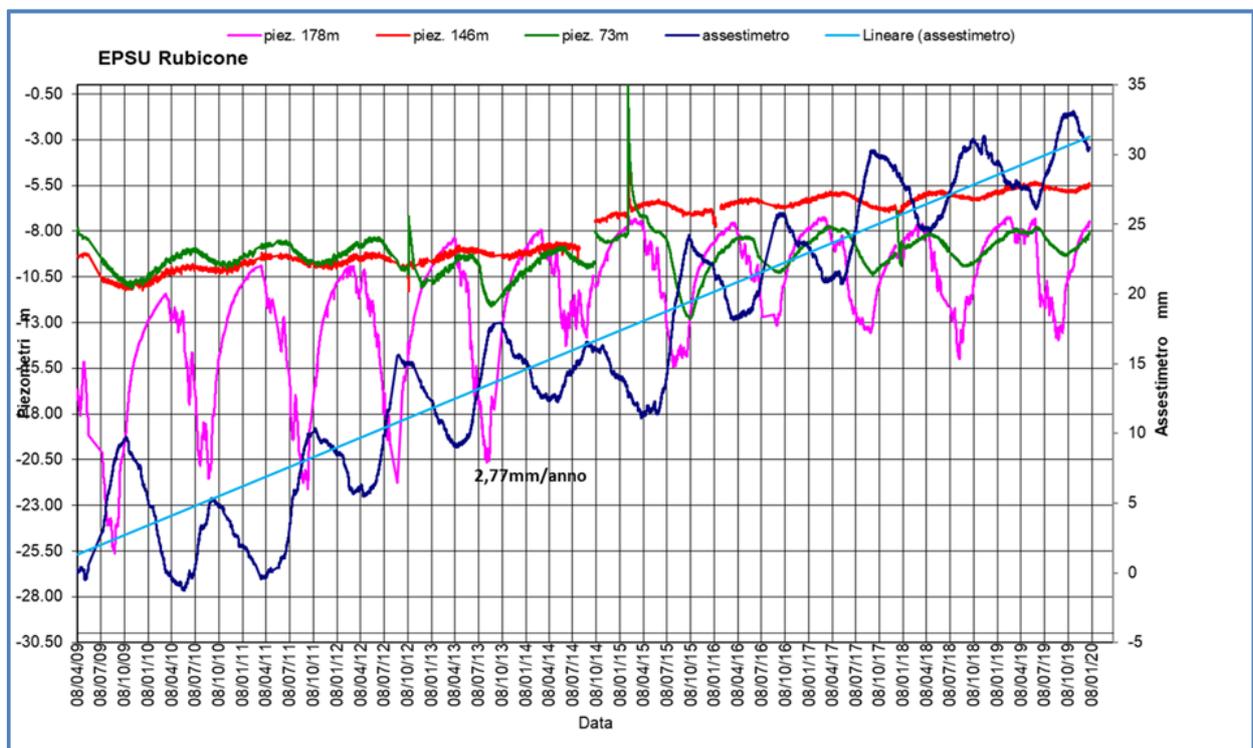


Figura 7B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometriche e assestimetriche.

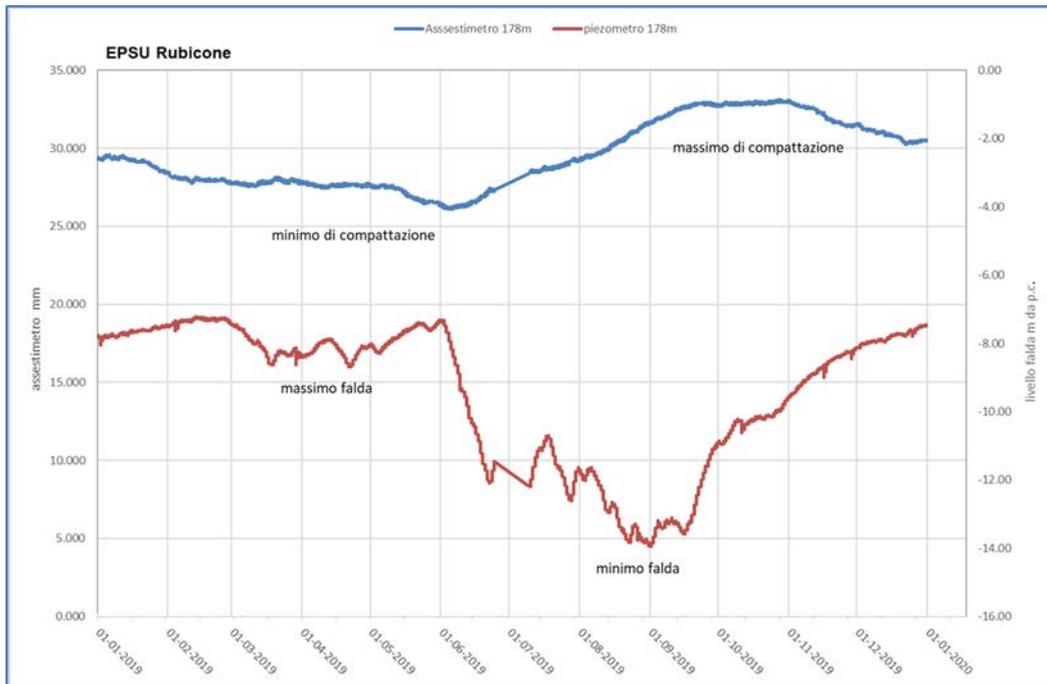


Figura 8B - Stazione EPSU di Rubicone: misure piezometrico-assestimetrie, ultimo anno di dati

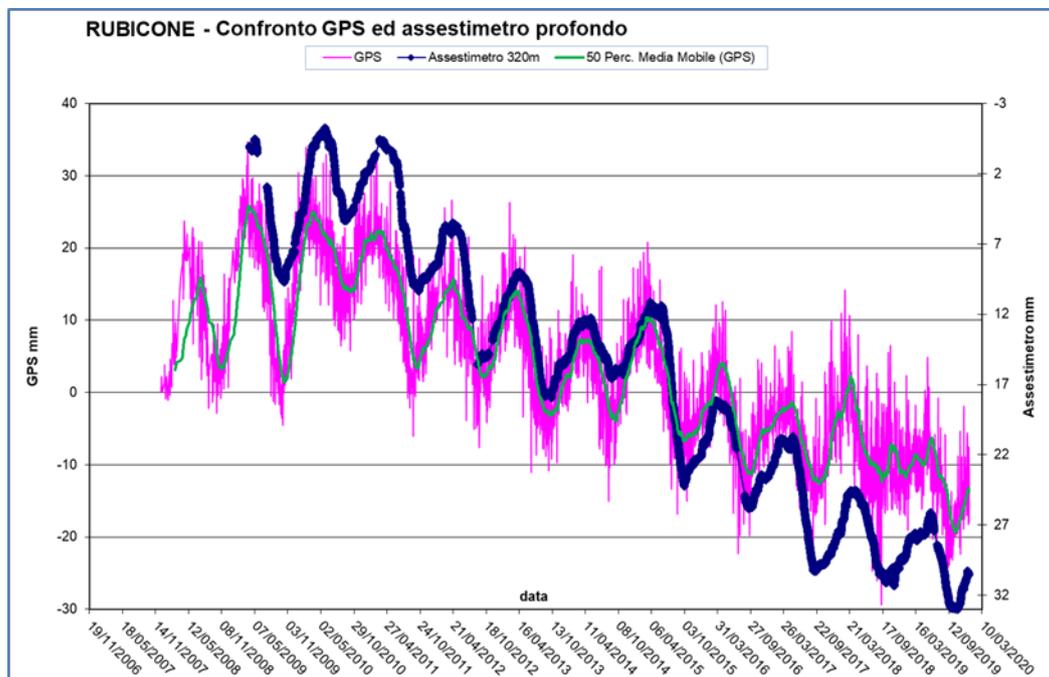


Figura 9B - Stazione EPSU di Rubicone: confronto misure CGPS vs. misure piezometrico-assestimetrie

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 44 - of 58</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 13.5m s.l.m., a circa 4.5Km a SSE della città di Fano (PU), lungo la sponda sud (destra) del fiume Metauro a circa 2.5Km dal mare Adriatico ed all'interno della centrale gas Eni denominata "Fano".

Strumentazione:

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

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

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

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

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

Nel periodo monitorato (10/2008 - 12/2019) non si sono notate anomalie né a livello sensoristico, né a livello di apparecchiatura d'acquisizione dati, per tutto il 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in agosto e dicembre 2019.

Analisi dei dati assestimetrici

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

Nei grafici allegati (Figura 12B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimetrici, nello stesso grafico è presente anche l'andamento della pressione atmosferica.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 45 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

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

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

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

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

Nel corso del 2019 (Figura 13B) si è assistito a un ciclo simile agli anni precedenti, senza significative variazioni; una compattazione di circa 1 mm (0.87) a inizio anno è stata quasi del tutto recuperata da una successiva espansione estiva (metà luglio/inizio agosto), per ritornare poi a un valore di circa 1 mm (compattazione) nel periodo autunno-invernale.

Alla fine del 2019 l'assestometro registra, quindi di nuovo, una compattazione di ca. 1 mm (0.86) con, una compattazione complessiva totale nell'anno nulla (Figura 13B).

Se si prendono in esame tutte le misure assestimetriche, registrate negli 11 anni e poco più (11.21) di osservazioni in questa stazione, queste ultime mostrano, analogamente a quelle della stazione più a sud di Falconara, una situazione del terreno sostanzialmente stabile, con una compattazione complessiva pressoché nulla (-0.001 mm/anno da regressione lineare sui dati assestimetrici Fig.12B), a parte le variazioni cicliche stagionali.

Un comportamento del terreno pressoché identico è registrato dal CGPS ubicato in prossimità della stazione *EPSU*. Le misure CGPS danno, infatti, la superficie del suolo in leggero innalzamento, con velocità media di ca. 0.1 mm/a. A sua volta la velocità media di compattazione stimata con regressione lineare dei dati della serie assestimetrica è praticamente nulla

(0,01 mm/a). L'esame comparato delle due serie di misure assestometriche e da CGPS (Figura 14B) mostra come queste abbiano gli stessi andamenti oscillatori ma sfasati nel tempo. In particolare, la curva assestometrica sembra essere ritardata di ca. 4-5 mesi rispetto a quella del CGPS. È bene osservare, però, che si tratta di movimenti del suolo di bassissima entità, per cui si è al limite del potere risolutivo delle due tecniche di misura.

Passando al confronto con la piezometria, si nota che entrambe le curve assestometrica e CGPS mostrano una buona correlazione con gli andamenti stagionali della falda. La curva assestometrica si presenta, però, sfasata anche rispetto a quella piezometrica, raggiungendo il minimo (massima espansione) circa quattro mesi dopo il massimo del livello piezometrico (Figura 12B e Figura 13B). Questo comportamento potrebbe essere spiegato dal ritardo con cui si contrae o rigonfia un grosso strato d'argilla di circa 32 m (Figura 11B) quando varia la sua saturazione in acqua. La presenza di tale strato d'argilla è stata rilevata durante la perforazione del foro assestometrico. La curva dei dati CGPS sembra invece più in fase nel registrare in superficie i movimenti d'espansione o contrazione degli strati di terreno causati dalle variazioni del livello d'acqua nella falda (sollevamento del terreno in coincidenza dei massimi della falda). Va però notato che l'ubicazione dell'antenna CGPS (stazione SSU) dista circa 150-200 m dalla stazione EPSU, e probabilmente il terreno su cui è stata installata ha una stratigrafia caratterizzata da una minore presenza di livelli argillosi.

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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

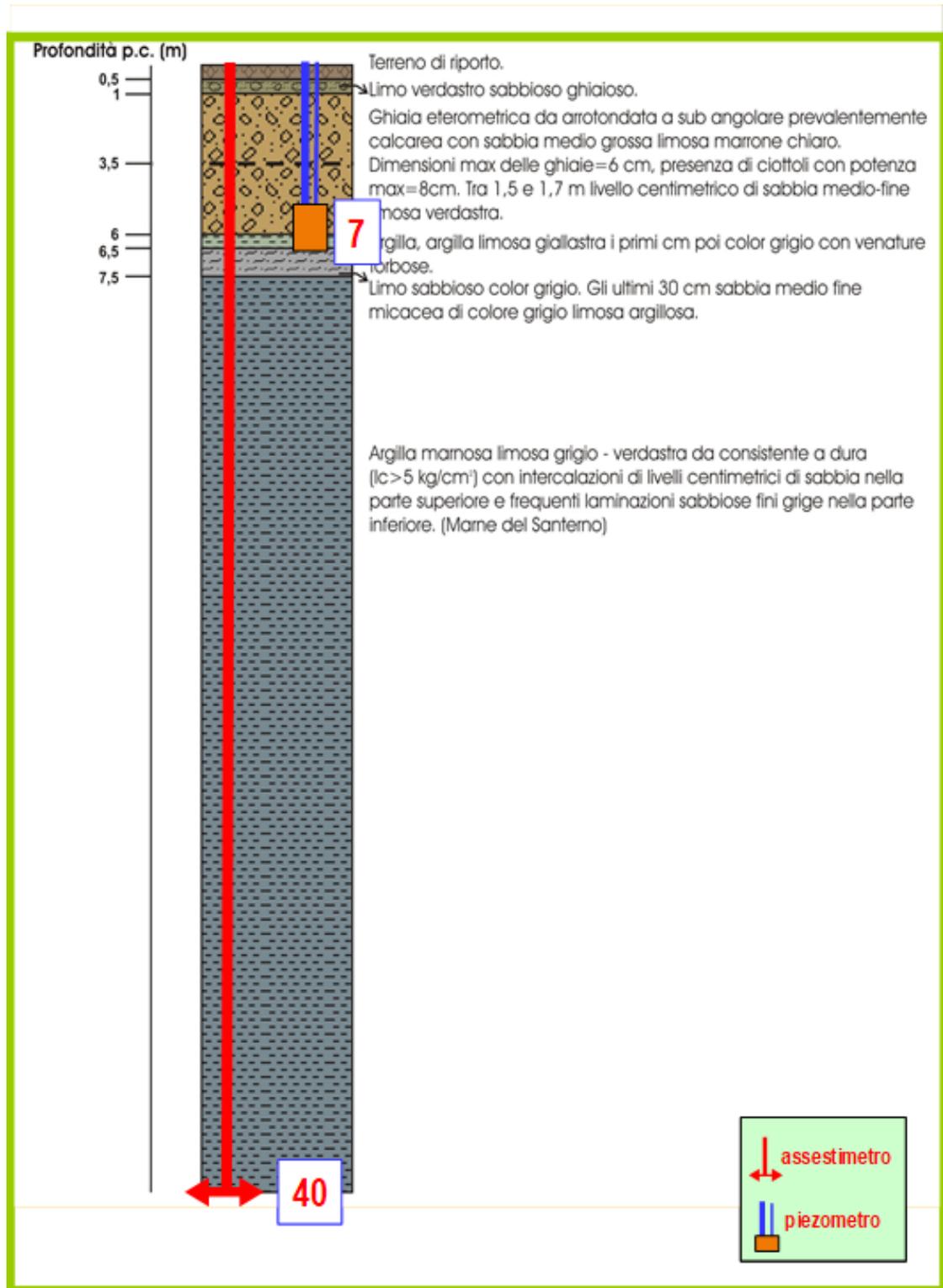


Figura 11B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Fano

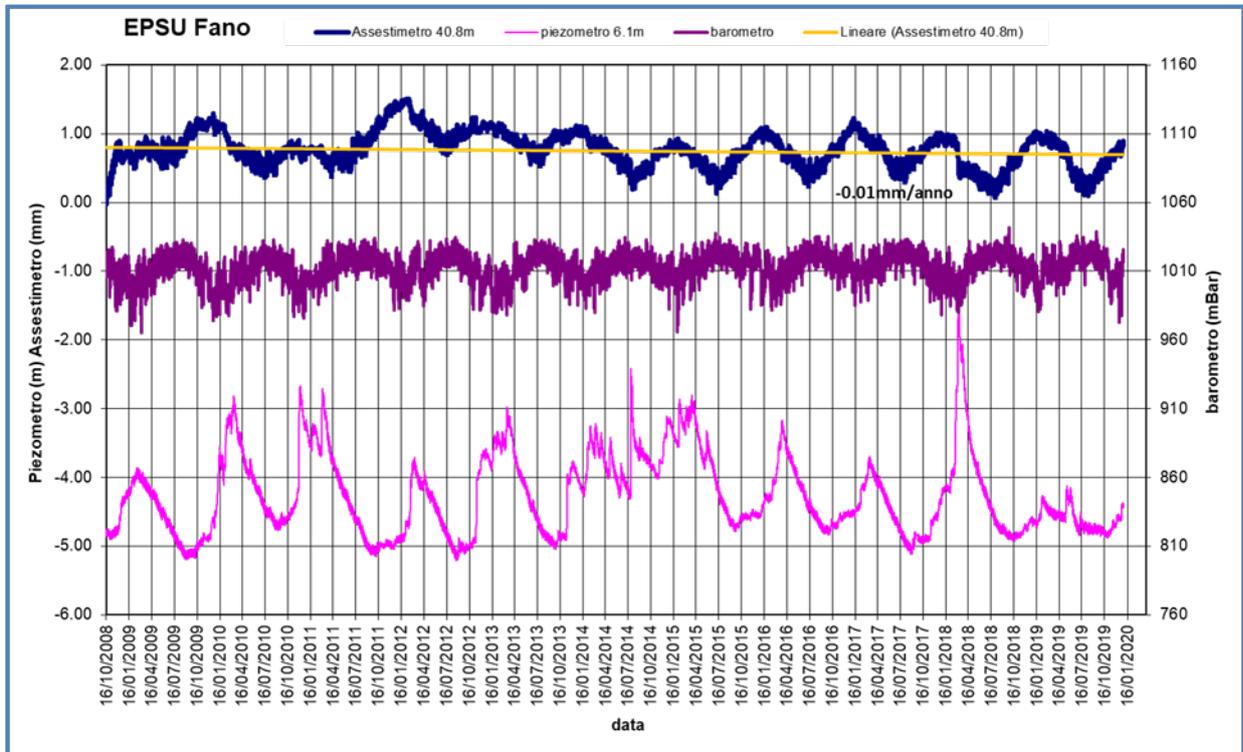


Figura 12B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

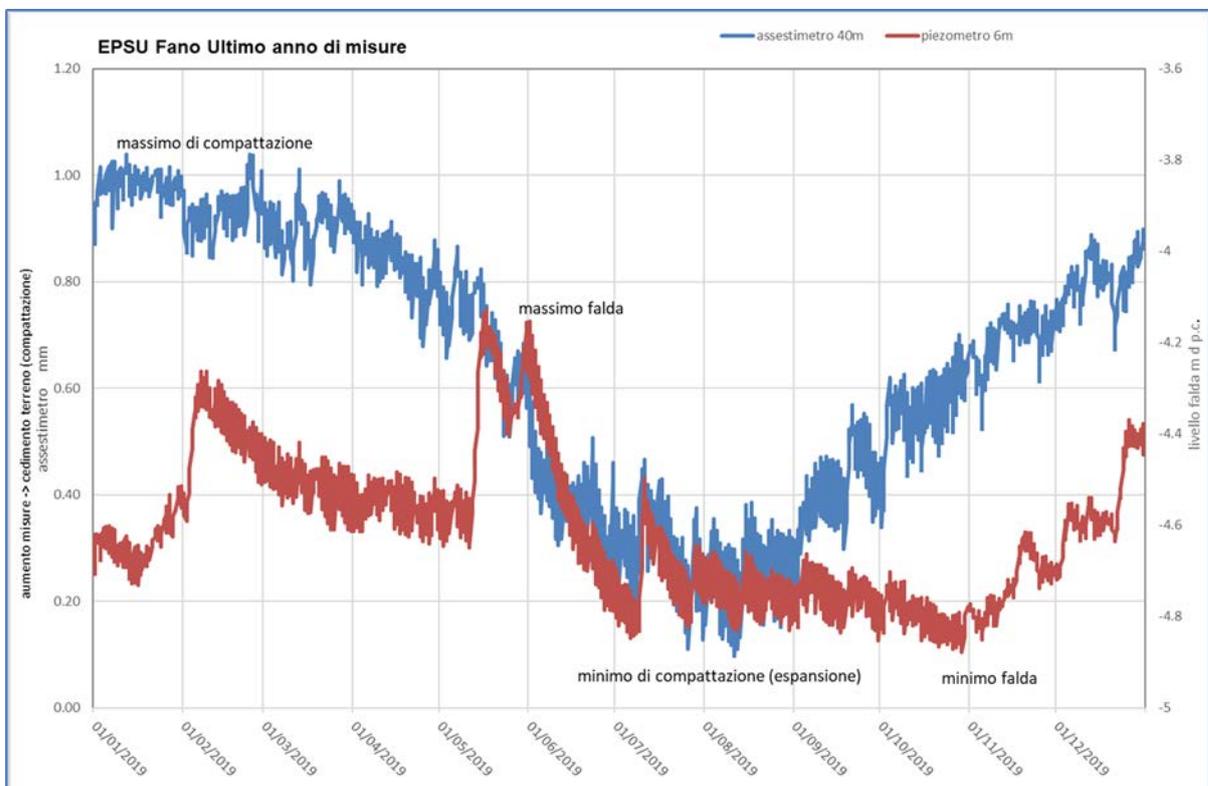


Figura 13B - Stazione EPSU di Fano: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati.

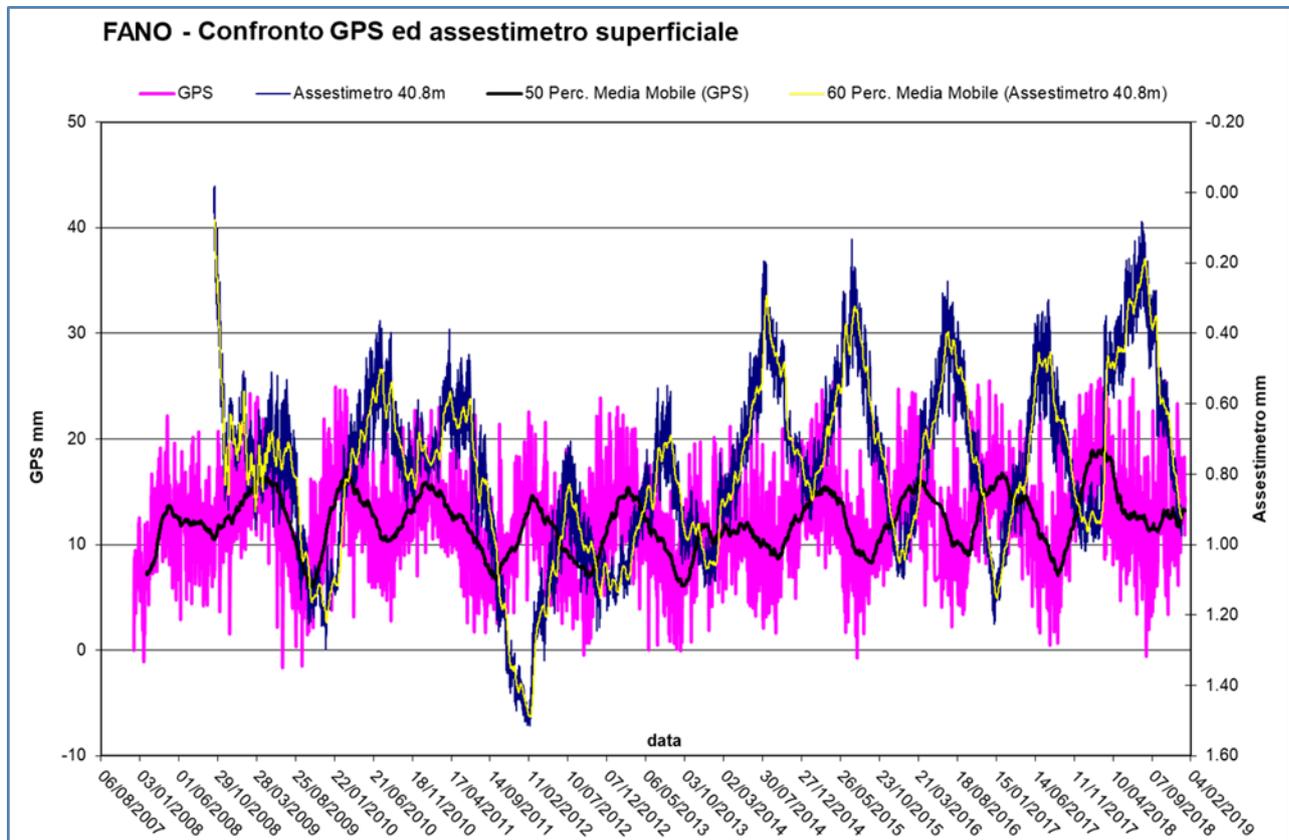


Figura 14B - Stazione EPSU di Fano: confronto fra misure CGPS vs. misure piezometrico-assestimetriche

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 51 - of 58</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 3.5m s.l.m., a circa 750m a sud-ovest della località Marina di Rocca Priora e dal mare Adriatico, lungo la sponda nord (sinistra) del fiume Esino 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 15B, mentre la Figura 16B riporta la litologia dei terreni attraversati dal pozzetto assestimetrico.

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

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

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

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

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

Nel 2019 la strumentazione ha funzionato correttamente e non sono presenti lacune nelle serie dei dati registrati. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali e taratura di tutti i sensori è stata fatta in agosto e dicembre 2019.

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.).

Nei grafici allegati sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici, sia quelli assestimerici e della pressione atmosferica (Figura 17B). I dati relativi all'assestometro sono espressi in millimetri e riportano gli spostamenti misurati rispetto a un valore base iniziale ("misura di zero"). Tale misura è quella del 16 ottobre 2008, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, valori negativi un incremento dello spessore (i.e.: espansione) degli strati di terreno monitorati. Come nel caso della stazione di Rubicone, anche per quella di Falconara la variazione nel tempo delle misure assestimeriche è caratterizzata da una curva ad andamento oscillatorio stagionale molto ben correlabile con le variazioni di livello della falda d'acqua, a 21m di profondità, registrate dal piezometro nell'ultimo anno (Figura 18B).

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

Identico andamento emerge dall'analisi delle misure di abbassamento/sollevamento del suolo della stazione CGPS installata in loco. La correlazione tra le due curve, assestimerica e CGPS (Figura 19B), è estremamente elevata, il loro sfasamento temporale è pressoché nullo e le "pulsazioni" (espansioni e compattazioni) del terreno (tutte di piccolissima entità) sono correlate alle variazioni di livello della falda acquifera. La velocità media annua calcolata con regressione lineare dei dati CGPS risulta pari a -0.3 mm/a (ovvero leggerissimo abbassamento della superficie del suolo).

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

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

Analisi dei dati piezometrici

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

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

Nel 2019 è stata effettuata la manutenzione ordinaria delle apparecchiature nei mesi di agosto e dicembre. In tutte le occasioni si è misurato manualmente con freattimetro il livello della falda per verificare la qualità delle misure registrate dai trasduttori. Le differenze riscontrate sono risultate sempre molto piccole, dell'ordine di 2-3 cm, per cui i piezometri sono da considerarsi affidabili e funzionanti.

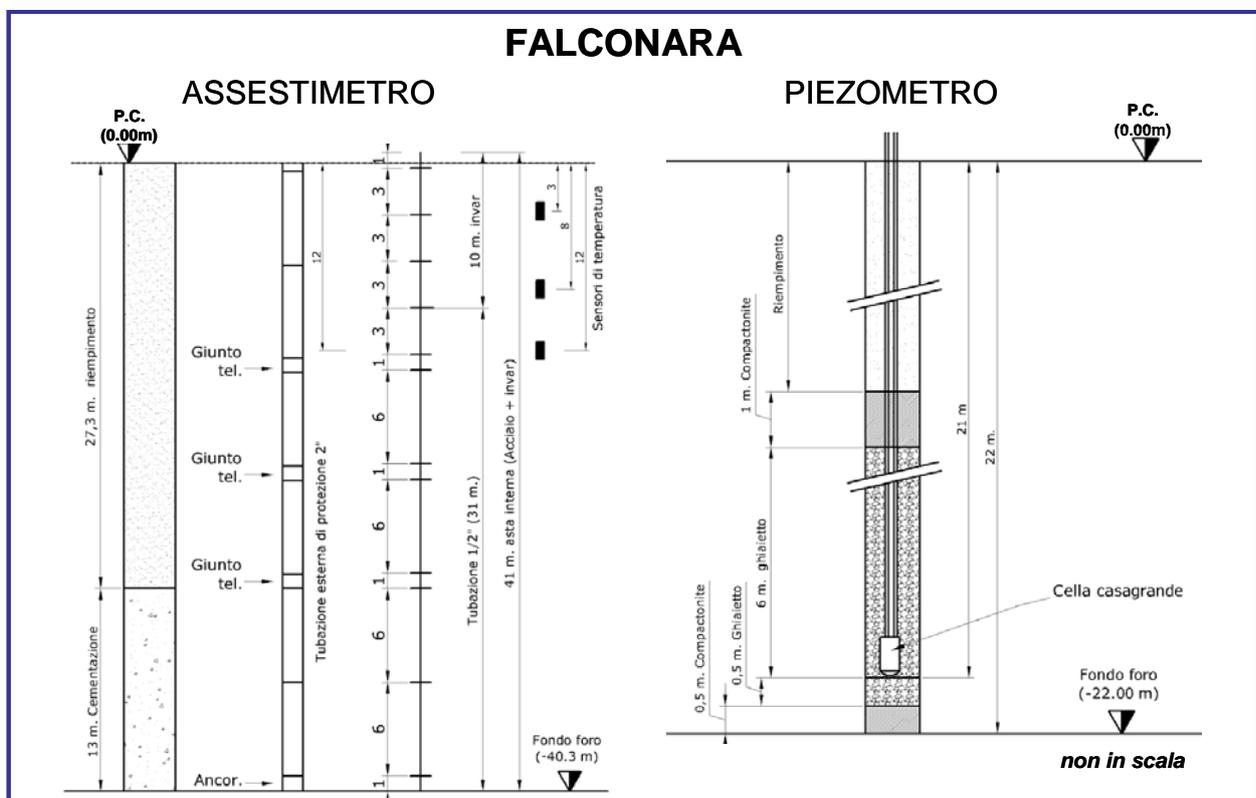


Figura 15B - Stazione della stazione EPSU di Falconara

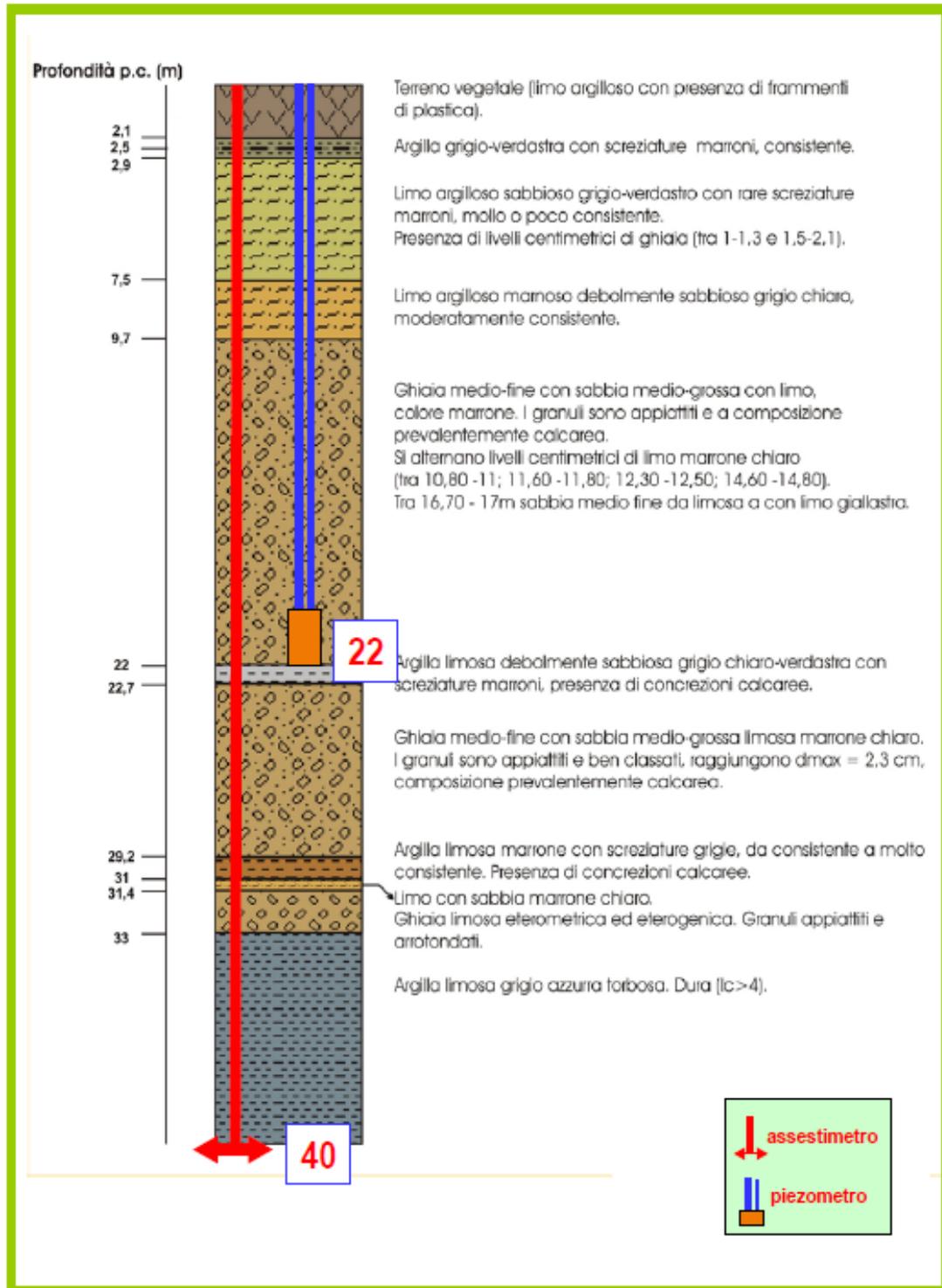


Figura 16B - Litologia dei terreni monitorati dalla stazione EPSU di Falconara

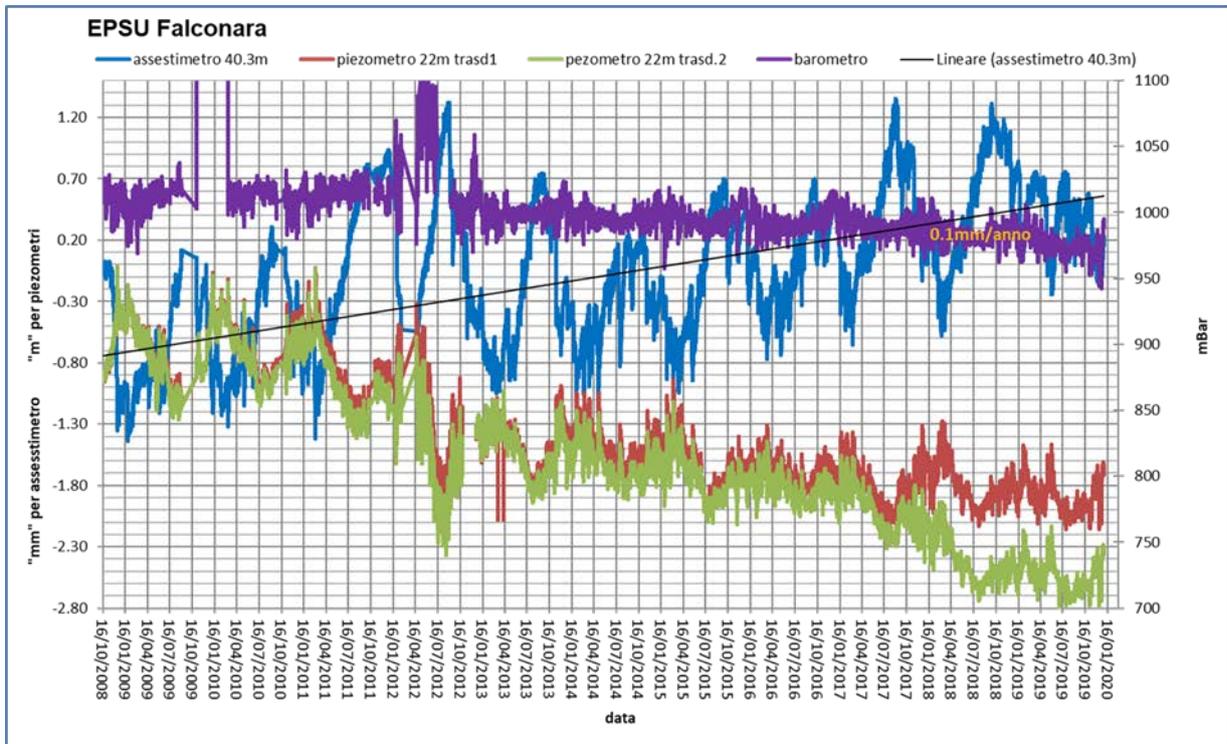


Figura 17B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometriche, assestimetriche e barometriche.

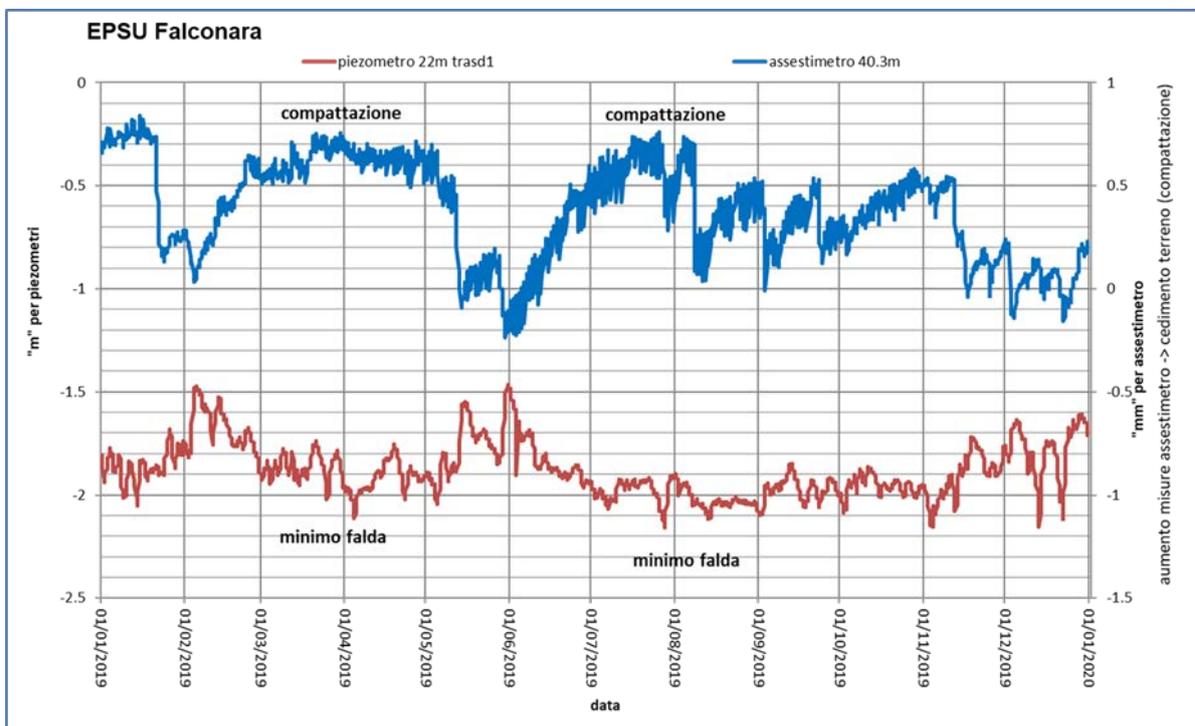


Figura 18B - Stazione EPSU di Falconara: misure piezometrico-assestimetriche, ultimo anno di dati

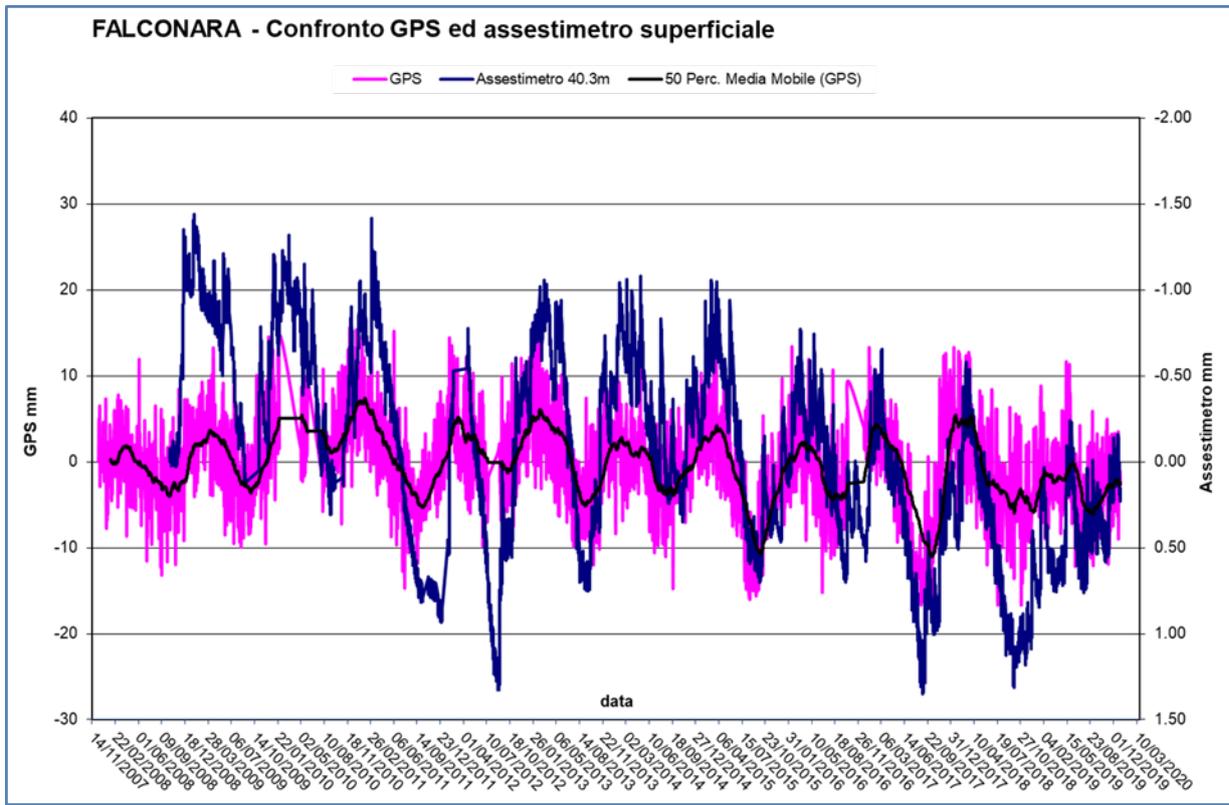


Figura 19B - Stazione EPSU di Falconara: confronto misure CGPS vs. misure piezometrico-assestimentriche

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

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di ANNALISA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_ALS</p>	<p>Page - 57 - of 58</p>
---	---	---	--------------------------

Conclusioni

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

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

Anche nel caso di Rubicone c'è un'ottima correlazione tra i cicli stagionali di compattazione/espansione del terreno monitorati dall'assestimetro e le corrispondenti variazioni di livello delle tre falde registrate dai piezometri. Le compattazioni massime (contrazioni del terreno), infatti, si hanno all'incirca a settembre/ottobre di ogni anno dopo circa 1 / 1.5 mesi dai minimi livelli di falda; le espansioni massime si verificano, invece, mediamente verso aprile/maggio di ogni anno e a loro volta sono in buona correlazione con i livelli piezometrici massimi delle stesse falde avvenuti nei mesi precedenti. L'assestimetro di questa stazione, essendo il più profondo di quelli installati nelle 3 *EPSU*, è anche quello che registra nel tempo un aumento progressivo della compattazione del terreno monitorato (spessore 320 m). Lo strumento a dicembre 2019, dopo 10.73 anni di funzionamento, misurava, infatti, una compattazione complessiva (rispetto allo zero iniziale) di 30.5 mm, che con un semplice calcolo equivale a una velocità media annua di compattazione pari a circa 2.8 mm/a. Tale valore resta più o meno uguale, circa 2.77 mm/a, se si elaborano i dati delle misure assestimetriche con una regressione lineare. Nel caso di Fano, il trend delle curve piezometrica e assestimetrica è maggiormente influenzato dalla litologia attraversata dai pozzi, litologia che rende meno evidente la correlazione tra andamento stagionale del livello della falda e misure assestimetriche. Infatti, mentre il piezometro monitora le variazioni di livello della falda in uno strato ghiaioso-sabbioso superficiale (max. profondità 6 m dal p.c.), l'assestimetro è ancorato all'interno di uno strato argilloso spesso circa 32 m e scarsamente comprimibile. Lo strumento, infatti, nei circa 11 e più anni (11.21) di funzionamento ha misurato una compattazione complessiva quasi nulla (0.86mm). A tale spessore di litologia argillosa si potrebbero imputare i ritardi nella compattazione espansione del terreno rispetto all'escursione della falda freatica monitorata.

La tabella che segue riporta, per ciascuna stazione, la compattazione complessiva del terreno

al 31/12/2019 e la relativa velocità media annua, valutata semplicemente come rapporto fra la misura assestimetrica a fine 2019 e gli anni complessivi di monitoraggio. In questo caso non si è fatta alcuna regressione lineare dei valori della serie storica dell'assestimetro. Questo procedimento potrebbe pertanto, dare risultati non perfettamente uguali, anche se molto simili, a quelli riportati nelle precedenti analisi dei dati assestimetrici. Si noti, altresì, che per le stazioni di Fano e Falconara le misure assestimetriche hanno valori molto piccoli, e che nel periodo d'osservazione non è emerso un trend ben definito di compattazione del terreno (valori piccolissimi). In questo caso le medie annuali non si possono considerare veramente significative.

Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
Rubicone	10.73	30.5	2.84	n.i.	-
Fano	11.21	n.i.	-	0.86	n.v.
Falconara	11.21	n.i.	-	0.18	n.v.

n.i. = non installato

n.v. = non valutabile