

## Campo di Naomi-Pandora

Aggiornamento al 31/12/2019

Il campo di Naomi-Pandora è composto da due giacimenti, distanti 5 km l'uno dall'altro, che sono ubicati nell'offshore adriatico (concessione A.C33.AG - Eni 100%) a circa 35 km dalla costa. La profondità dell'acqua nell'area è di circa 35-38 m (Figura 1).

CONCESSIONE	SCADENZA	OPERATORE	TITOLARI	QUOTA	REGIONE
A.C33.AG	26/01/2026	Eni	Eni	100%	Emilia-Romagna

I livelli mineralizzati di tali giacimenti appartengono alle medesime formazioni clastiche del Pliocene superiore (Fm. Porto Garibaldi – livelli PL3-H1 e PL3-H2) e si trovano all'incirca alla stessa profondità (2630 m slm). Dette formazioni si sono depositate come riempimento di strutture a canyon sottomarino incise nel basamento (piattaforma continentale croata) e chiudono per pinch-out contro il basamento stesso (Figura 2).

Il campo si sviluppa per uno spessore complessivo di circa 80 m (da 2600 m ssl a 2680 m ssl) e ha un'estensione di circa 78.4 km<sup>2</sup>.

Il giacimento di Naomi è stato scoperto nel 1995 con la perforazione del pozzo esplorativo Naomi 1 che ha rinvenuto mineralizzati a gas i livelli PL3-H1 e PL3-H2. Il pozzo è stato provato e chiuso minerariamente. A febbraio 1995 è stato perforato il pozzo Naomi 1 dirA, che ha verificato la presenza del livello PL3-H1 in posizione di alto strutturale. Anche in questo caso si è fatta la chiusura mineraria. Il giacimento di Pandora è stato scoperto nel 1996 con la perforazione del pozzo Pandora 1 che ha rinvenuto mineralizzato il livello PL3-H1; la struttura di Pandora è adiacente ma spostata più a ovest rispetto a quella di Naomi. Anche il pozzo Pandora 1 è stato provato e chiuso minerariamente. Nel dicembre 1998 Eni ha presentato ai Ministeri dell'Ambiente, dell'Industria e alla Regione Emilia-Romagna un piano di sviluppo del campo di Naomi-Pandora che prevedeva l'installazione di una piattaforma di tipo BEAF, la perforazione di 4 pozzi (2 per il giacimento Naomi e 2 per quello di Pandora) e la posa di un *sealine* per inviare la produzione alla piattaforma Garibaldi T. Nel documento SIA si riportava

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 2 - of 65
--	--	----------------------------------	------------------

un profilo di produzione ottenuto da uno studio di giacimento (modello monocella) del febbraio 1998 che valutava le riserve a vita intera pari a 1611 MSm<sup>3</sup> producibili in 12 anni, con un picco di produzione giornaliera di 500 kSm<sup>3</sup>/g. Con il DEC/VIA n° 5369 del 04/10/2000, il Ministero dell'Ambiente esprimeva giudizio positivo di compatibilità ambientale e approvava il programma lavori presentato.

Lo studio di giacimento di Naomi-Pandora è stato poi rivisto nel 2000 (rel. RAIP n.021-00 dell'agosto 2000, "Revisione Modello 3D dinamico per Fattibilità"), aggiornando sia il GOIP complessivo del campo a 3454 MSm<sup>3</sup> (di cui 2955 MSm<sup>3</sup> attribuibili a Naomi e 499 MSm<sup>3</sup> a Pandora), sia il volume di riserve producibili al 2030 e risultate pari a 2340 MSm<sup>3</sup> (fattore di recupero del 68%). Nel 2001 si è sviluppato il campo perforando e completando 3 pozzi (Naomi 2 dir, Naomi 3 dir e Pandora 2 dir); un quarto pozzo perforato (Naomi 4 dir) è stato dedicato al monitoraggio della compattazione profonda con l'installazione di *marker*.

I pozzi sono stati aperti alla produzione nell'agosto 2001 con una portata iniziale di circa 370 kSm<sup>3</sup>/g e hanno erogato sino al 1 febbraio 2003. A tale data il campo è stato chiuso a seguito di un provvedimento dell'Autorità Giudiziaria che ha posto i sigilli ai pozzi il 5 febbraio 2003. Nel 2010 è stato autorizzato il ripristino della produzione, avvenuto di fatto ad aprile 2011. Alla riapertura dei pozzi, solo la *string* Naomi 3C ha erogato gas con una portata di circa 150 kSm<sup>3</sup>/g. Le altre due *string* (Naomi 2L e Pandora 2S) non sono state, invece, in grado di produrre essendosi colmate d'acqua di strato e/o danneggiate nel lungo periodo di chiusura (8 anni circa). Tali eventi sono probabilmente da ricollegare alla non perfetta riuscita delle operazioni di completamento iniziale dei pozzi.

È stato, pertanto, presentato un progetto che prevedeva la perforazione di due *side-track* a partire dai pozzi esistenti di Naomi 2 dir (*side-track* Naomi 2 dirA) e di Pandora 2 dir (*side-track* Pandora 2 dirA) per recuperare le riserve rimanenti del campo (rel. GIAC/CS n. 27-11 dell'agosto 2011). Il progetto è stato realizzato e completato nel luglio 2012.

A gennaio 2011 è stata inoltrata al M.S.E. la "Relazione Tecnica di Giacimento e sullo Stato degli Impianti - Anno 2010" relativa alla concessione A.C33.AG nella quale si è aggiornato lo stato del campo. In tale relazione si riportavano volumi del GOIP (3454 MSm<sup>3</sup>) delle riserve (2350 MSm<sup>3</sup> producibili al 2036) sostanzialmente in linea con le valutazioni dello studio dell'agosto 2000 (2340 MSm<sup>3</sup> producibili al 2028).

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 3 - of 65
--	--	----------------------------------	------------------

Nel 2013 è stata fatta una nuova revisione degli studi statico e dinamico di giacimento per il campo di Naomi-Pandora (*rel. GISE-26/13 del 19/12/2013, Campi di Naomi e Pandora – Studio di Giacimento*), che ha aggiornato sia il GOIP complessivo a 3638 MSm<sup>3</sup> (di cui 3106 MSm<sup>3</sup> attribuibili a Naomi e 532 MSm<sup>3</sup> a Pandora) sia il volume delle riserve a 2301 MSm<sup>3</sup> (producibili al 2038) che si sono leggermente ridotte (circa il 2%) rispetto a quanto stimato nel gennaio 2011.

Nel corso del 2017 si è nuovamente aggiornato lo studio di giacimento (*rel. GISE 02/2017 del marzo 2017 - Campo di Naomi e Pandora - Studio di giacimento – Scheda Riassuntiva*) con sostanziale conferma delle riserve a vita intera del campo pari a 2300 MSm<sup>3</sup> producibili entro il 2037. Nelle Figura 3 sono mostrati gli andamenti storici della portata di gas (kSm<sup>3</sup>/g), d'acqua (m<sup>3</sup>/g) e del volume cumulativo di gas prodotto al 31/12/2019, pari a circa 1270 MSm<sup>3</sup>. Nelle Figura 4, Figura 5, Figura 6 sono riportati il confronto tra il profilo di produzione (modello Eclipse 3D del marzo 2017) e la produzione reale.

In Figura 7 sono presentati i confronti tra il profilo di pressione calcolato dal modello *Eclipse* 2017 e le pressioni statiche misurate per il livello PL3-H1 che è ritenuto il più rappresentativo del campo.

Tale confronto evidenzia il buon accordo tra la previsione modellistica e il comportamento reale del giacimento nel livello PL3-H1 che mostra un andamento di regolare e contenuta diminuzione della pressione. In particolare a partire dal 2015 la pressione diminuisce meno di 10 bara.

Per il campo di Naomi-Pandora si sono fatte diverse previsioni di subsidenza con modelli geomeccanici di complessità crescente in relazione ai dati giacimentologici, dinamici e geomeccanici che via via si rendevano disponibili.

In particolare, per il SIA del dicembre 1998, presentato per l'approvazione del progetto iniziale di sviluppo, si è utilizzato il modello cilindrico di Geertsma basato sullo studio di giacimento (mod. monocella) del febbraio 1998. La subsidenza massima prevista con tale modello è stata a fine produzione di 1.2 cm sul culmine del giacimento di Naomi (*“Valutazione preliminare dei massimi valori di subsidenza previsti per i campi a gas di Naomi e Pandora” - Allegato al S.I.A. per l'istanza di concessione di coltivazione “d.24.A.C. – AG”, progetto Naomi-Pandora - doc. n. 2479 del dic. 1998*).

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_NAPO</p>	<p>Page - 4 - of 65</p>
---	--	--	-------------------------

Sulla base delle nuove informazioni acquisite con la perforazione dei pozzi e con i dati dinamici ottenuti dall'analisi del loro comportamento produttivo, si sono completamente rivisti gli studi statico e dinamico di giacimento. Per la parte dinamica si sono fatte simulazioni 3D con il modello *Eclipse* per avere una dettagliata ricostruzione della distribuzione delle pressioni in giacimento.

Il nuovo modello di giacimento è servito, poi, come base per una nuova previsione di subsidenza, eseguita nel 2002 con un modello geomeccanico 3D a elementi finiti (rel. *Isamgeo maggio 2002- Campi a gas di Naomi-Pandora-Modello predittivo di subsidenza*). In tale revisione si è fatta un'analisi dettagliata delle proprietà meccaniche dei livelli in produzione. In particolare, per il coefficiente di compressibilità uniassiale  $C_m$  si sono confrontati i valori ottenibili con due diversi metodi:

a) una correlazione elaborata da ricercatori dell'Università di Padova<sup>1</sup> utilizzando le misure in situ di compattazione profonda fatte in pozzi Eni situati nell'offshore adriatico ed equipaggiati con marker;

b) un modello geostatistico elaborato da Isamgeo sulla base di dati forniti da Eni comprendenti numerose misure di laboratorio, le misure di compattazione profonda di cui al punto precedente e stime di velocità sismica dei sedimenti profondi dell'area adriatica.

I due diversi approcci hanno prodotto valori di compressibilità uniassiale  $C_m$  sostanzialmente equivalenti, per cui si è deciso d'impiegare la correlazione di *Baù et al.* per la stima del coefficiente  $C_m$  nelle previsioni di subsidenza.

Per quest'ultime si sono esaminati due casi:

1) Caso Atteso. La previsione è stata fatta utilizzando il valore atteso (i.e. più probabile) della compressibilità  $C_m$ . I risultati coincidono sostanzialmente con quelli del modello cilindrico di Geertsma sia per il valore massimo di subsidenza (1.4 cm alla fine della produzione prevista nel 2031) che per l'estensione del cono di subsidenza.

2) Caso Pessimistico. La previsione è stata fatta utilizzando i valori di compressibilità uniassiale  $C_m$  corrispondenti alla curva superiore al 95% della correlazione di *Baù et al.* In pratica i valori di  $C_m$  impiegati sono stati il doppio di quelli del "Caso Atteso". I risultati sono stati di una subsidenza massima di circa 3 cm a fine produzione; l'estensione del cono di subsidenza

<sup>1</sup> Baù, D., Ferronato, M., Gambolati, G., and Teatini, P., 2002. Basin-scale compressibility of the northern Adriatic by the radioactive marker technique. *Geotechnique*, Vol. 52, No. 8, pp. 605-616.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_NAPO</p>	<p>Page - 5 - of 65</p>
---	--	--	-------------------------

(linea d'iso-subsidenza di 1 cm)<sup>2</sup> è ovviamente risultata estremamente contenuta e confinata sulla verticale dei giacimenti.

Il modello geomeccanico del 2002 è stato aggiornato nel 2003 (rel. *Isamgeo gennaio2003-Campi a gas di Naomi-Pandora - Modello predittivo di subsidenza - Rapporto Finale*) disponendo di nuove informazioni, quali:

- a) la stima di compressibilità dei livelli Naomi-Pandora ottenuta monitorando la compattazione profonda tramite i *marker* installati nel pozzo Naomi 4D;
- b) la distribuzione delle pressioni nei due giacimenti e nell'acquifero idraulicamente connesso ottenuta da simulazioni con modello *Eclipse* 3D, previa calibrazione con i dati di un anno e mezzo di produzione. Anche in questo aggiornamento si sono esaminati due casi di previsione di subsidenza per valutare la sensitività dei risultati al variare del metodo con cui si sono valutati e scelti i valori di compressibilità uniassiale  $C_m$  usati nelle simulazioni.

In particolare:

- Caso A: si sono impiegati i valori di  $C_m$  ottenuti dalla correlazione regionale di *Baù et al.* (analogamente a quanto effettuato nello studio del 2002);
- Caso B: si sono impiegati i valori di  $C_m$  ottenuti dalle misure in situ sul pozzo Naomi 4D.

I risultati sono stati confrontati sia con le previsioni del modello del dicembre 1998 (allegate al SIA) sia con quelle dello studio Isamgeo del 2002.

Le conclusioni che si possono trarre sono:

1. la previsione di subsidenza del Caso A coincide sostanzialmente con quella sia del modello cilindrico di Geertsma che del modello Isamgeo del 2002 in termini di valore massimo (poco oltre 1 cm) e d'estensione del cono;
2. la previsione di subsidenza del Caso B dà risultati lievemente più pessimistici di quelli ottenuti sia con il modello cilindrico di Geertsma che con il modello Isamgeo del 2002.

<sup>2</sup> Nei modelli geomeccanici di Naomi-Pandora realizzati da Eni nel periodo 1998-2003 l'estensione del cono di subsidenza è stata fatta corrispondere alla linea d'iso-subsidenza di 1 cm. All'epoca, infatti, non erano ancora disponibili gli studi condotti dalla Commissione Scientifica Internazionale (CSI), nominata da Eni e presieduta dal Prof. E. Boschi che, su tale argomento, ha concluso che la linea d'iso-subsidenza di 2 cm è da considerarsi "*the limit of any physical identification of induced subsidence effects*". Gli studi e le conclusioni della CSI sono stati 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*. Pertanto solo a partire da tale data Eni ha considerato nei propri studi la linea d'iso-subsidenza di 2 cm come il contorno esterno che delimita il cono di subsidenza.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 6 - of 65
--	--	----------------------------------	------------------

Più in dettaglio per quest'ultimo caso si ha:

- la subsidenza massima prevista è di circa 2-3 cm sulla verticale dei due giacimenti;
- l'estensione del cono verso costa è minima e si esaurisce a breve distanza dai giacimenti.

I risultati di tutti gli studi geomeccanici eseguiti indicano che un'eventuale subsidenza indotta dalla produzione del campo di Naomi-Pandora sarebbe d'entità trascurabile e non causerebbe alcun impatto sia sulla costa emiliano-romagnola, sia sul delta del Po.

A seguito della ripresa della produzione avvenuta nell'aprile del 2011 e delle nuove informazioni ottenute sul comportamento dei due giacimenti, si sono aggiornati nel corso del 2013 sia gli studi statico e dinamico del campo; sia il modello geomeccanico per la previsione della subsidenza.

I risultati di questo lavoro mostrano, per lo scenario *medio* (scenario di riferimento), un valore massimo di subsidenza di circa 2 cm al termine della produzione del campo (01/01/2038). La massima estensione del fenomeno, valutata come distanza del punto di massima subsidenza dalla linea d'iso-subsidenza dei 2 cm, è di circa 2 km al termine della produzione. Dopo 30 anni dalla fine della produzione (01/01/2068) il valore massimo di subsidenza si assesta sui 3 cm, mentre la massima estensione è di circa 3 km. Il fenomeno si esaurisce, quindi, a una distanza di circa 34 km dalla linea di costa. Tale valore rimane inalterato anche tra il 2038 e il 2068.

Per lo scenario *Upper*, invece, al termine della produzione del campo (01/01/2038) il valore massimo di subsidenza previsto è di 6 cm e la massima estensione del fenomeno è di circa 8 km. Dopo 30 anni dalla fine della produzione (01/01/2068) il valore massimo di subsidenza è previsto raggiungere i 7 cm, mentre la massima estensione rimane invariata (8 km). Nello scenario *Upper* il fenomeno si esaurisce a una distanza di circa 29 km dalla costa, distanza che rimane inalterata tra il 2038 e il 2068.

A seguito dell'aggiornamento dello studio di giacimento (*rel. GISE 02/2017 del marzo 2017 - Campo di Naomi e Pandora - Studio di giacimento – Scheda Riassuntiva*), nel corso del 2017 si è nuovamente aggiornato anche il modello geomeccanico per la previsione della subsidenza (*rel. REIT 07/2017 di dicembre 2017 - Campo di Naomi e Pandora - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary*). L'unico scenario produttivo previsto per la fase di Forecast è il *Do Nothing* che prevede di proseguire lo sviluppo dei giacimenti mediante i 3 completamenti già aperti alla produzione senza ulteriori interventi.

Per quanto concerne gli scenari geomeccanici, sono stati utilizzati due scenari di compressibilità (Cm): Medio e Upper.

In Tabella 1 sono schematizzati i risultati del modello per gli scenari considerati:

**Tabella 1 – Andamento temporale della subsidenza totale (in cm) prevista in corrispondenza del CGPS in piattaforma e del punto di massima subsidenza per i casi Cm Medio e Cm Upper**

Data	Cm MEDIO		Cm UPPER	
	GPS	Massimo	GPS	Massimo
01/01/2017	0.8	1.3	1.9	3.2
01/01/2030	1.5	2.3	4.0	6.2
01/01/2040	1.7	2.5	4.5	6.8
01/01/2049	1.8	2.6	4.7	7.0
01/01/2053	1.8	2.6	4.7	7.0
01/01/2056	1.8	2.6	4.7	7.0
01/01/2070	1.8	2.6	4.7	7.0
01/01/2083	1.8	2.6	4.6	6.9
01/01/2086	1.8	2.6	4.6	6.9

L'analisi dei risultati consente di osservare che:

- il valore massimo di subsidenza è compreso tra 2.6 cm e 7 cm, a seconda dello scenario di compressibilità considerato (Figura 8);
- la distanza dalla linea di costa della isolina di subsidenza dei 2 cm si attesta ad un valore finale compreso tra 32.6 km (Figura 9) e 27.7 km nel caso, rispettivamente, dello scenario Medio e dello scenario Upper. La distanza dalla costa rimane quasi inalterata fino 2086 in entrambi i casi.

In Figura 8 viene mostrata l'evoluzione temporale della subsidenza nel punto di massimo ed in corrispondenza della piattaforma con CGPS per i casi Cm Medio e Cm Upper.

Nella Figura 9 è riportata la mappa di subsidenza per lo scenario di riferimento (Cm Medio) per il 2053 e al 2086.

A partire dai primi anni '70, Eni ha progettato e realizzato lungo la costa adriatica una rete di livellazione geometrica che, su richiesta degli Enti di Controllo a livello regionale e nazionale (Regione Emilia-Romagna, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna e Ministero dell' Ambiente), è rilevata con cadenza periodica. A partire dalla campagna 2011, dopo un intervallo di un anno nel 2010 (anno in cui non sono state fatte livellazioni), tale periodicità ha una

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 8 - of 65
--	--	----------------------------------	------------------

cadenza triennale come raccomandato nelle “*Linee Guida per lo Studio dei Fenomeni di Subsidenza nell’Ambito dei Progetti di Sviluppo Sostenibile di Campi ad Olio e Gas*” emesse dal Dip. DMMMSA dell’Università di Padova nel 2007.

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

Eni, inoltre, ha affidato la certificazione della documentazione e della metodologia utilizzata a un ente esterno, che attualmente è 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 nelle seguenti aree di attività:

- dorsale Adriatica, da Treviso fino a Pesaro, compreso lo sviluppo degli sbracci sul delta del Po, per un totale di circa 1200 km di sviluppo lineare;
- tratto da Pesaro a P.to San Giorgio, per un totale di circa 210 km di sviluppo lineare;
- tratto Marche-Abruzzo, da P.to San Giorgio a Pescara, per un totale di circa 220 km di sviluppo lineare.

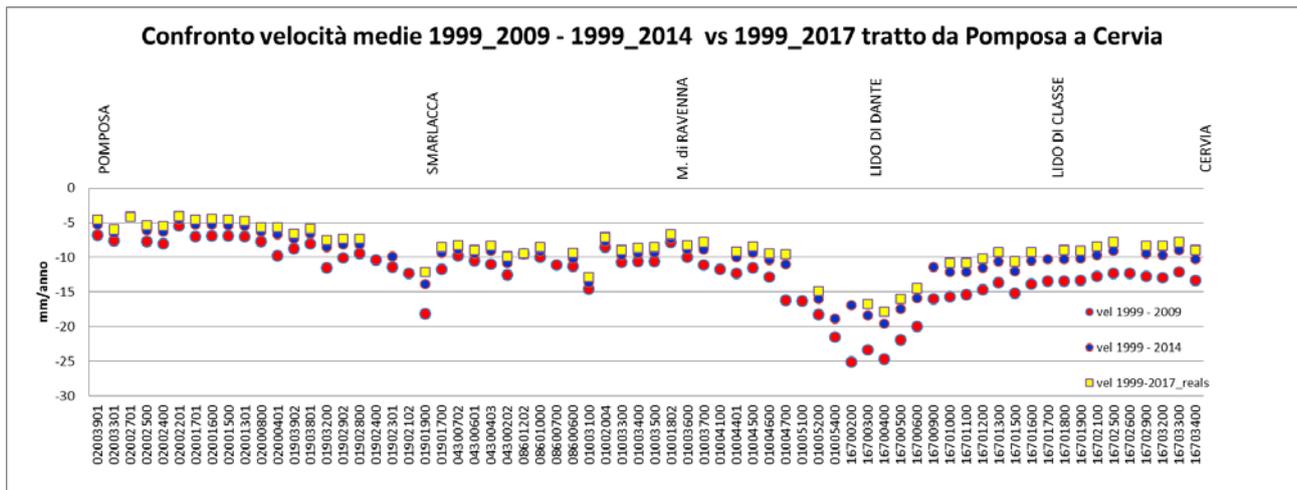
Le operazioni di campagna si sono svolte nel periodo compreso tra agosto e ottobre 2017 sotto la diretta supervisione di tecnici Eni e degli esperti dell’ente certificatore.

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 Pineto e P.to Sant’Elpidio che, con il consolidamento dei dati CGPS, costituiranno una serie di capisaldi origine omogenei, tali da consentire d’ottenere misure di quota fra loro consistenti da Treviso a Pescara.

Per il tratto di costa da Pomposa a Cervia - prospiciente i campi di Naomi-Pandora, Guendalina e Tea-Lavanda-Arnica - le livellazioni disponibili non sono completamente omogenee tra loro poiché le quote di alcuni capisaldi sono state misurate solo a partire dal 2003. Di conseguenza si sono stimate con regressione lineare solo le velocità medie d’abbassamento del suolo per quei capisaldi che presentano una serie storica ininterrotta di misure a partire dal 1999.

Tali velocità sono riportate in Figura A per i seguenti periodi: 1999-2009, 1999-2014 e 1999-2017. Il loro confronto mostra come negli ultimi anni si sia registrata una generale diminuzione di dette velocità; diminuzione che è mediamente dell'ordine di 2.4 mm/a.

**Figura A – Tratto Pomposa-Cervia: velocità medie di subsidenza**



Le misurazioni di campagna si sono svolte nel pieno rispetto delle specifiche tecniche, con il controllo periodico dei supervisori e con la verifica di chiusura di tutti i tratti in andata e ritorno, nonché di tutti i poligoni realizzati. I parametri matematici della compensazione rientrano nei canoni previsti, sia per i valori di chiusura, sia per i valori legati alla propagazione dell'errore. 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 GPS 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.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 10 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

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 sul manufatto su cui i capisaldi stessi sono stati materializzati.

Al fine d’ottenere una rappresentazione areale della subsidenza o della velocità media di subsidenza di una certa area è necessario avere, quindi, misure di livellazione di più capisaldi, per la cui interpretazione può convenire poi una suddivisione in opportune classi di valori. Considerando, infatti, nel tratto di costa da Pomposa a Cervia solo i capisaldi con una serie storica ininterrotta di, misure, se ne possono analizzare le relative velocità medie di abbassamento del suolo<sup>3</sup> ( $V_a$ ) - stimate con regressione lineare - raggruppandole nelle seguenti 5 classi:

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

L’elaborazione con questo approccio delle misure di livellazione del periodo 1999-2017 mostra un trend di generale abbassamento di questo tratto di costa. Il 51% dei punti ricade, infatti, nella classe 3, il 47% dei punti ricade nella classe 4 e solo un caposaldo, con una velocità  $V_a$  di 4.5 mm/a, ricade nella classe 2.

L’analisi aggiornata con i dati del 2017 mostra, come descritto in precedenza, un rallentamento della velocità di abbassamento, diffuso su tutto il tratto analizzato. Infatti, si collocano nella classe 2 il 12% dei punti analizzati, il 69% dei punti si colloca nella classe 3 ed è in diminuzione la percentuale dei punti in classe 4 (19%).

Le campagne future (il prossimo rilievo è previsto nel 2020), insieme al progressivo miglioramento della nuova metodologia di compensazione basata sulle velocità delle stazioni CGPS, potranno eventualmente meglio definire i trend di movimento del tratto analizzato, al netto di

---

<sup>3</sup> Nel presente rapporto di norma le velocità di subsidenza (i.e di abbassamento della superficie del suolo) 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 NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 11 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

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).

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; negli stessi siti sono stati perforati tra ottobre e dicembre 2008 anche 3 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 (Appendice B).

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

Allo stato attuale la stazione di Ortona non è più operativa dal 19 aprile 2013 per l'alienazione dell'area. Nel novembre 2016, infine, è stata messa in opera una nuova postazione CGPS a Miglianico (completata con i *corner reflector* nel mese di maggio 2017). Nel corso del 2018,

sono state installate due nuove postazioni CGPS, entrambe nella configurazione S.S.U. sulle postazioni di Pomposa (ACPO – installata a settembre 2018) e di Po di Tolle (POTO – installata nel mese di luglio 2018). 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 Naomi-Pandora, 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.

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 anche i dati non certificati, vista la loro generale convergenza con quelli certificati, come mostrato in Tabella 2.

**Tabella 2 - 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
Naomi-Pandora	18.14	21.67	-1.53	18.02	21.63	-1.87	0.12	-0.04	0.34

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.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 13 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

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:
  - o piccoli valori di subsidenza: analisi tendenziale del fenomeno e monitoraggio delle anomalie verso il trend previsionale;
  - o grandi valori di subsidenza: 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 Naomi-Pandora, sulla base di una serie storica di misure CGPS di durata superiore a 36 mesi, è possibile stimare una velocità media di subsidenza totale<sup>4</sup> pari a -2.07

---

<sup>4</sup> La "subsidenza totale" rappresenta in questo caso l'abbassamento altimetrico che il fondale marino subisce in corrispondenza della piattaforma su cui è installato il CGPS. A determinare tale "subsidenza totale" concorrono vari fenomeni: la compattazione di strati profondi per estrazione di gas (subsidenza antropica), movimenti tettonici e costipazione naturale dei sedimenti (subsidenza naturale), compattazione dei sedimenti più superficiali a fondo mare per effetto del peso della piattaforma. Quest'ultimo fenomeno è evidente soprattutto nel periodo immediatamente successivo all'installazione della piattaforma stessa.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_NAPO</p>	<p>Page - 14 - of 65</p>
---	--	--	--------------------------

mm/a (Figura 11 e Figura 13) invariata rispetto al valore di -2.03 mm/a al 2018 riportato nella precedente relazione d'aggiornamento.

Eventuali piccole differenze nelle stime delle velocità, 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.

La storia produttiva del campo di Naomi-Pandora può essere suddivisa in tre fasi distinte:

- una prima fase di produzione da settembre 2001 a marzo 2003 (durante la quale è iniziata la registrazione del CGPS);
- un lungo periodo di chiusura della produzione dei pozzi (2003-2011);
- la ripresa della produzione a partire da giugno 2011.

Durante la chiusura dei pozzi il CGPS ha misurato una velocità media d'abbassamento del fondale marino in corrispondenza della piattaforma pari a ca. -0.9 mm/a (Figura 12). Tale valore può essere considerato espressione della velocità di subsidenza naturale in quell'area stante il grande intervallo di tempo intercorso (8 anni ca.), tra la chiusura e la riapertura alla produzione del campo.

I valori di subsidenza stimati con il modello geomeccanico del dicembre 2017 sono stati confrontati con quelli misurati dal CGPS (aggiornati al 31/12/2019), depurati della componente di subsidenza naturale il cui valore è stato precedentemente calcolato.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 15 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

Il confronto con gli scenari previsionali Medio e Upper del modello geomeccanico è mostrato in Figura 14 dove si può osservare come le simulazioni riproducano con buona approssimazione l'andamento della subsidenza rilevata dalla stazione CGPS (depurata dalla componente naturale), confermando così l'attendibilità delle previsioni formulate.

Al fine di monitorare la compattazione profonda del giacimento, si è proceduto a settembre 2019, al rilievo dei *marker* installati nel pozzo di Naomi 4dir. Le precedenti registrazioni con la sonda FSMT (*Formation Subsidence Monitoring Tool*) sono datate 06/2001, 05/2002, 03/2011, 04/2012, 12/2013, 06/2014, 09/2015, 12/2016, 12/2017, 12/2018.

In Figura 15 sono riportati i risultati delle misure FSMT (espressi in mm) tra rilievi successivi dal 2001 al 2019. È da segnalare che le misure acquisite con il *survey* del dicembre 2013 sono caratterizzate da una deviazione standard così elevata da inficiarne l'attendibilità complessiva, e per tale ragione sono state scartate.

Le misure eseguite nel pozzo Naomi 4dir su un tratto di formazione di circa 60m (intervallo di profondità compreso tra 3084m e 3141m) forniscono, per il periodo 2001÷2019 (vedi Totale cumulativo in Figura 15), una compattazione totale di circa 48 mm (compattazione totale media, che tiene conto della spaziatura dei marker che risulta essere di 5.25m invece che 10.5m).

Tale valore è in sostanziale accordo con i risultati del modello geomeccanico (dicembre 2017), che prevedono valori di compattazione compresi tra 33 mm (Figura 15) per lo scenario Medio e 87 mm per lo scenario Upper a fine simulazione (vedi *rel. REIT 07/2017 di dicembre 2017 – Campo di Naomi e Pandora - Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary*).

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

Si segnala infine che:

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

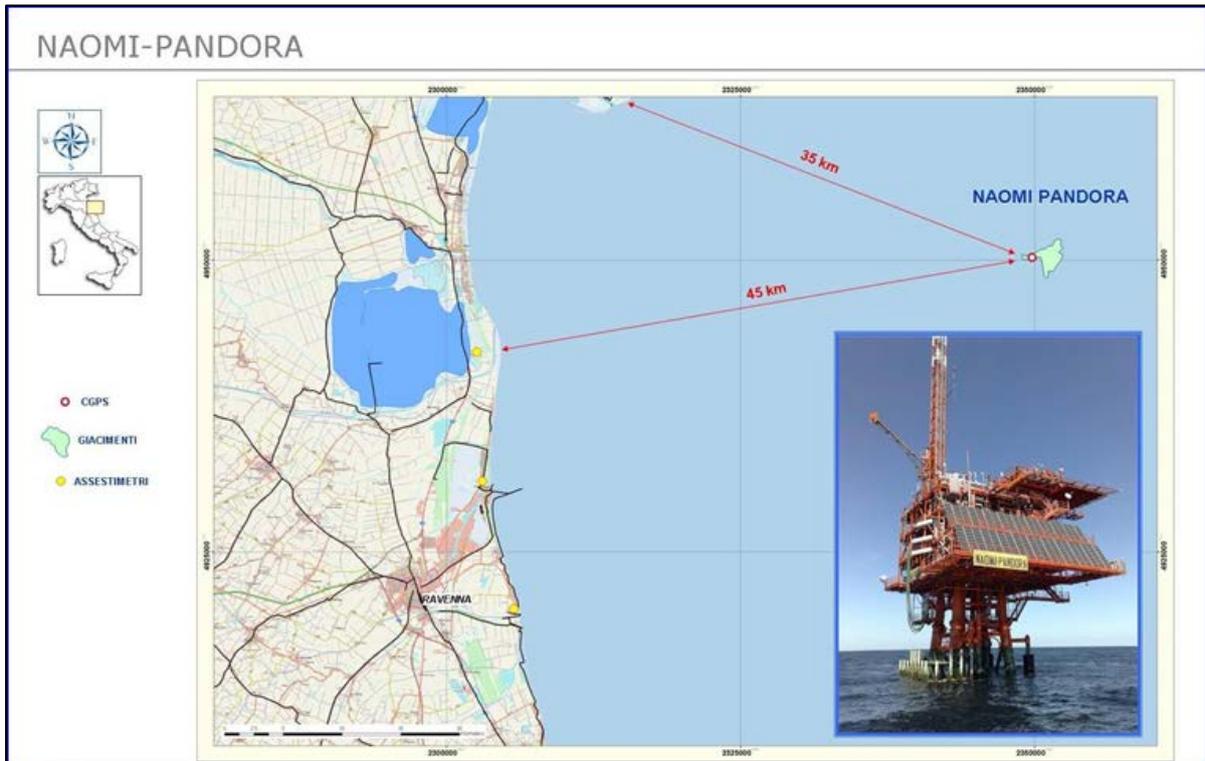


Figura 1 - Ubicazione del campo di Naomi Pandora

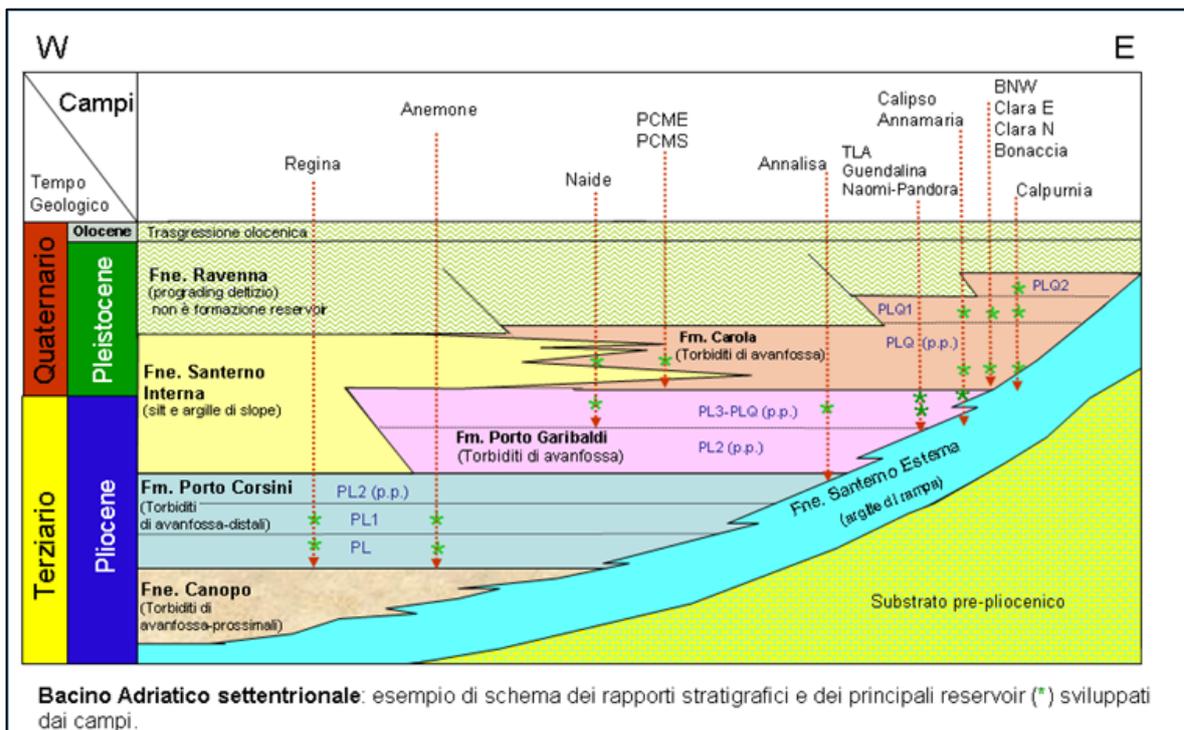


Figura 2 - Schema dei rapporti stratigrafici

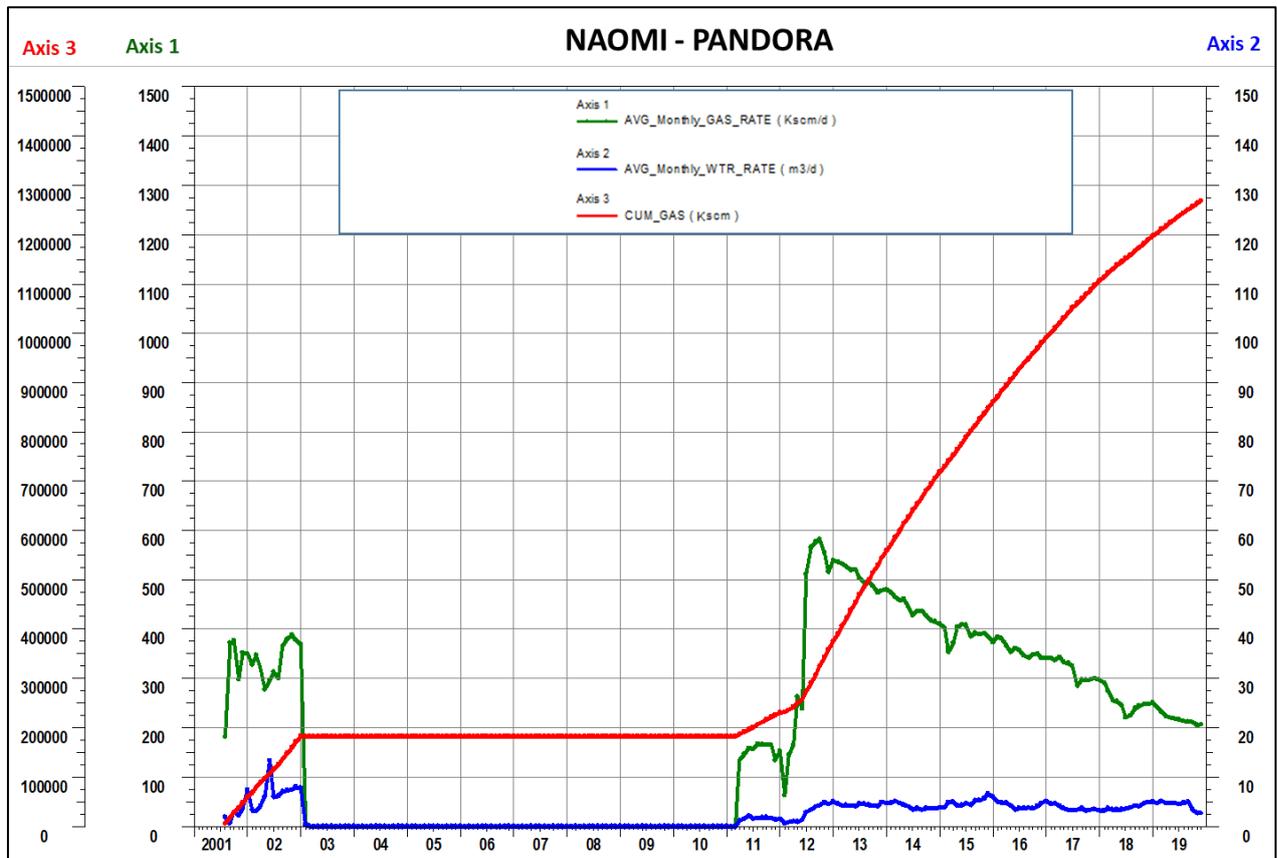


Figura 3 - Campo di Naomi-Pandora: grafico della produzione storica

CAMPI DI NAOMI-PANDORA					
ANNO	Produzione annuale (MSm <sup>3</sup> )		Produzione cumulativa (MSm <sup>3</sup> )		Rapporto Produzione reale vs Riserve modello 3D ECLIPSE
	Reale	Modello 3D ECLIPSE	Reale	Modello 3D ECLIPSE	
2001	48	48	48	48	2%
2002	123	123	171	171	7%
2003	12	12	183	183	8%
2004	0	0	183	183	8%
2005	0	0	183	183	8%
2006	0	0	183	183	8%
2007	0	0	183	183	8%
2008	0	0	183	183	8%
2009	0	0	183	183	8%
2010	0	0	183	183	8%
2011	43	43	226	226	10%
2012	133	133	358	358	16%
2013	186	186	544	544	24%
2014	162	162	706	706	31%
2015	143	143	849	849	37%
2016	131	131	980	980	43%
2017	116	125	1097	1105	48%
2018	93	122	1189	1227	52%
2019	80	114	1270	1341	55%
2020		109		1450	
2021		101		1552	
2022		93		1645	
2023		83		1728	
2024		75		1803	
2025		64		1866	
2026		58		1924	
2027		52		1977	
2028		48		2025	
2029		44		2068	
2030		40		2108	
2031		36		2144	
2032		33		2178	
2033		30		2208	
2034		28		2236	
2035		25		2261	
2036		22		2282	
2037		18		2300	

Figura 4 - Campo di Naomi-Pandora: produzione reale e da modello Eclipse 2017 (riportata fino al 2037)

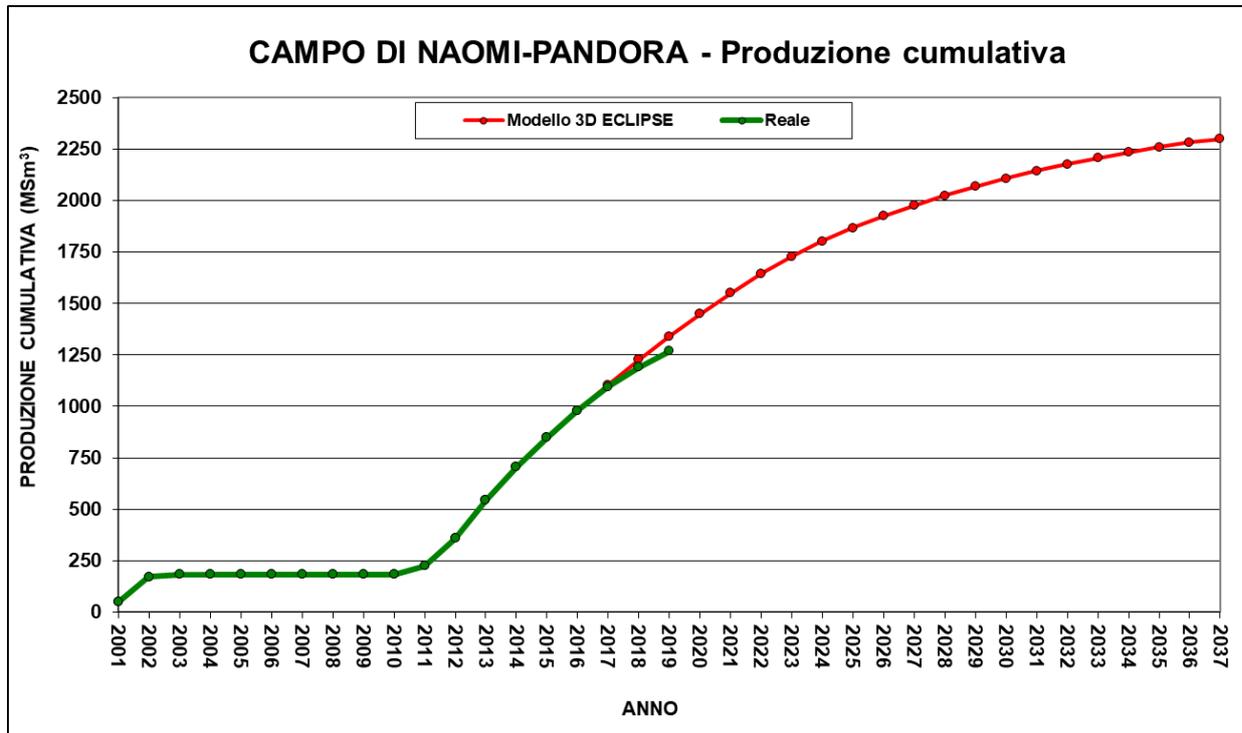


Figura 5 - Campo di Naomi-Pandora: grafico di produzione reale e da modello Eclipse 2017

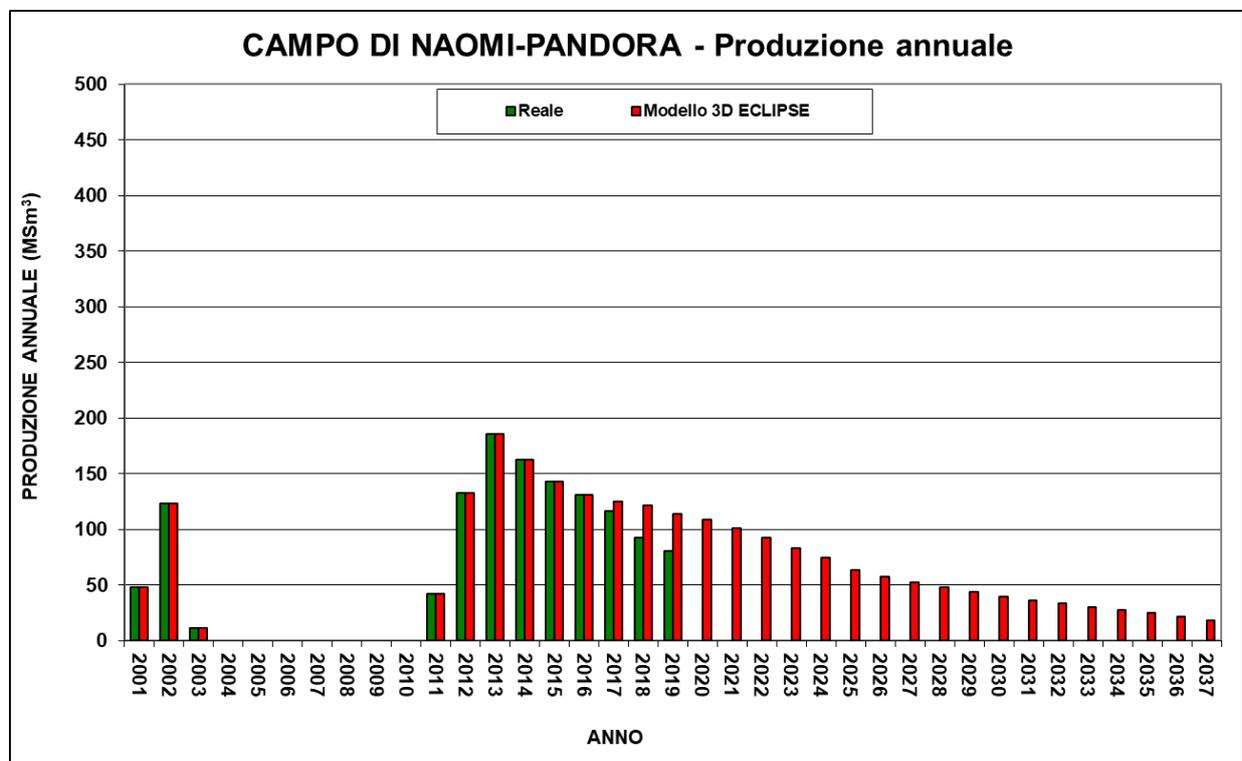


Figura 6 - Campo di Naomi-Pandora: produzione (annuale) reale e da modello Eclipse 2017

CAMPI DI NAOMI-PANDORA			
Data	Livello PL3-H1		
	Pressione (bara)	RFT in pozzo	Profilo in string
01/01/1995	295	Nao 1	
09/08/2002	276		Nao 3 C
19/03/2011	284		Pand 2 S
02/08/2011	284		Nao 2 L
30/06/2012	269		Nao 2 C
01/07/2012	273		Pand 2 S
25/06/2014	220		Nao 3 C
09/04/2015	217		Nao 2 C
25/12/2016	195		Nao 3 C
06/01/2018	188		Nao 3 C
16/12/2018	182		Nao 3 C
15/09/2019	179		Nao 3 C

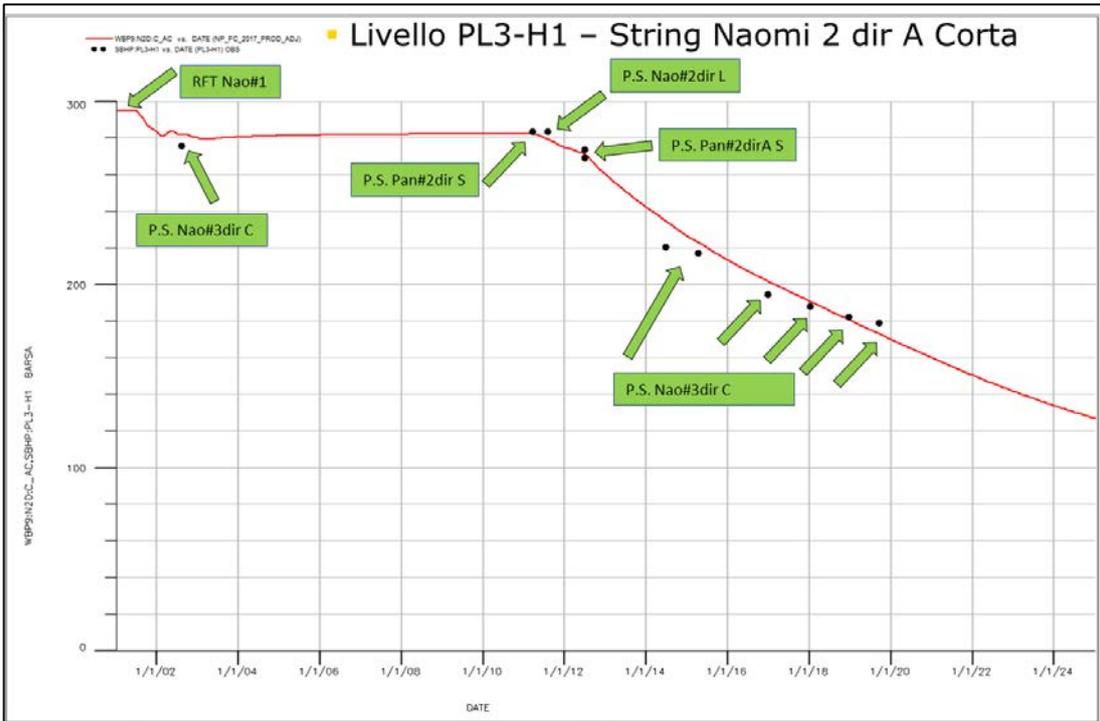
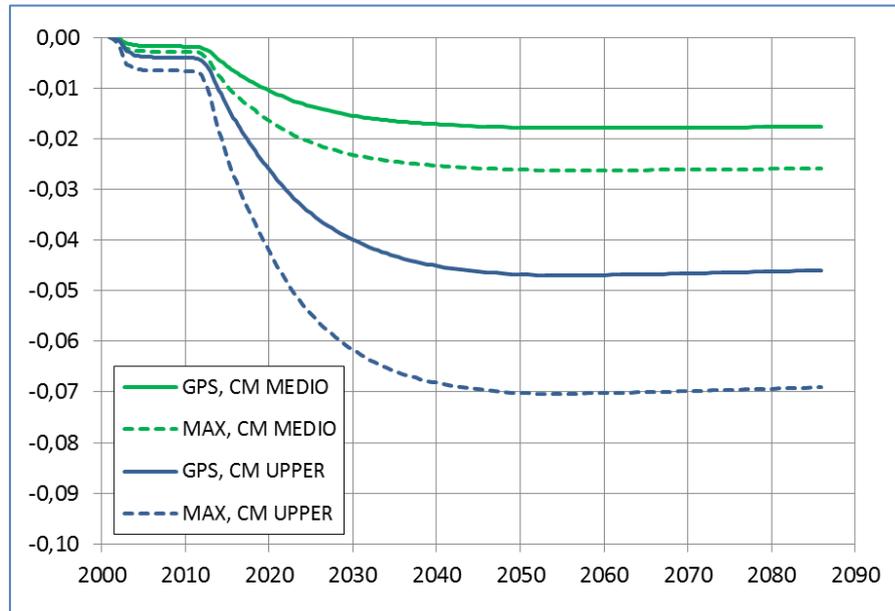
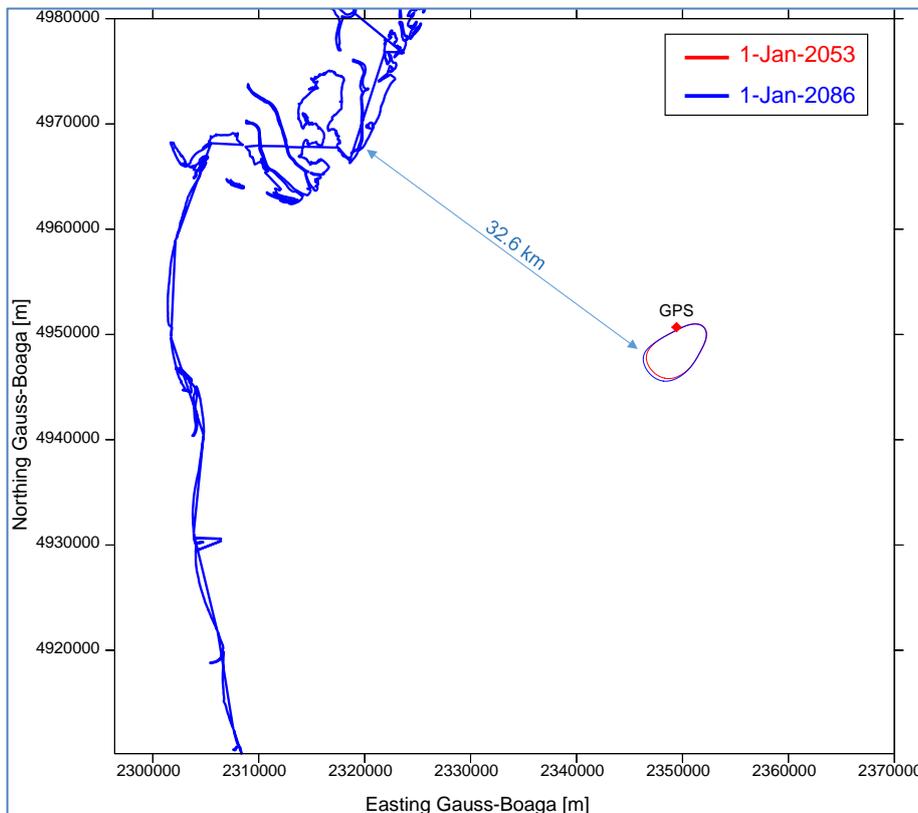


Figura 7 - Campo di Naomi-Pandora: pressioni statiche misurate e modello Eclipse 2017 (liv. PL3-H1)

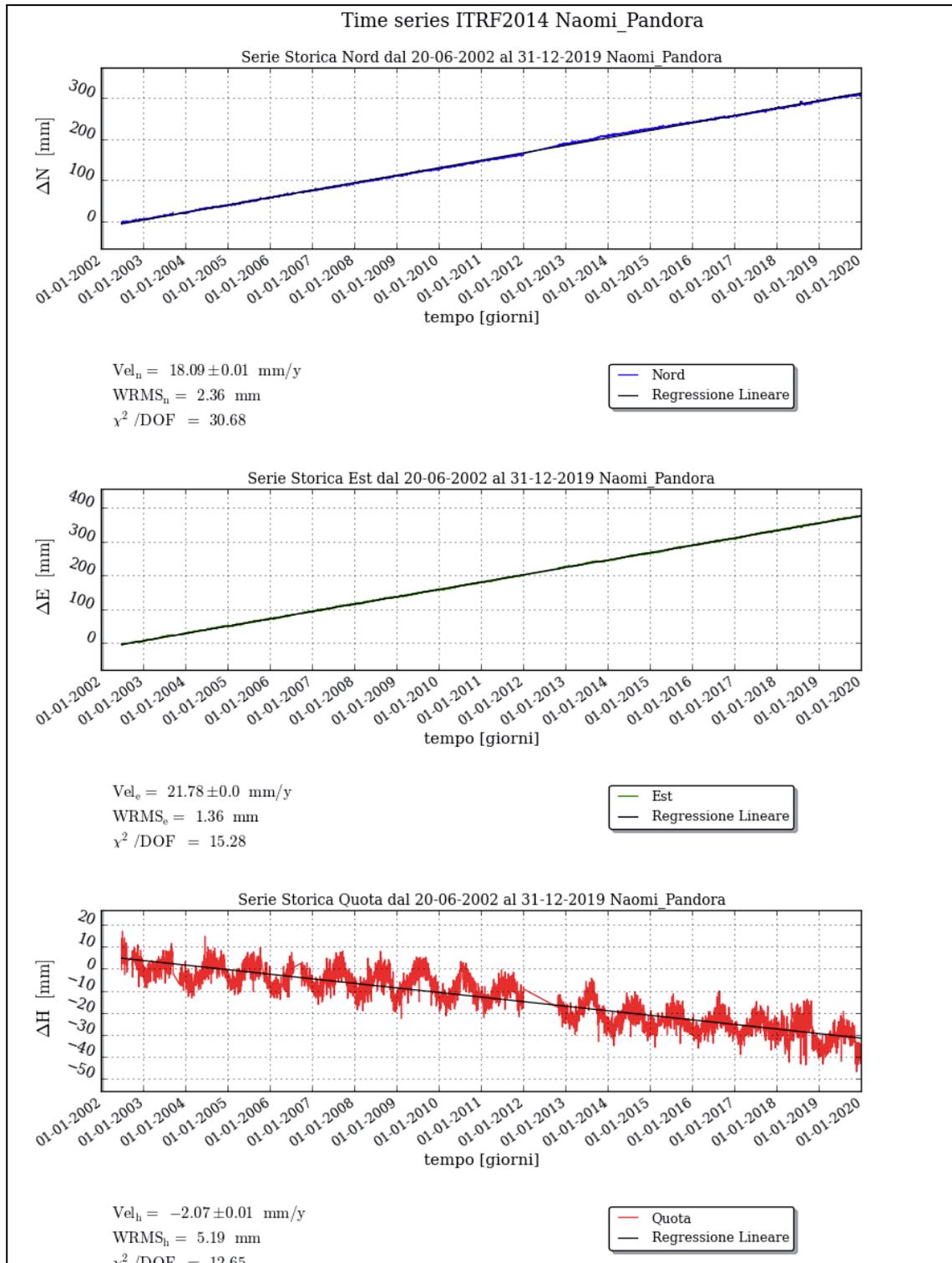


**Figura 8 - Campo di Naomi-Pandora: evoluzione temporale della subsidenza nel punto di massimo ed in corrispondenza del CGPS in piattaforma per i casi Cm Medio e Cm Upper (modello geomeccanico - dicembre 2017).**



**Figura 9 - Campo di Naomi-Pandora: evoluzione temporale della linea d'iso-subsidenza dei 2 cm per lo scenario Medio al 2053 e al 2086 (modello geomeccanico dicembre 2017)**





**Figura 11 - Campo di Naomi-Pandora: serie storiche di misure CGPS al 31/12/2019**

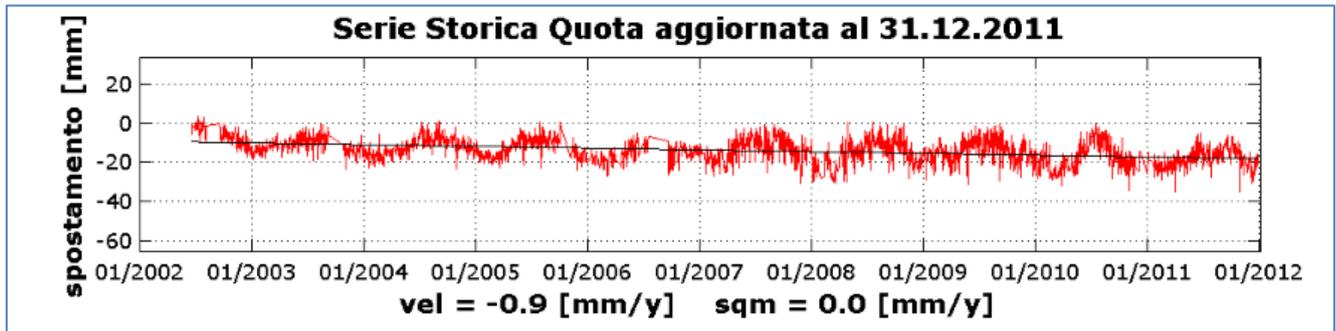


Figura 12 - Campo di Naomi-Pandora: serie storiche di misure CGPS al 31/12/2011

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

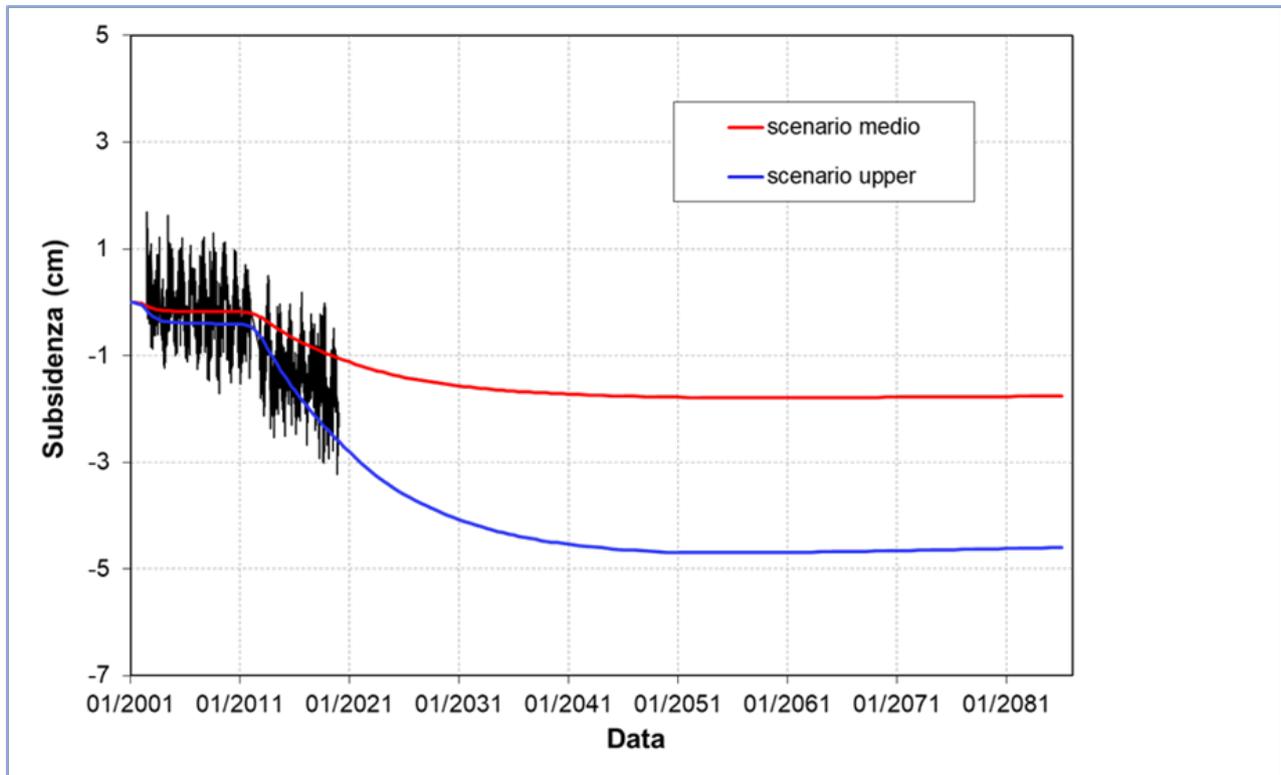


Figura 14 - Campo di Naomi-Pandora: misure CGPS depurate dalla componente naturale (agg. 31 dic. 2019) vs. modello di subsidenza (modello geomeccanico dicembre 2017)

COMPATTAZIONE NAOMI 4 Dir																				
spacing	Ref. Depth		Giu 2001 - Mag 2002		Mag 2002 - Mar 2011		Mar 2011 - Apr 2012		Apr 2012 - Giu 2014		Giu2014 - Set 2015		Set 2015 - Dic 2016		Dic 2016 - Dic 2017		Dic 2017 - Dic 2018		Dic 2018 - Set 2019	
	MD (m)		Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato	Misurato	Simulato
#	top	bottom	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10	3083,9	3092,3	-3	0	-1	0	-2	0	4	0	2	0	-2	0	0	0	4	0	1	0
9	3089,0	3099,3	-3	0	2	0	-1	0	5	0	-2	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0
8	3092,3	3104,1	-1	0	-10	0	13	0	-2	0	-1	0	1	0	-2	0	-1	0	7	0
7	3099,3	3109,3	-2	0	2	0	8	0	-6	-1	-5	0	-4	0	0	0	1	0	-5	0
6	3104,1	3115,3	-5	-0,7	4	-1	-4	-1	-6	-3	-1	-2	-5	-1	4	-1	-8	-1	3	-1
5	3109,3	3120,3	-5	-1,2	4	-2	0	-1	0	-5	-11	-2	-3	-2	4	-1	-5	-1	-2	-1
4	3115,3	3125,5	-3	-1,3	-2	-1	5	-1	-5	-4	0	-2	-6	-2	-4	-1	4	-1	-3	-1
3	3120,3	3130,7	-4	-1,0	4	-1	2	0	-2	-3	-6	-2	-3	-1	-8	-1	8	-1	-4	-1
2	3125,5	3135,8	-4	-0,4	2	-1	-2	0	3	-1	-7	0	-2	0	1	0	-2	0	0	0
1	3130,7	3140,8	-1	-0,1	4	-1	-6	0	2	-2	-7	-1	-2	0	3	0	0	0	-6	0
Totale			-16,4	-2,5	6	-3	5	-2	-3	-10	-21	-5	-14	-4	0	-3	3	-2	-7	-2
Totale cumulativo			-16,0	-2,5	-10	-6	-6	-8	-9	-18	-30	-23	-44	-27	-44	-30	-41	-31	-48	-33

Figura 15 – Pozzo Naomi 4dir: confronto tra la compattazione misurata con markers radioattivi e compattazione simulata (scenario Medio) nel campo di Naomi nell'arco temporale 2001-2019

campo NAOMI-PANDORA (Eni 100%)																					
DATI DI CAMPO		DEC.VIA n. 5369 del 04 ottobre 2000																			
UBICAZIONE PROFONDITA' FONDALE		AGGIORNAMENTO MODELLO DI GIACIMENTO E SUBSIDENZA (NAOMI-PANDORA)																			
LITOLOGIA FORMAZIONE RESERVOIR ZONA MINERARIA PROFONDITA' RESERVOIR TIPO DI PIATTAFORMA CARATTERISTICHE GEOLOGICHE		<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. monocella "febbraio '98"</td> <td>Studio di giacimento, Rel. GISE-02/2017 (marzo 2017)</td> </tr> <tr> <td>RISERVE (MSm<sup>3</sup>)</td> <td>1611</td> <td>2300</td> </tr> <tr> <td>MOD. GEOMECCANICO</td> <td>GEERTSMA SEMIANALITICO</td> <td>ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2017</td> </tr> <tr> <td>MAX SUBS AL CENTRO (cm)</td> <td>1,8 (dopo 7 anni)</td> <td>2,6cm @ 2049 - scenario Cm Medio massimo</td> </tr> <tr> <td>MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)</td> <td>#</td> <td>32,6 Km @ 2053 (nello scenario Cm Medio)</td> </tr> </tbody> </table>			SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO	STUDIO DI GIACIMENTO	Mod. monocella "febbraio '98"	Studio di giacimento, Rel. GISE-02/2017 (marzo 2017)	RISERVE (MSm <sup>3</sup> )	1611	2300	MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2017	MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1,8 (dopo 7 anni)	2,6cm @ 2049 - scenario Cm Medio massimo	MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	#	32,6 Km @ 2053 (nello scenario Cm Medio)
	SIA	ULTIMO AGGIORNAMENTO																			
STUDIO DI GIACIMENTO	Mod. monocella "febbraio '98"	Studio di giacimento, Rel. GISE-02/2017 (marzo 2017)																			
RISERVE (MSm <sup>3</sup> )	1611	2300																			
MOD. GEOMECCANICO	GEERTSMA SEMIANALITICO	ELEMENTI FINITI (F.E.M.) @ dicembre 2017																			
MAX SUBS AL CENTRO (cm)	1,8 (dopo 7 anni)	2,6cm @ 2049 - scenario Cm Medio massimo																			
MINIMA DISTANZA DALLA COSTA (km)	#	32,6 Km @ 2053 (nello scenario Cm Medio)																			
CONCESSIONE		STATUS ATTUALE DEI MONITORAGGI																			
DATA SCADENZA CONCESSIONE	A.C33.AG	<p><b>LIVELLAZIONI</b> ACQUISITI I DATI DI LIVELLAZIONE SUL TRATTO DI COSTA (DORSALE ADRIATICA) 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 DELLA RETE DI LIVELLAZIONE (DORSALE ADRIATICA) SARA' EFFETTUATO NEL CORSO DEL 2020 NEL TRATTO DI COSTA ANTISTANTE IL GIACIMENTO</p>																			
N. POZZI	3	<p><b>MARKERS</b> MARKERS SU NAOMI 4D: ULTIMO SURVEY @ dicembre 2019 SURVEY ESEGUITI: giugno 2001 (rilevo base), maggio 2002, marzo 2011, aprile 2012, dicembre 2013, giugno 2014, settembre 2015, dicembre 2016, dicembre 2017 e dicembre 2018</p>																			
RISERVE TECNICHE A VITA INTERA (MSm <sup>3</sup> )	1611	<p><b>CGPS</b> OPERATIVO DAL GIUGNO 2002</p>																			
START UP PRODUZIONE	ago-01	<p><b>SAR</b> 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. di NAOMI NEL PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA. ATTUALMENTE IN CORSO IN MOLTI GIACIMENTI DELL'ADRIATICO</p>																			
FINE PRODUZIONE PREVISTA	2017																				
GAS PRODOTTO (MSm <sup>3</sup> )																					
% RISERVE PRODOTTE																					

Figura 16 - Campo di Naomi-Pandora: scheda di sintesi dati campo

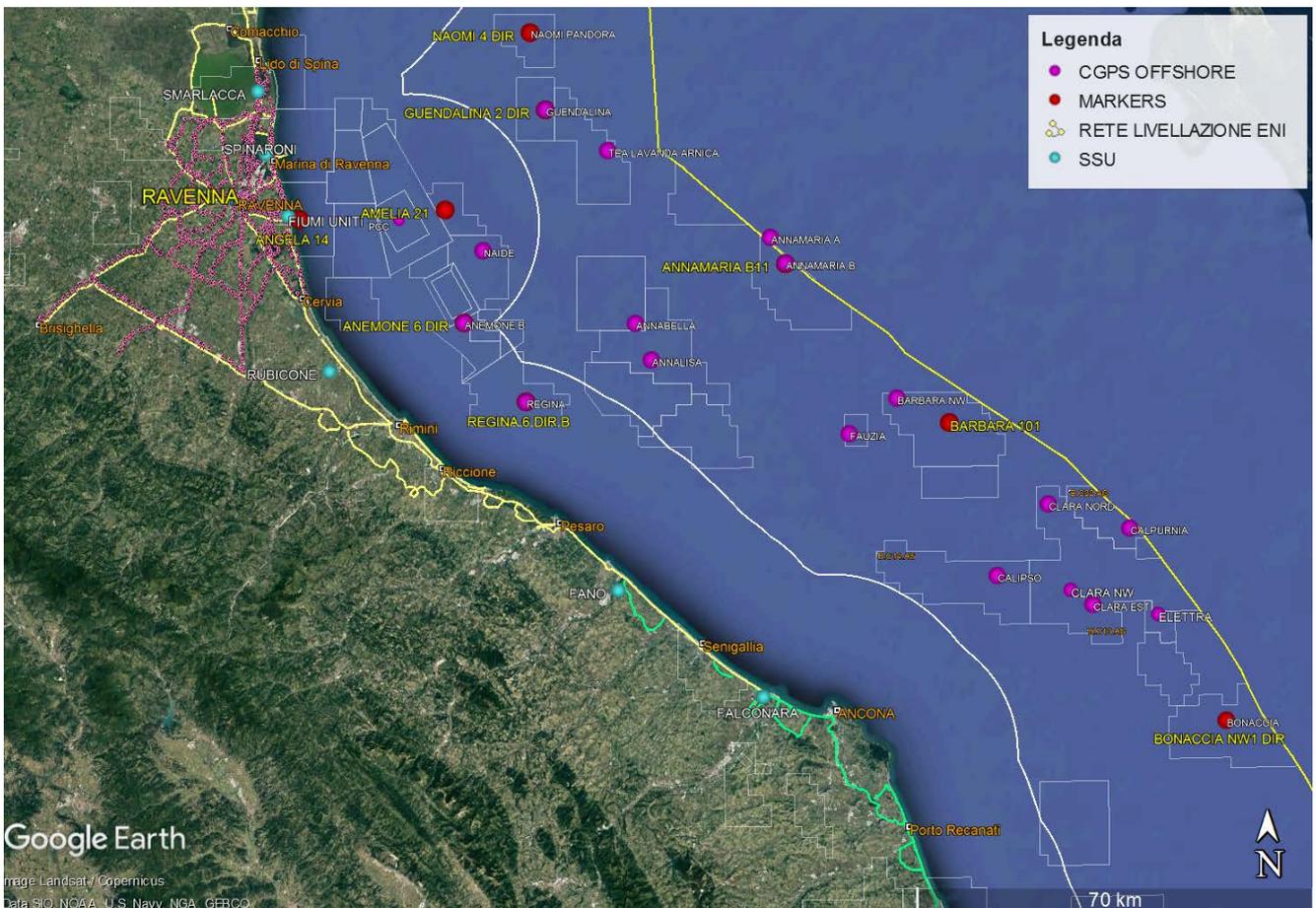


Figura 17 - Particolare della rete di monitoraggio Eni

## 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 accorpare 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-ANCONA	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

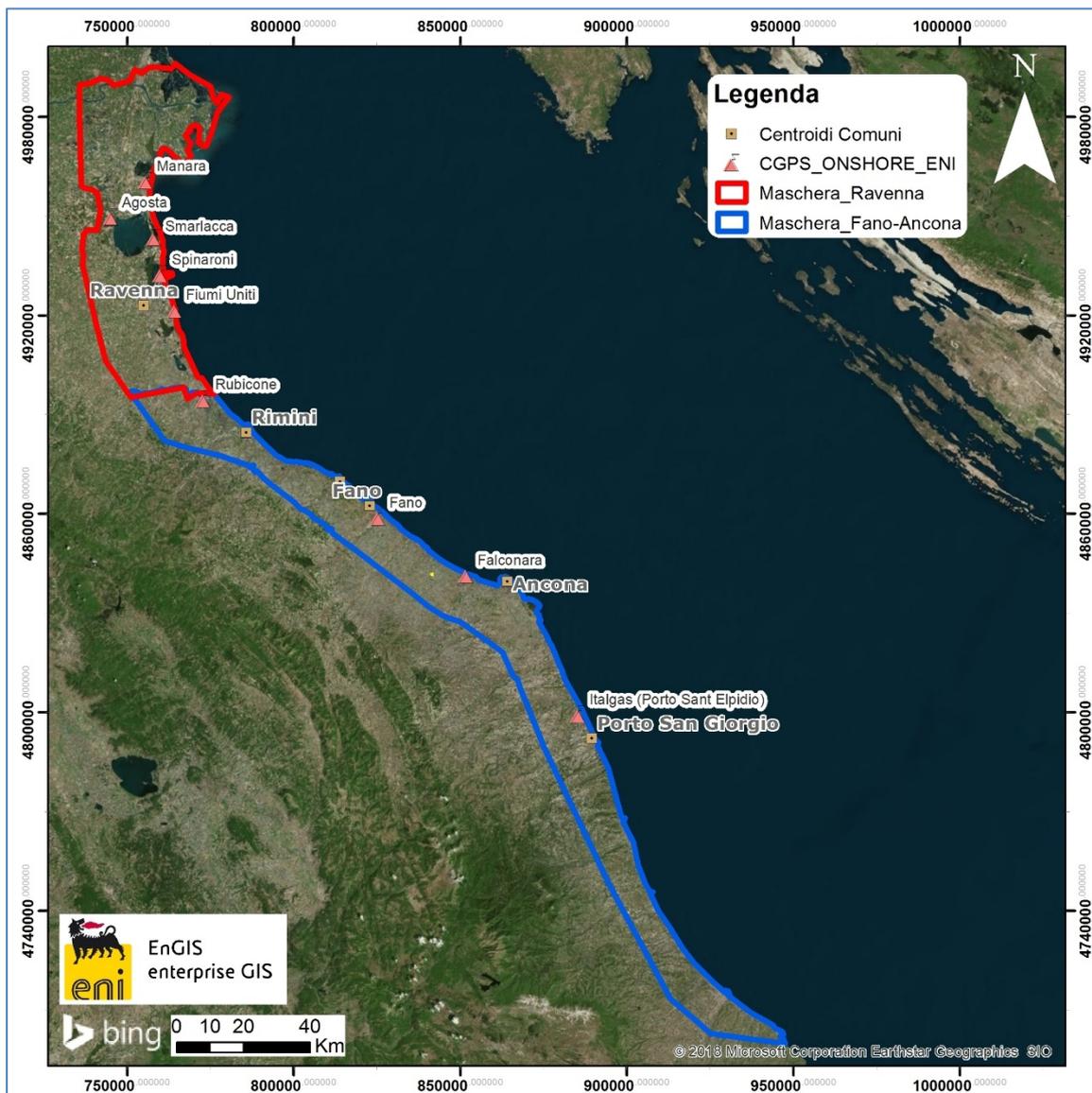


Fig. 1 – Mappa mosaicatura dati InSAR

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 29 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

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.

In Fig. 2 è visualizzata l'interpolazione dei dati mosaicati, per l'area Ravenna nel tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico. L'interpolatore utilizzato è l'algoritmo di IDW (Inverse Distance Weighted) con Tool ArcGis Spatial Analyst®.

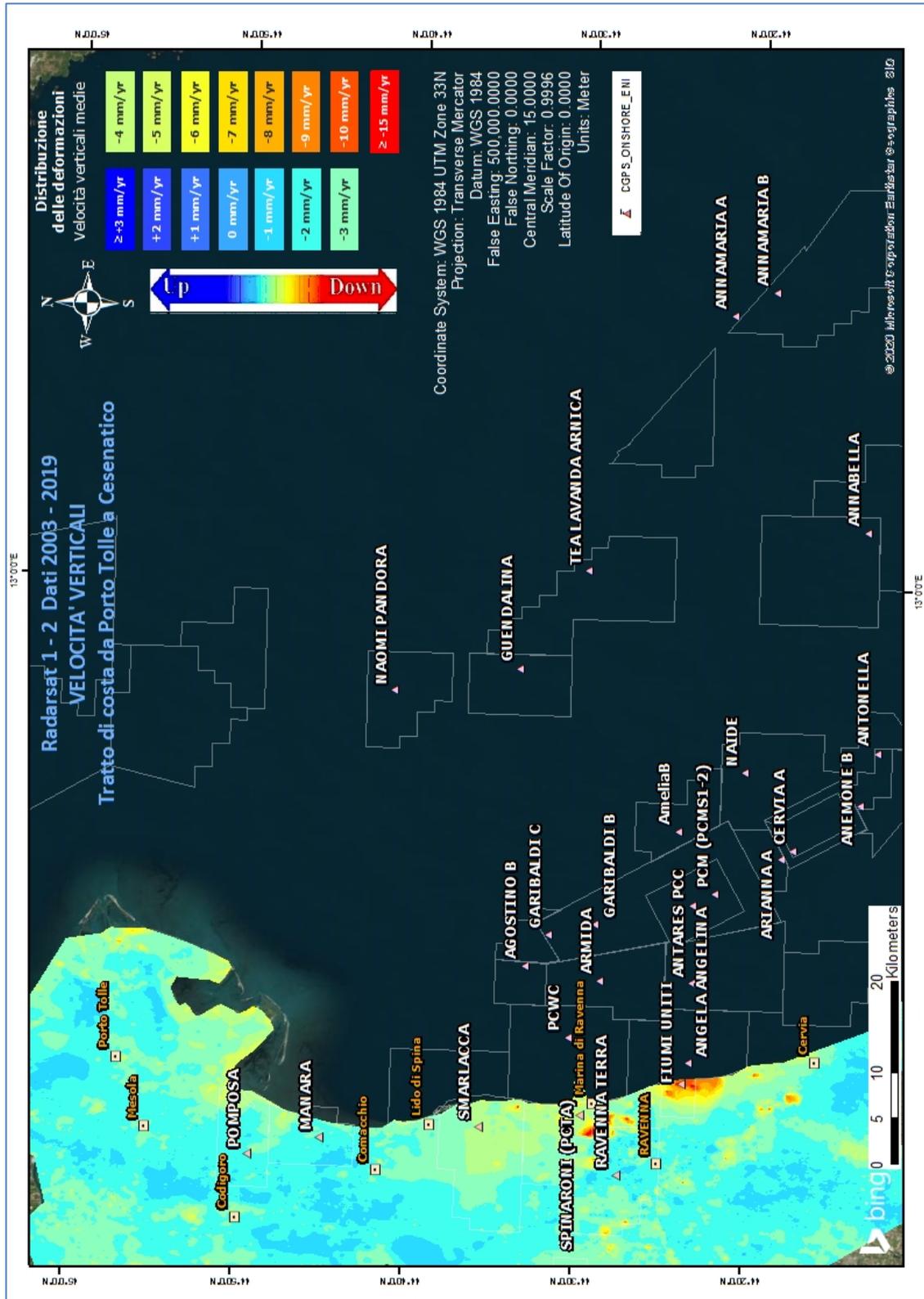


Fig. 2 - Interpolazione IDW (Inverse Distance Weighted) dei dati Radarsat 1 -2, per il periodo 2003 – 2019, con Tool ArcGIS Spatial Analyst®. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 31 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

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®.



### 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.

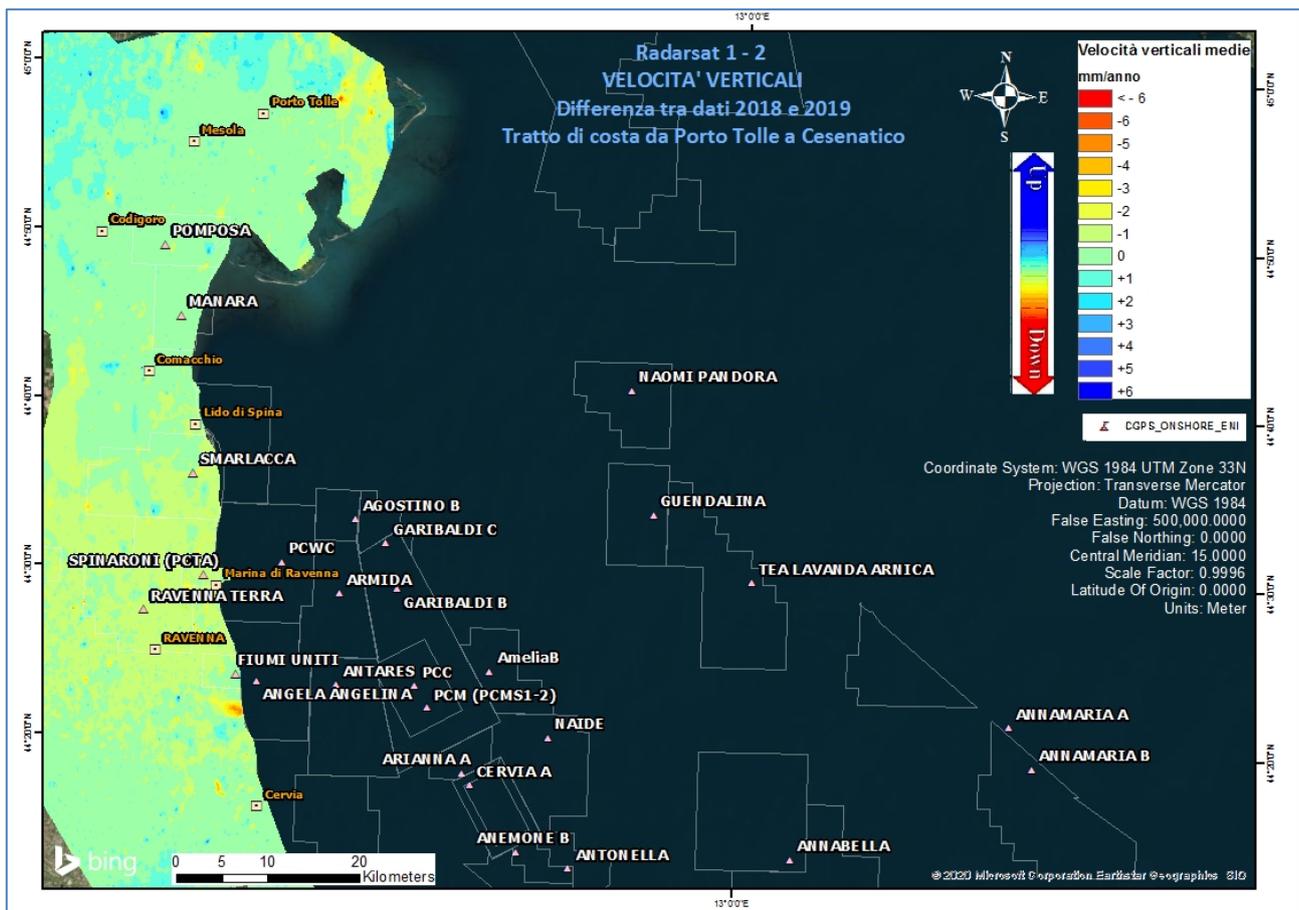


Fig. 4 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Porto Tolle a Cesenatico.

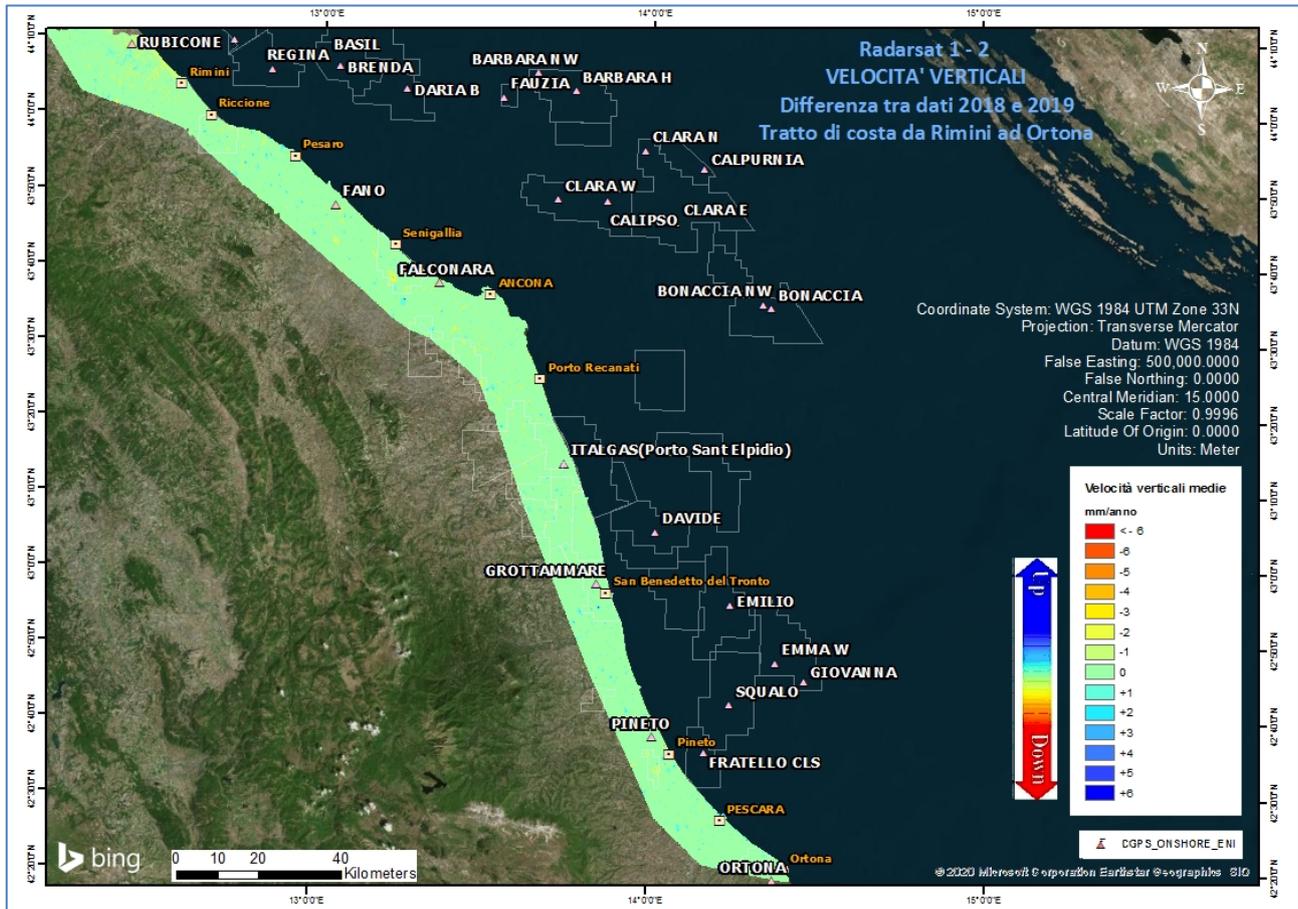


Fig. 5 – Mappa delle differenze prodotta tra il database 2003-2018 e il 2003-2019, utilizzando il Tool Math – Spatial Analyst® di ArcGIS™. Tratto di costa da Rimini a Ortona.

### 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

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 35 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

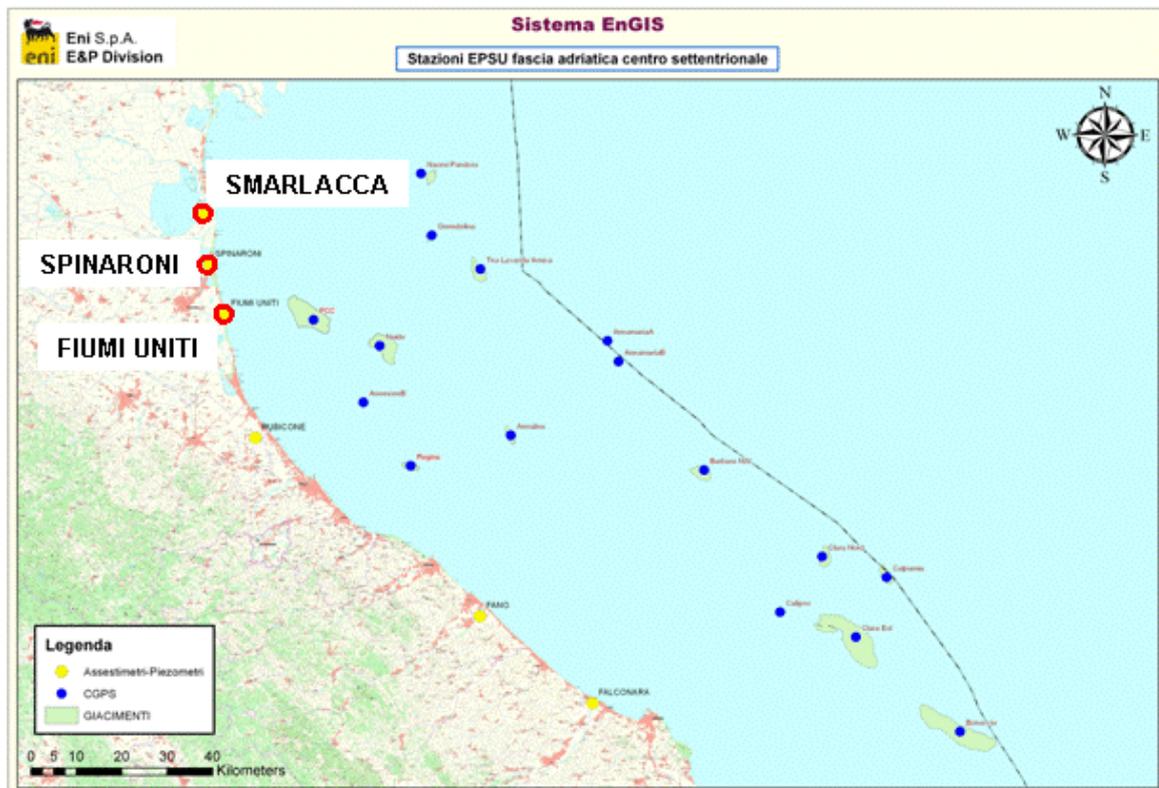
così da poter evidenziare spostamenti relativi dei PS nel tempo anche solo di pochi millimetri. L'interferometria differenziale si basa su un sensore SAR a bordo di un satellite che invia un impulso elettromagnetico verso la superficie terrestre e riceve il segnale retrodiffuso. Misurando il ritardo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

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

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

## Appendice B: stazioni *EPSU* lungo la fascia costiera compresa tra Comacchio e Cervia - aggiornamento dicembre 2019

Il monitoraggio della compattazione superficiale, lungo la fascia costiera adriatica compresa tra Comacchio e Cervia, è effettuato tramite 3 stazioni *EPSU* (*Extensometric Piezometric Survey Unit*) denominate: Smarlacca, Spinaroni e Fiumi Uniti. L'ubicazione di tali stazioni, installate tra il 1994 e il 1997, è riportata in Figura 1B.



**Figura 1B - Ubicazione delle stazioni EPSU**

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

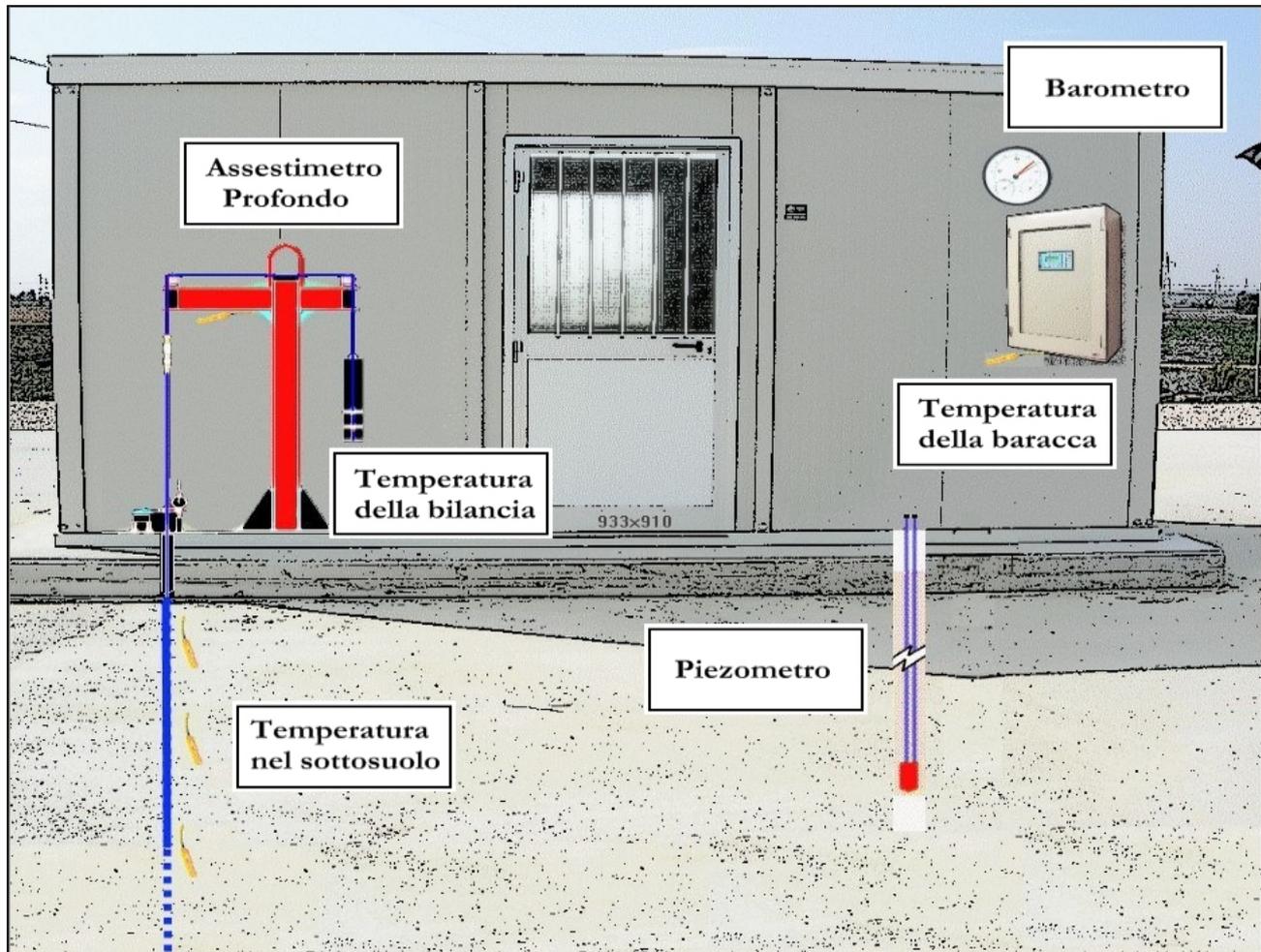


Figura 2B - Rappresentazione schematica di una stazione EPSU

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

Località'	Pozzo	Strumentazione	Profondità' (da P.C.)	Data d'installazione
<b>Smarlacca</b>		Assestimetro profondo	336 m	Nov.1997
		Assestimetro superficiale	30 m	Nov.1997
		Piezometro profondo	150.8 m	Nov.1997
<b>Spinaroni</b>		Assestimetro profondo	336 m	Nov.1997
		Piezometro profondo	150.8 m	Nov.1997
<b>Fiumi Uniti</b>		Assestimetro profondo	372.85 m	Set. 1994
		Assestimetro superficiale	224.2 m	Set. 1994
		Piezometro profondo	360 m (disattivato)	Set. 1994
		Piezometro intermedio	243 m (disattivato)	Set. 1994
		Piezometro superficiale	148 m (disattivato)	Set. 1994
	PS-1	Piezometro tubo aperto	10.5 m	Dic. 2011
	PS-2	Piezometro tubo aperto	30.5 m	Dic. 2011
	PP-1	Piezometro tubo aperto	373.5 m	Dic. 2011
	PP-2	Piezometro tubo aperto	257 m	Dic. 2011
	PP-3	Piezometro tubo aperto	163 m	Dic. 2011

Per ciascuna stazione *EPSU* vengono di seguito presentati:

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

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

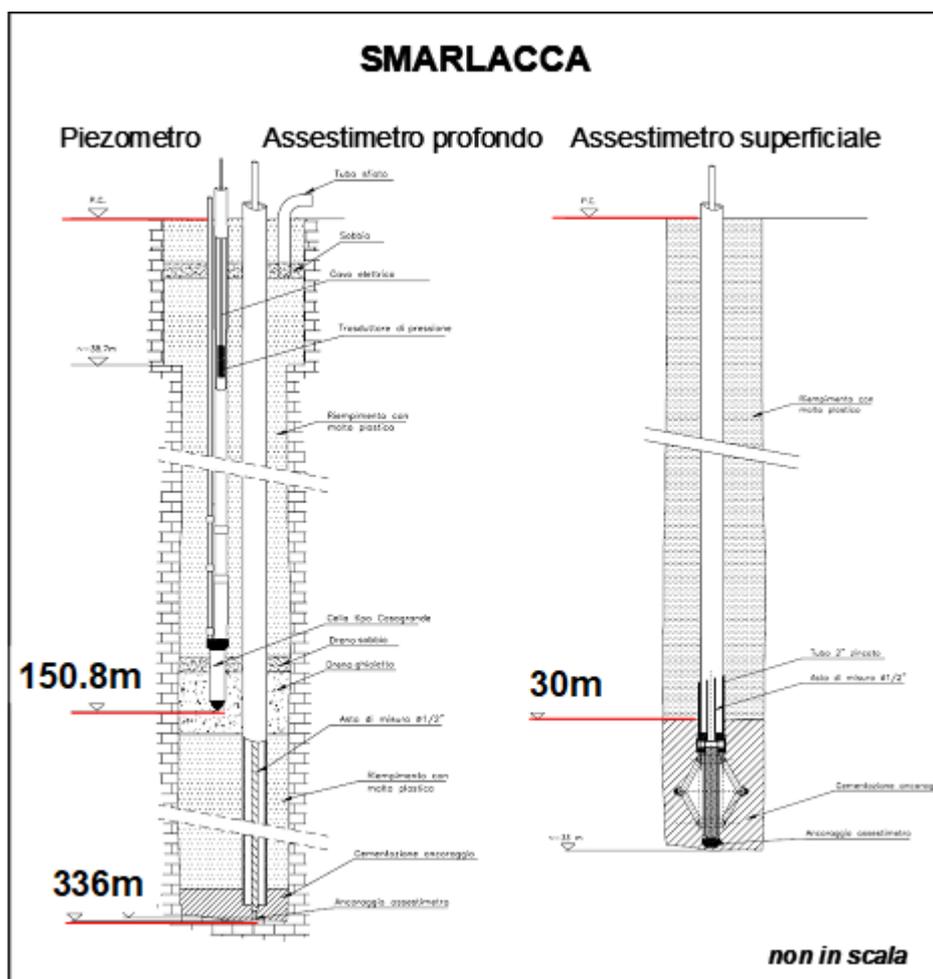
## Stazione **EPSU** di **Smarlacca** (installata novembre 1997)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°35'40.00"N e 12°14'49.44"E.

La stazione è ubicata presso la località Valli di Comacchio, in provincia di Ravenna, a circa 2 Km a sud della foce del fiume Reno ed all'interno dell'area pozzo Eni denominata "Dosso Angeli Sud", ad una quota di 1 m s.l.m. .

La strumentazione è costituita da:

- assestimetro profondo - quota bottom 336 m da p.c.
- assestimetro superficiale – quota bottom 30 m da p.c.
- piezometro- quota cella 150.8 m da p.c.



**Figura 3B - Schema della stazione EPSU di Smarlacca**

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 40 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

Le attrezzature installate (Figura 3B) sono costituite principalmente da una doppia verticale assestometrica, ovvero un assestometro profondo (334.15 metri d'asta di misura) e uno superficiale (29.5 metri d'asta di misura). La loro messa in opera è stata fatta nel periodo 15 luglio 1997 - 20 ottobre 1997; il sistema è poi stato completato nel novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori di misura ("misura di zero").

All'interno del pozzetto assestometrico è stato installato anche un piezometro Casagrande con la cella porosa posta alla profondità di 150.80 m dal piano campagna (p.c.).

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con la frequenza di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Nel periodo settembre 2003 – ottobre 2003 si sono persi dei dati per un guasto all'apparecchiatura di misura. A fine agosto del 2008 si è spurgato il piezometro che dopo l'intervento è stato ritenuto funzionante. Nell'ottobre del 2012, perdurando le registrazioni di valori anomali nei due tubi della cella Casagrande, si è fatto un nuovo intervento di pulizia al termine del quale lo strumento è stato giudicato non più in grado di fornire misure attendibili e, pertanto, non più funzionante.

Da inizio agosto 2017 e fino a inizio luglio 2018 l'acquisizione dati si è interrotta a causa di infiltrazioni nella copertura della struttura di ricovero delle apparecchiature di registrazione e raccolta dati, che sono state danneggiate. L'apparecchiatura è stata sostituita e la registrazione dei dati è ripresa il 10 luglio 2018. 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 assestometrici**

L'assestometro più profondo (336 m) misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 334.15 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna (p.c.); quello più superficiale (30 m) a sua volta misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 29.5 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati 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 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 41 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi un incremento dello spessore (i.e. espansione) degli strati di terreno monitorati.

Nel periodo luglio - settembre 2003, si osserva nell'andamento del grafico dell'assestometro profondo un salto (corrispondente a una compattazione) di 2.7 mm in un intervallo di 72 giorni; tale evento compare, anche se in misura minore, nel grafico dell'assestometro superficiale (Figura 4B). Anche se per tale periodo mancano i dati registrati per un guasto al sistema d'acquisizione, tale salto è confermato anche dalle misure effettuate con il comparatore meccanico durante i sopralluoghi per le manutenzioni ordinarie. Si tratta di un comportamento anomalo se rapportato con gli andamenti precedenti e successivi a detto periodo di osservazione. Il grafico storico mostra, infatti, una compattazione a velocità più o meno costante in tutti i periodi dell'anno, tranne che nel luglio-settembre 2003 in cui il fenomeno ha avuto un'accelerazione. Una compattazione nello stesso periodo è comunque vista anche dal CGPS: nel grafico di confronto (Figura 7B) le due curve mostrano le medesime modulazioni nello stesso arco di tempo. L'estate del 2003 è stata caratterizzata da temperature atmosferiche molto elevate e assenza di precipitazioni piovose, condizioni che potrebbero aver favorito una compattazione superficiale maggiore.

Dopo questo periodo gli assestometri sono tornati a registrare il solito trend a velocità costante. Per quanto riguarda i termometri installati lungo la verticale assestometrica, si segnala un guasto al sensore posto a quota -4 metri con interruzione delle misure da marzo 2013.

Le registrazioni di entrambi gli assestometri (superficiale e profondo) mostrano lo stesso trend di compattazione ed espansione del terreno con una correlazione molto elevata fra i rispettivi andamenti anche se, le velocità medie di compattazione (Figura 4B) sono risultate rispettivamente di circa 0.25 mm/a (foro superficiale) e circa 0.94 mm/a (foro profondo).

In particolare, per quanto riguarda la curva di compattazione registrata dall'assestometro profondo, si può osservare che, anche se la relativa velocità media, calcolata su tutta la serie temporale è di circa 0.9 mm/a, essa presenta un andamento più articolato nel tempo. Infatti, verso l'inizio del 2012 tale velocità di compattazione si dimezza, portandosi a circa 0.5 mm/a (Figura 5B), forse per effetto di un minor emungimento delle falde più profonde. Quest'ultima ipotesi è supportata dalla constatazione che la maggior parte della compattazione misurata si verifica in una porzione di terreno compresa tra la base dell'assestometro superficiale e la base di quello profondo, per uno spessore complessivo di circa 300 m (l'assestometro superficiale

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 42 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

registra una compattazione minima, pari a poco più di 6 mm totali in oltre 21 anni: circa 0,3mm/a). In prossimità della stazione assestometrica è stato installato 4 anni più tardi (2002) anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare in quella zona una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a circa -6.1 mm/a.

Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestometrica), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi di quelli monitorati con la stazione assestometrica (cioè quelli più profondi di 336 m, base dell'assestometro). Il CGPS infatti nei quasi 18 anni (17.6) di acquisizione ha registrato un abbassamento totale di circa 11.5 cm mentre invece l'assestometro nello stesso periodo (considerando il 2002 di inizio del GPS) ha registrato una compattazione totale di poco più di 1.5cm.

Anche la curva del GPS mostra un andamento più articolato nel tempo, infatti come illustrato in Figura 6B, si può osservare che sino a circa l'inizio del 2015 il trend di abbassamento è quasi costante ed in linea (6.7mm/a) con la velocità media totale di tutta la serie (come già detto sopra circa 6.1mm/a), mentre dal 2015 ad oggi si osserva una diminuzione della velocità media di abbassamento a circa 4.2mm/a (Fig. 6B). Nella stessa figura è di nuovo riportata anche la curva dell'assestometro, che però, come già detto in precedenza, fa registrare l'inizio della diminuzione di velocità qualche anno prima nel 2012, come se la porzione più superficiale del terreno reagisse più prontamente al trend di diminuzione della subsidenza in atto nell'area.

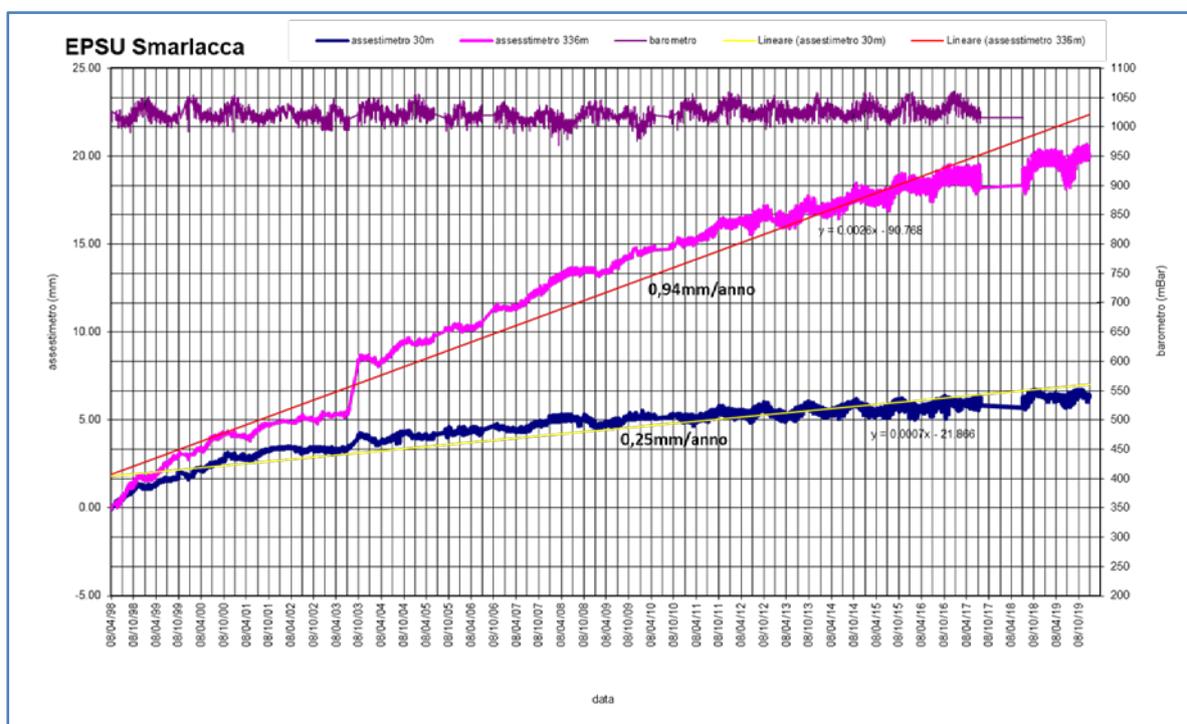
In Figura 7B è riportato il confronto fra le misure assestometriche (sono riportate solo quelle registrate dalla strumentazione più profonda) e quella CGPS. Il grafico allegato mostra una buona correlazione tra entrambe le curve, che riflettono bene gli eventi stagionali.

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

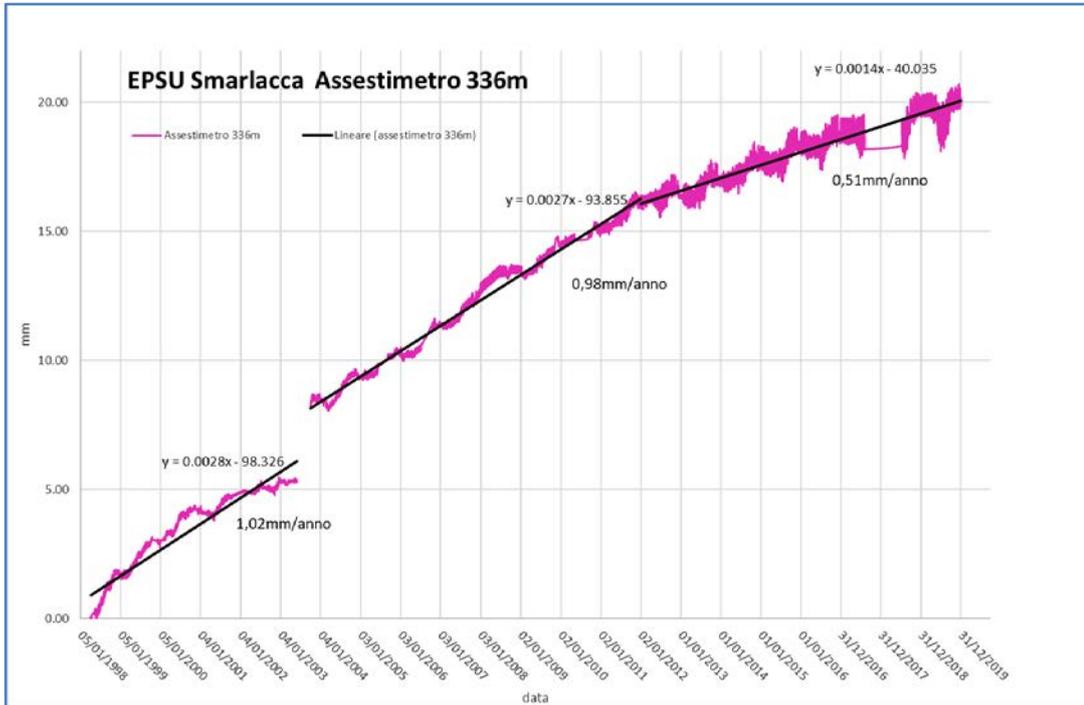
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestometrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente con quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano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

## Analisi dei dati piezometrici

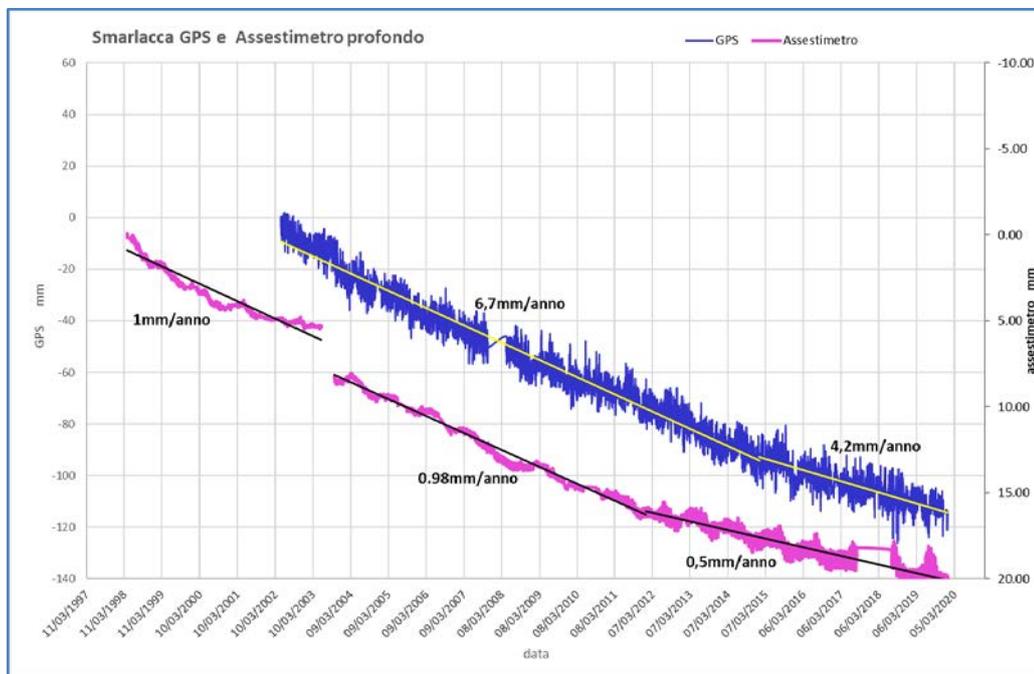
Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica, ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e pertanto di scarsa utilità. Si è pertanto scelto di non mostrare la traccia dell'andamento del dato piezometrico nei grafici di confronto con l'assestimento, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.



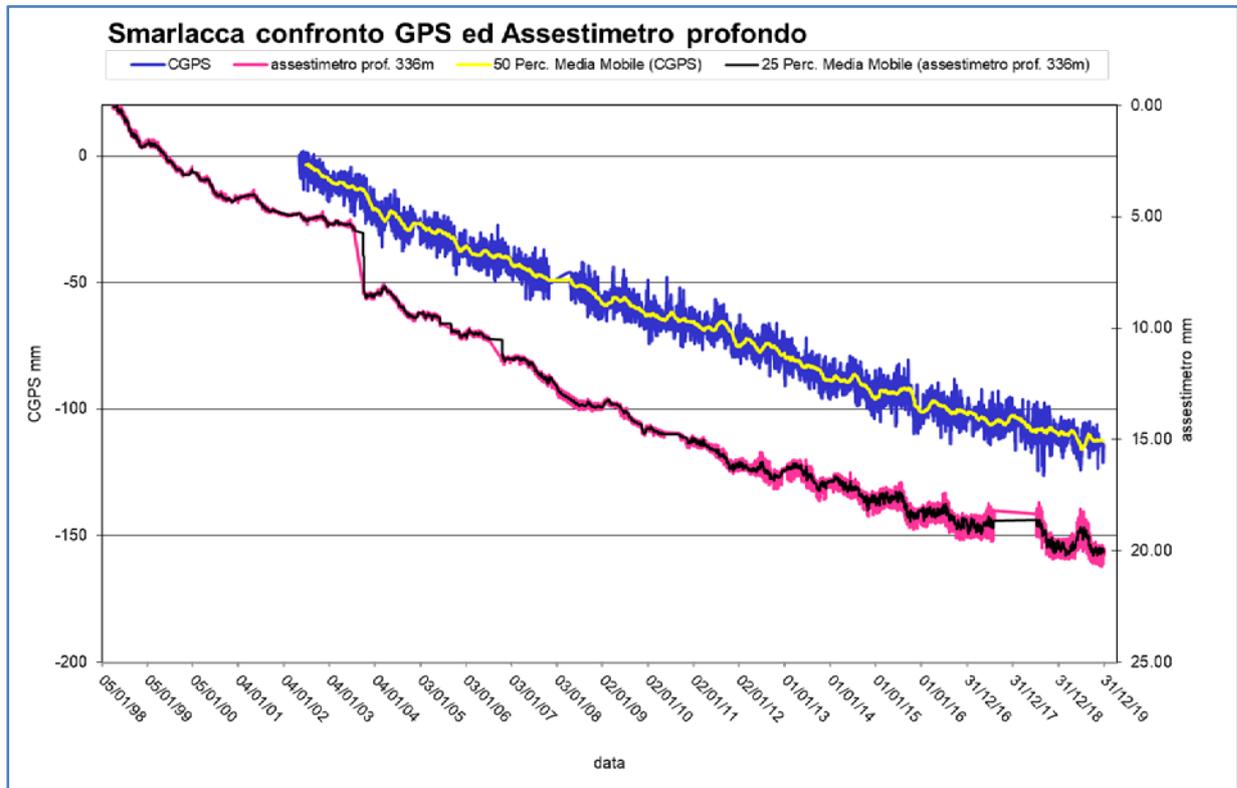
**Figura 4B - Serie storica delle misure assestimentriche e barometriche nella stazione EPSU di Smarlacca**



**Figura 5B – Trend curva di compattazione dell’assestimetro profondo della stazione EPSU di Smarlacca**



**Figura 6B – Confronto tra i trend di compattazione dell’assestimetro profondo e di subsidenza totale da CGPS per il sito di Smarlacca**



**Figura 7B - Confronto fra misure da CGPS vs. misure di compattazione (assestimetro profondo della stazione EPSU di Smarlacca)**

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.

## Stazione *EPSU* di Spinaroni - (installata novembre 1997)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°29'41.27"N e 12°16'01.27"E.

La stazione è ubicata in un'area, di proprietà del comune di Ravenna, adiacente all'impianto di depurazione HERA (ex AREA), a meno di un chilometro ad ovest dell'abitato di Porto Corsini e ad una quota di 1,5m s.l.m..

La strumentazione è costituita da:

- assestimetro - quota bottom 336 m da p.c.
- piezometro a cella singola - quota cella 150.8 m da p.c.

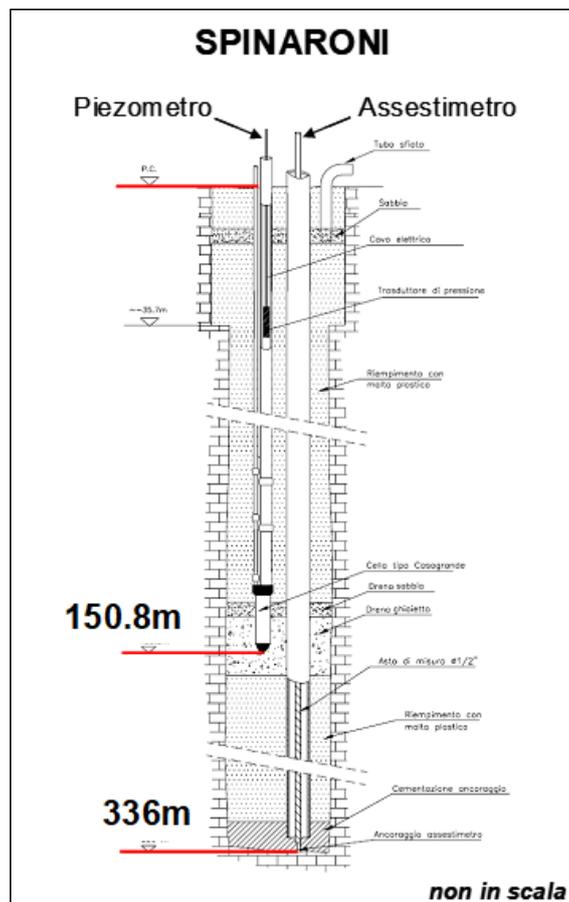


Figura 8B - Schema della stazione EPSU di Spinaroni

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 47 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

Le attrezzature installate (Figura 8B) sono costituite principalmente da una verticale assestometrica e un piezometro, che sono stati messi in opera nel periodo 15 luglio 1997 - 20 settembre 1997. Il relativo sistema di misura è stato poi completato nel novembre 1997 e collaudato in data 8 aprile 1998 con la calibratura di tutti i sensori (“misura di zero”).

L’unità d’acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di registrazione di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Di questa stazione si sono persi alcuni mesi di dati (da settembre 2001 ad aprile 2002) a causa del furto del pannello solare installato per l’alimentazione del sistema. Il ripristino è stato fatto nel mese di aprile 2002. Nel periodo gennaio 2003 – marzo 2003 si è avuto un blackout per un guasto all’apparecchiatura d’acquisizione dati. Nell’agosto 2007 si è di nuovo verificato il furto del pannello solare con la conseguente perdita delle misure nel periodo 14 agosto - 5 ottobre 2007.

Dall’inizio di dicembre 2005 il sensore di pressione del piezometro ha iniziato a fornire valori anomali per cui si è deciso d’ eseguire misure dirette del livello della falda. A tale scopo si è impiegato un freatometro con il quale si è accertato che la quota raggiunta dall’acqua all’interno del tubo piezometrico era pari a -5.22 m dal piano campagna (p.c.).

In data 31 gennaio 2006 è stato sostituito definitivamente il trasduttore di pressione nel tubo piezometrico, ponendolo alla profondità di 20 metri rispetto al piano campagna.

A fine agosto 2008 si è spurgato il piezometro e al 30 settembre è stata fatta una videoispezione. A seguito di tale controllo lo strumento è stato considerato non attendibile per una probabile rottura del tubo di diametro più piccolo ( $\varnothing \frac{1}{2}$ ”). Gli interventi sul piezometro hanno causato la perdita di 14 giorni di misure assestometriche (dal 30 settembre al 14 ottobre 2008). Il giorno 14 ottobre si è ritarato il trasduttore di spostamento, posizionandolo a 1.8 mm rispetto alla misura del 30 settembre. Di questo riposizionamento si è tenuto conto nell’elaborazione dei dati.

A fine 2014 e nel periodo marzo - maggio 2015 si sono verificate diverse mancate registrazioni di dati per guasti dell’unità d’acquisizione, che è stata definitivamente sostituita nel maggio 2015. Si è, però, accertato che questa perdita di dati non ha avuto influenza sulla significatività della serie storica registrata. Nel 2019 la registrazione dei dati è stata continua e regolare.

L’ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori è stata fatta in agosto e dicembre 2019.

 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_NAPO</p>	<p>Page - 48 - of 65</p>
---	--	--	--------------------------

## Analisi dei dati assestometrici

L'assestometro misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 336 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati 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 1998, data di collaudo del sistema. Valori positivi degli spostamenti nel grafico dell'assestometro indicano una compattazione e, viceversa, quelli negativi un incremento dello spessore (espansione) degli strati di terreno monitorati.

In data 28 luglio 2004 è stata ripresa di 25.0mm la corsa del trasduttore di spostamento, poiché il sensore era troppo vicino al fondo scala. Nell'elaborazione delle misure è stato tenuto conto di tale variazione aggiungendo un offset della stessa entità alle misure. Un analogo intervento è stato rifatto in data 14 ottobre 2008.

Nel grafico allegato (Figura 9B) si nota un comportamento alquanto anomalo dello strumento se rapportato alla sua storia precedente che ha sempre avuto un trend in crescita. Nell'ottobre 2003, infatti, l'assestometro ha registrato un repentino sollevamento del piano campagna rispetto al punto profondo (4 mm in 5 giorni), in concomitanza con un abbassamento della falda di circa 40 – 50 cm. Dopo tale periodo (ca. fine ottobre 2003) è ripresa la compattazione del terreno, anche se, per circa 6 mesi, con un trend più veloce di quello del periodo precedente l'anomalia sopracitata. Dopo la metà del 2004 il trend di compattazione è tornato ad avere lo stesso andamento registrato nel periodo antecedente al 10/2003. Non sono state chiarite le ragioni di tale anomalia.

Per questa stazione si hanno a disposizione poco più di 22 anni di osservazioni (22.13 anni). In questo periodo si è registrata una compattazione totale di circa 49.5 mm (49.46mm- lettura strumento al 31/12/2019) corrispondente a una velocità di media annua di 2.26 mm/a (valore ottenuto con regressione lineare su tutta la serie temporale di registrazioni - Figura 9B). Anche in questo caso però, come per la stazione di Smarlacca, la curva dell'assestometro mostra un andamento più articolato nel tempo di quanto sia semplicemente espresso dal sopracitato valore medio. Nella figura 10B si può osservare infatti che, da inizio monitoraggio sino a circa "fine 2006-inizio 2007", si passa da una velocità di compattazione di circa 4.2 mm/a ad una riduzione notevole di tale valore, che passa prima a circa 1.4mm/anno tra il 2007 e fine 2014,

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 49 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

poi praticamente quasi a zero dal 2015 ad oggi. Infatti, il *trend* della compattazione superficiale misurato negli ultimi 5 anni è pressoché nullo (0.03mm/anno), la strumentazione reagisce solamente alle pulsazioni stagionali del terreno, mostrando espansioni durante i periodi autunno-invernali e contrazioni durante quelli estivo-primaverili; la retta di regressione calcolata sui dati degli ultimi 5 anni è praticamente orizzontale (Figura 10B). Analogamente al caso di Smarlacca, tale diminuzione potrebbe essere correlata ad un minor, o nullo, emungimento delle falde acquifere entro i primi 300m di profondità.

Nella stazione *EPSU* di Spinaroni è stato installato nel 2002 anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo di circa -7 mm/a. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestimetria), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 336 m). Il GPS infatti nei 17.28 anni di acquisizione ha registrato un abbassamento totale di circa 12 cm (17.28a x 7mm/a) mentre invece l'assestometro nello stesso periodo ha registrato una compattazione totale di circa 3.9cm (17.28a x 2.26mm/a).

Anche il GPS, come mostrato in Figura 11B fa vedere verso l'inizio del 2016, una diminuzione della velocità di subsidenza dell'area, il cui il valore decresce da circa 7.4mm/anno a 5.4mm/anno, confermando un trend di diminuzione della subsidenza totale.

Nella stessa figura è riportata anche la curva dell'assestometro, che però, come già detto in precedenza, fa registrare l'inizio della diminuzione di velocità diversi anni prima. Anche qui lo spessore di terreno superficiale reagisce con anticipo alla diminuzione della subsidenza in atto nell'area, che sembra restare attiva e svilupparsi (ma con un rallentamento) solo negli strati più profondi di 336m (base dell'assestometro).

La correlazione nel tempo dell'andamento delle due curve (geodetica CGPS e assestimetria) non è molto elevata come mostrato nel grafico allegato (Figura 12B); le misure CGPS presentano un andamento più regolare con una dinamica legata alla stagionalità. Nel periodo tra inizio ottobre 2003 sino a oltre la metà del 2004, la curva CGPS mostra, però, oscillazioni molto simili a quelle registrate dell'assestometro nello stesso periodo, avvalorando l'ipotesi che possano essere reali e non "artefatti strumentali" i movimenti "anomali" di cui si è detto in precedenza.

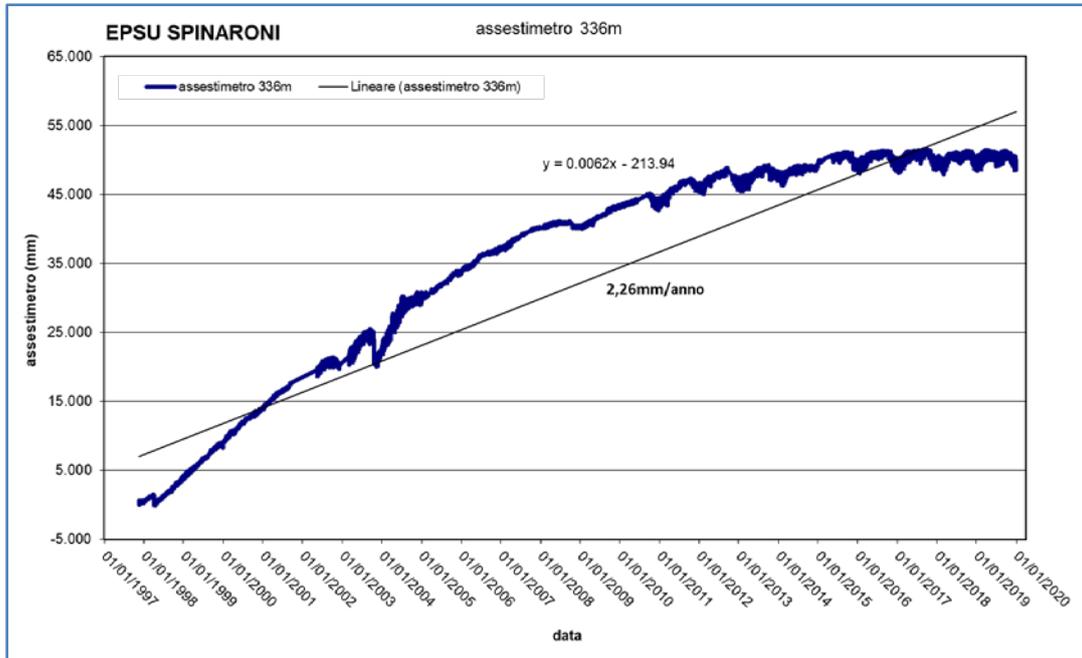
 <p>Eni spa</p>	<p>Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020</p>	<p>Documento GEODCS_REL2020_NAPO</p>	<p>Page - 50 - of 65</p>
---	--	--	--------------------------

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

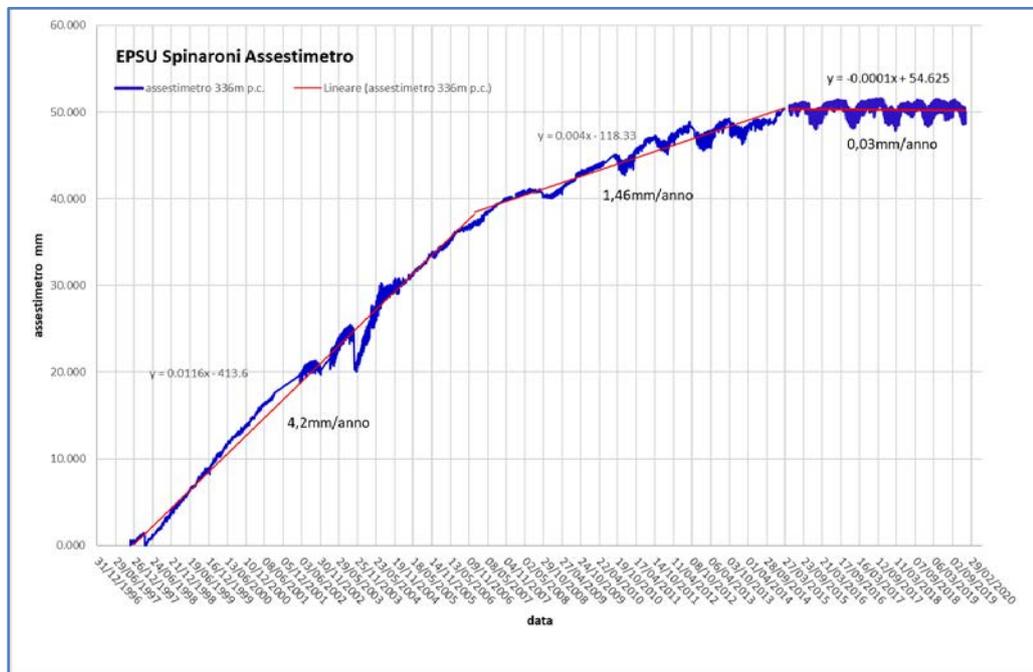
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano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

### **Analisi dei dati piezometrici**

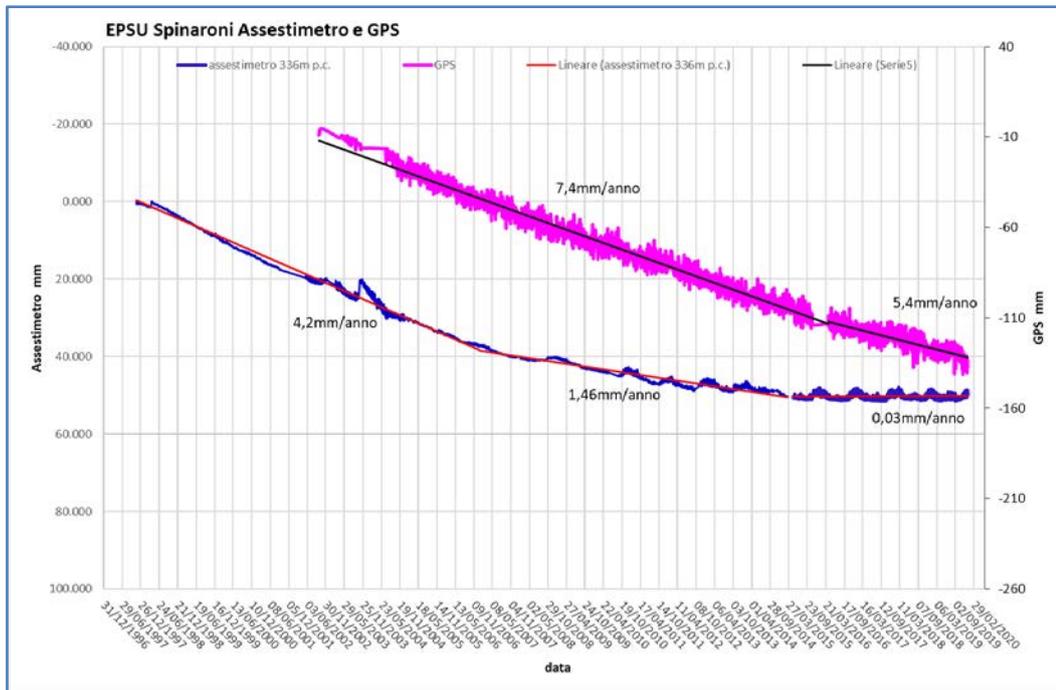
Degli interventi fatti sul piezometro e della sua affidabilità si è detto in precedenza. L'estrema variabilità, anche giornaliera, dei dati registrati dalla strumentazione piezometrica, ha fatto ritenere tale informazione non attendibile e pertanto di scarsa utilità. Anche per questa stazione, analogamente a quella di Smarlacca, si è pertanto scelto di non mostrare la traccia dell'andamento del dato piezometrico nei grafici di confronto con l'assestimetro, sino al nuovo rifacimento della strumentazione.



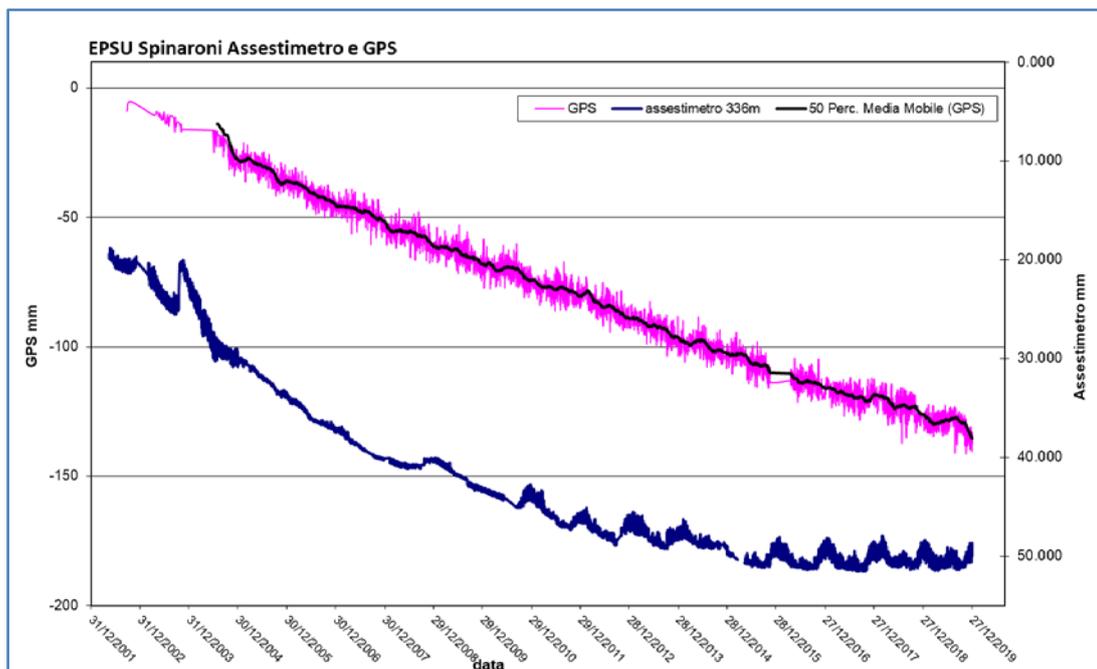
**Figura 9B - Serie storica delle misure assestmetriche nella stazione EPSU di Spinaroni**



**Figura 10B – Trend curva di compattazione dell’assestmetro della stazione EPSU di Spinaroni**



**Figura 11B - Confronto tra i trend di compattazione dell'assesimetro profondo e di subsidenza totale da CGPS per il sito di Spinaroni**



**Figura 12B - Confronto fra misure da CGPS vs. misure di compattazione (assesimetro della stazione EPSU di Spinaroni)**

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 assesimetrica 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.

## **Stazione EPSU di Fiumi Uniti** (installata settembre 1994)

Le coordinate WGS84 della stazione sono: 44°23'50.09"N e 12°18'57.44"E.

La stazione è ubicata tra le località di Lido Adriano a nord e quella di Lido di Dante a sud, immediatamente a nord dell'argine sinistro della foce del fiume Fiumi Uniti a circa 60m dal mare Adriatico (linea di riva), all'interno dell'area pozzo Eni denominata "Angelina1", ad una quota di 0m s.l.m. .

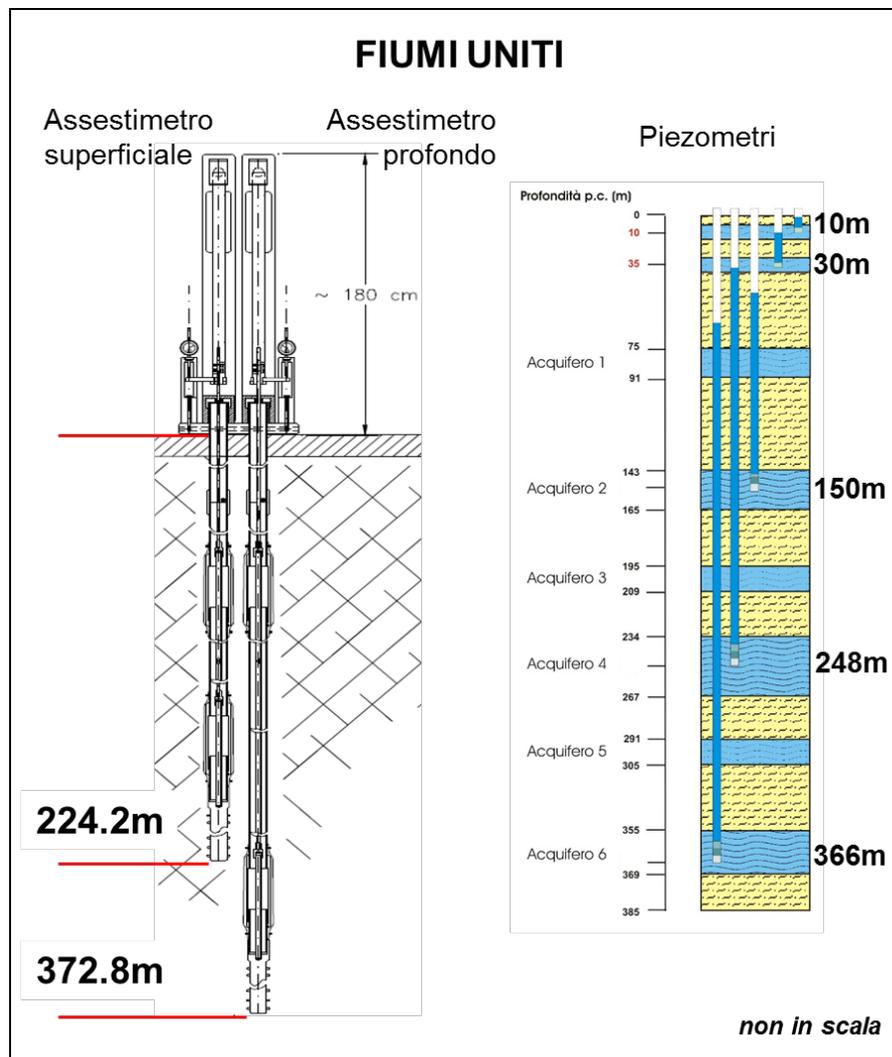
La strumentazione è costituita da:

- assestometro profondo - quota bottom 372.85 m da p.c.
- assestometro superficiale – quota bottom 224.2 m da p.c.
- Piezometro profondo a 360 m p.c. (disattivato da agosto/2011)
- Piezometro intermedio a 243 m p.c. (disattivato da agosto/2011)
- Piezometro superficiale a 148 m p.c. (disattivato da agosto/2011)

I piezometri, sopra elencati, sono stati sostituiti nel 2011 con la nuova strumentazione descritta nella tabella seguente, sono stati rimpiazzati i piezometri originali e ne sono stati aggiunti 2 superficiali a 10 e 30 m da piano campagna.

<b>Sigla</b>	<b>Profondità fondo foro (da p.c.)</b>	<b>Tipo Piezometro</b>	<b>Tratto Filtrante</b>
PS-1	10.50	Tubo aperto	da 6.40 a 9.50 m da p.c.
PS-2	30.50	Tubo aperto	da 25.40 a 29.50 m da p.c.
PP-1	373.50	Tubo aperto	da 361.00 a 365.00 m da p.c. da 366.50 a 372.50 m da p.c.
PP-2	257.00	Tubo aperto	da 241.00 a 245.00 m da p.c. da 250.00 a 256.00 m da p.c.
PP-3	163.00	Tubo aperto	da 141.10 a 153.20 m da p.c. da 156.00 a 162.00 m da p.c.

Le principali caratteristiche della strumentazione attuale sono illustrate in Figura 13B.



**Figura 13B - Schema della stazione EPSU di Fiumi Uniti. Le profondità dei piezometri sono riferite alla quota centrale del tratto filtrante**

L'unità d'acquisizione dati è stata impostata con una frequenza di registrazione di una misura ogni due ore. In seguito, dal 17 aprile 1999, tale frequenza è stata ridotta a una misura ogni 6 ore. Nel luglio 2003 si è avuto il furto dei pannelli solari installati per l'alimentazione del sistema di misura, con conseguente perdita di 2 mesi di registrazioni (7 agosto 2003 - 2 ottobre 2003). Nel giugno 2004 è stata sostituita integralmente la baracca di protezione del sistema; in tale occasione è stato fatto l'allacciamento alla rete elettrica, eliminando, così, il ricorso ai pannelli solari. Nel marzo 2008 sono stati spurgati i 3 piezometri. L'operazione ha consentito d'accertare che il piezometro superficiale e quello intermedio non erano di fatto funzionanti, poiché in comunicazione idraulica tra di loro e con i filtri intasati.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 55 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

Molto dubbio era anche il funzionamento del piezometro profondo.

Nel periodo 9 agosto 2010 - 8 settembre 2010 si sono perse le misure per un guasto alle apparecchiature. Analogo problema si è verificato nell'ottobre 2010. A seguito dei lavori di ripristino dei pozzi piezometrici, a partire da metà luglio 2011, sono stati definitivamente sigillati i tre vecchi tubi piezometrici (dati in Figura 14B). Nel dicembre 2011 sono entrati in funzione i cinque nuovi pozzi piezometrici descritti nella precedente tabella, tre in sostituzione dei precedenti piezometri e due nuovi.

Da circa fine giugno 2012 sino a fine febbraio 2013 il trasduttore di pressione del piezometro superficiale a 30 m non ha funzionato correttamente registrando valori non attendibili; detto sensore è stato poi correttamente riscaldato dopo il ripristino dell'alimentazione elettrica a ottobre 2013. Si segnala la mancanza di dati di questa stazione dal 28 febbraio 2013 al 17 ottobre 2013 per un guasto alle apparecchiature di alimentazione elettrica del sistema d'acquisizione. Fino a fine luglio 2017 la registrazione dei dati è stata poi regolare. Ad agosto del 2017 si è verificato un nuovo guasto elettrico alle apparecchiature d'acquisizione, per cui sino a dicembre 2017 si sono fatte letture manuali della strumentazione piezometrica ed assestometrica anche se con frequenza ridotta. A dicembre 2017 si sono spurgati/lavati tutti e 5 i piezometri della stazione. A tale scopo si è fatta circolare acqua a pressione e portata costanti attraverso una linea di spurgo dal basso verso l'alto, per favorire il deflusso dei sedimenti depositatisi sia nel tratto cieco che in colonna attraverso le microfessurazioni dei filtri e nei boccafori. Dopo il lavaggio di ogni singolo piezometro, sono state fatte prove di dissipazione d'energia dell'acqua immessa per la verifica del funzionamento dei tratti filtranti, seguite da prove di emungimento della falda. Tutti i piezometri sottoposti a manutenzione sono risultati integri e perfettamente funzionanti. L'avaria alle apparecchiature di acquisizione è perdurata anche nei primi tre mesi del 2018, dal mese di aprile l'acquisizione dei dati è stata, invece regolare. Nel novembre 2019 sono stati sostituiti i trasduttori di pressione dei piezometri PP3 e PS1. Nel periodo giugno 2019 – dicembre 2019 si hanno dei "buchi" nelle acquisizioni relative ai piezometri PP1, PP3 e PS1 dovuti a malfunzionamento della sensoristica. L'ultima verifica generale della strumentazione, con controlli manuali dei livelli piezometrici e taratura di tutti i sensori è stata fatta in giugno, agosto, novembre e dicembre 2019.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 56 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

## Analisi dei dati assestimetrici

L'assestimetro più profondo misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 372.85 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna (p.c.); quello più superficiale a sua volta misura la compattazione degli strati di terreno compresi tra 224.2 m (punto di ancoraggio) e il piano di campagna.

Nei grafici allegati (Figura 20B e Figura 21B) sono riportati per un confronto sia i dati piezometrici sia quelli assestimetrici. 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 1998, data di collaudo del sistema. 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.

L'assenza delle misure nel periodo compreso fra settembre 1997 e aprile 1998 è da collegare al fatto che inizialmente non era ancora in funzione il sistema di teletrasmissione dei dati. Le misure sono state fatte con continuità a partire dall'8 aprile 1998.

In data 17/10/2006 è stata ripresa la corsa dei trasduttori di spostamento, precisamente di 16.3 mm per l'assestimetro profondo e di 14.4 mm per quello più superficiale. Nell'elaborazione dei dati si è tenuto in conto di queste variazioni, così da non rappresentare il "salto" nelle misure per effetto di un cambiamento di fondo scala e non di una reale variazione assestimetrica.

Per tutti circa i 25 anni (25.27) di misure fatte, le due curve assestimetriche (Figura 15B e Figura 16B) mostrano andamenti molto simili, con minimi scostamenti tra loro e con un trend costante di compattazione del terreno. Ciò sembrerebbe indicare una compattazione prevalentemente più superficiale, che interessa grosso modo i primi 220 m di terreno. La velocità di compattazione è poco meno di 2 mm/anno per entrambi gli assestimetri (1.94mm/anno per il più profondo e 1.88mm/anno per l'altro) e per tutto l'intervallo di tempo considerato.

In Figura 17B è rappresentato l'andamento della strumentazione EPSU nell'ultimo anno (2019). Quello che si può notare è che gli assestimetri hanno una escursione bassissima e con delle sinusoidi stagionali che hanno un comportamento anomalo rispetto alle usuali pulsazioni del terreno (espansioni in inverno-primavera e compattazioni in estate-autunno). Infatti si osserva un picco di compattazione intorno ad aprile, una successiva espansione intorno luglio-agosto e poi una successiva compattazione che ha il massimo verso la fine dell'anno.

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 57 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

C'è da dire che comunque l'ampiezza di tali escursioni è bassissima (circa 0.5mm) per una compattazione totale nell'anno (non recuperata) di circa 1mm. Per quanto riguarda le falde monitorate, sebbene i dati siano lacunosi (per i motivi tecnici sopra detti), possiamo dire che: il piezometro profondo (PP1) a 360 m di profondità, che dalla sua installazione è risultato sempre in pressione, nell'ultimo anno si è mantenuto sempre al di sopra dei 4m sul p.c. e tra quelli della stazione, è quello che mostra un comportamento più nella norma. Infatti presenta un aumento intorno ad aprile ed una diminuzione in estate (luglio-agosto). Il suo andamento è in fase con l'assestometro, e questa è un'anomalia in quanto le due curve dovrebbero solitamente avere un andamento opposto. Sicuramente la dinamica di tale falda profonda non influenza l'andamento dell'assestometro e sembra non contribuire alla compattazione della porzione di terreno indagata.

L'andamento delle altre falde monitorate non rispetta molto i tradizionali cicli stagionali. I piezometri a 30(PS2) e 257m(PP2) sembrano non risentire di nessuna variazione stagionale (periodi piovosi e secchi) mostrando un andamento costante.

Il piezometro a 10m (PS1), per i mesi con presenza di dato, sembra essere l'unico con un andamento coerente con gli assestimetri, mostrando diminuzioni della quota piezometrica in corrispondenza delle compattazioni ed aumenti nelle espansioni, solamente che tali variazioni si verificano in periodi "meteorologicamente" anomali dell'anno. Il piezometro a 163m(PP3), presenta una serie di dati molto disturbata e lacunosa, ma per i tratti con una maggiore continuità sembra avere un andamento simile al PS1 e valgono le stesse considerazioni.

Presso la stazione *EPSU* è stato installato nel 2002 anche un CGPS, le cui misure hanno consentito di stimare una velocità media d'abbassamento della superficie del suolo pari a - 13.7 mm/anno. Un confronto fra i valori differenti di tali velocità (CGPS e assestimetria), che si riferiscono però a fenomeni fisici diversi anche se collegati fra loro, porta a ipotizzare che nell'area siano in atto anche fenomeni di compattazione che interessano i sedimenti più profondi (> 372 m). Il CGPS infatti nei 17.8 anni di acquisizione ha registrato un abbassamento totale di circa 24 cm mentre invece l'assestometro nello stesso periodo (17.8 anni) ha registrato una compattazione totale di circa 2.8 cm (Figura 18B).

Sempre in Figura 18B è mostrato il confronto tra GPS e assestometro profondo, entrambe le curve mostrano una variazione della velocità di subsidenza/compattazione nel tempo ed il loro andamento è meglio rappresentato da 2 spezzate anziché da una regressione lineare su tutta

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 58 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

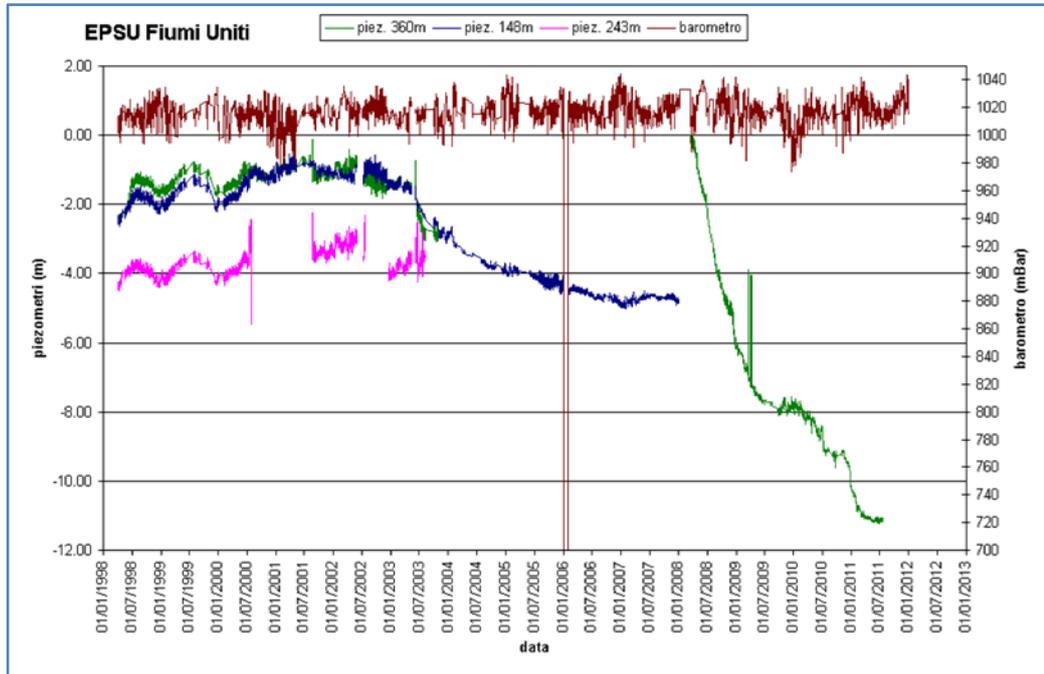
la serie. Entrambi gli strumenti rilevano una diminuzione di velocità, Il GPS verso la fine del 2014 passa da 14.9 a 9mm/anno, l'assestometro qualche anno prima passa da 1.8 a 1.2mm/anno. Anche nell'area, indagata dalla stazione in oggetto, come nei due casi precedenti, si rileva una diminuzione generale della subsidenza in atto e questo effetto inizia, anche qui, prima con una diminuzione della velocità di compattazione negli strati più superficiali. Inoltre, l'esame delle curve CGPS e assestimetrica profonda non mostra particolari tratti di somiglianza, anche se la correlazione tra le due curve sembra aumentare negli ultimi anni, dal 2017 in poi, come si può osservare nel grafico allegato (Figura 19B).

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

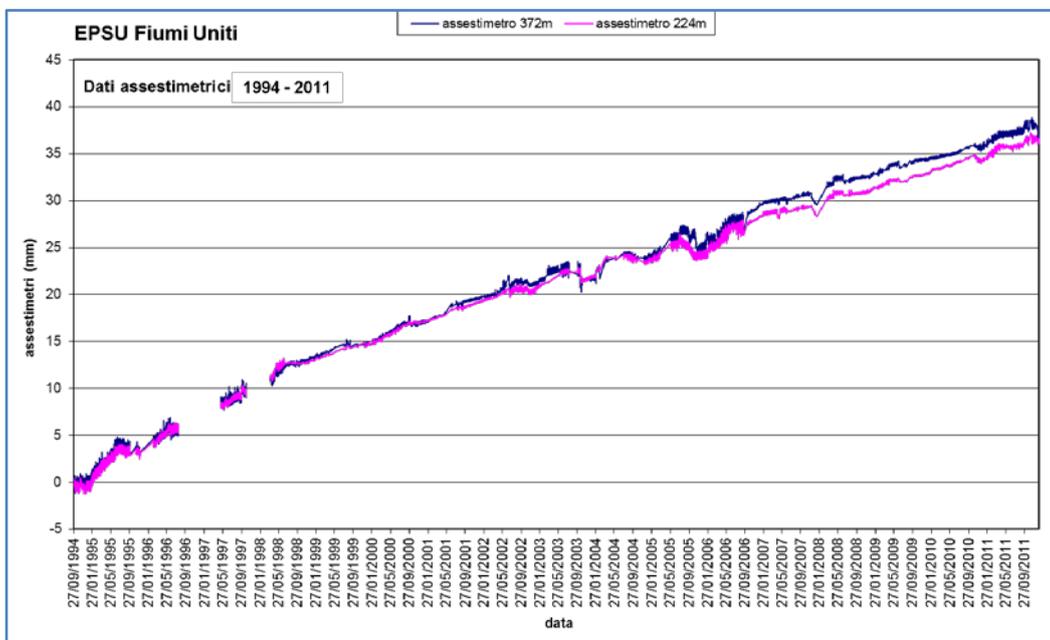
- il confronto delle due curve è stato fatto per lo stesso periodo di osservazione (2002-2017), pur essendo la durata del monitoraggio con l'assestometro di circa 8 anni più lunga;
- le misure del CGPS sono state filtrate con una media mobile su 50 campioni per meglio evidenziarne l'andamento;
- i valori della curva assestimetrica sono stati riportati in ordine inverso, così da renderne l'andamento coerente quello della curva CGPS (spostamenti delle curve verso l'alto indicano sollevamenti del terreno e viceversa).

## **Analisi dei dati piezometrici**

Come spiegato in precedenza, nella stazione sono stati posti inizialmente in opera tre piezometri verticali che, però, nel corso del tempo si sono guastati. Per un lungo periodo di tempo, le misure piezometriche utilizzate sono state solo quelle relative al piezometro più profondo, ritenuto più attendibile. In Figura 14B è illustrato l'andamento delle curve piezometriche sino al 2011. Da metà luglio 2011 tutti i vecchi tubi piezometrici sono stati poi definitivamente sigillati e dal 22 dicembre 2011 ad oggi si sono resi disponibili i dati dei nuovi tubi piezometrici (Figure 17B, 20B e 21B). A dicembre 2017 tutti e 5 i piezometri della stazione sono stati sottoposti ad una manutenzione straordinaria consistita in spurgo e lavaggio degli stessi. Tutti i piezometri sottoposti a manutenzione hanno risposto in modo positivo durante l'attività di spurgo/lavaggio, risultando integri e perfettamente funzionanti. Da segnalare che, dalla sua installazione, il piezometro profondo (PP1 a 360 m di profondità) è risultato sempre in pressione, con una altezza della falda al di sopra del piano campagna, variabile tra 0.5 e 5 m.

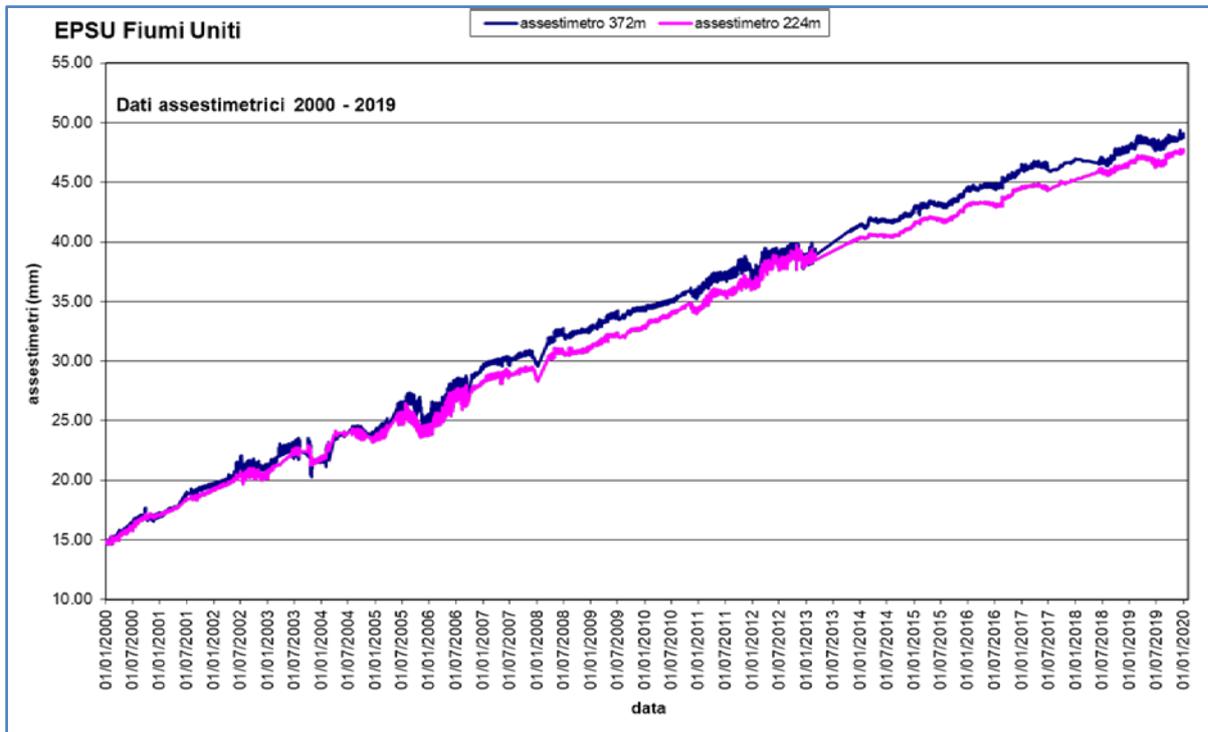


**Figura 14B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure della vecchia strumentazione piezometrica attiva sino al 2011**

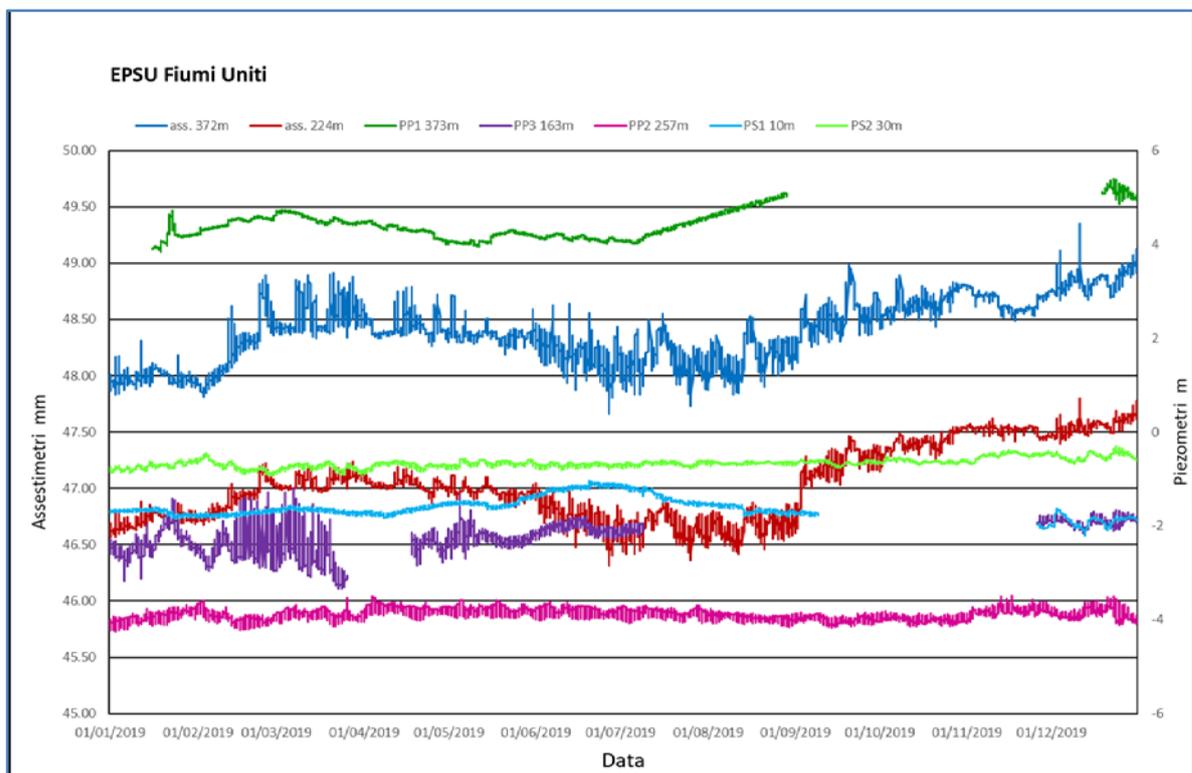


**Figura 15B - Curva di compattazione degli assestimetri della stazione EPSU di Fiumi Uniti (dati 1994-2011)**

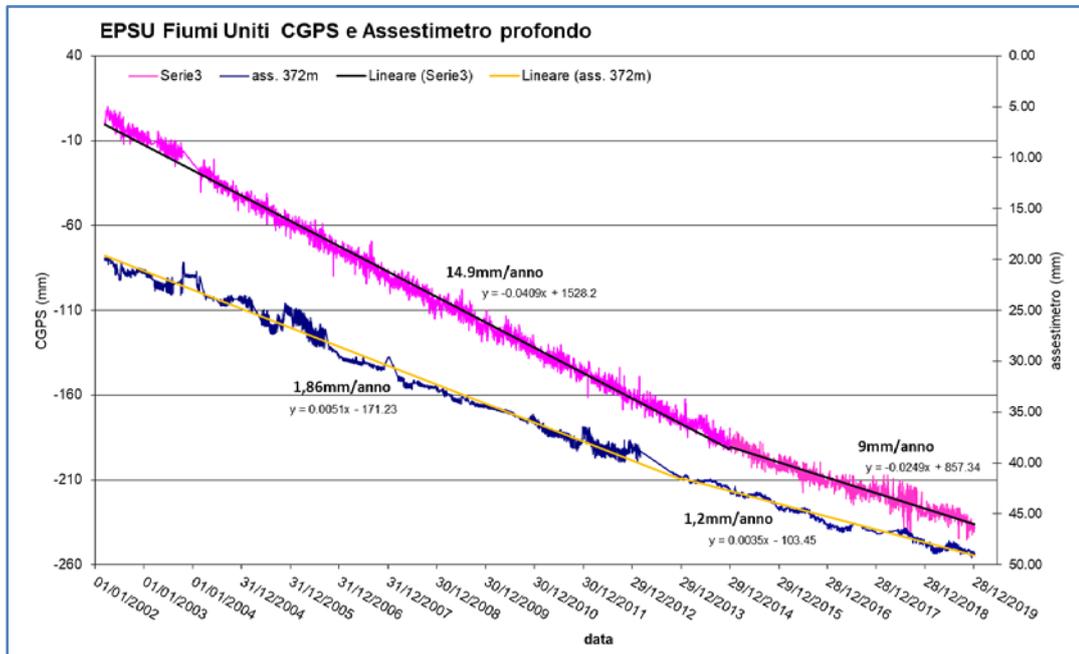
*Valori positivi = abbassamento; Valori negativi = sollevamento*



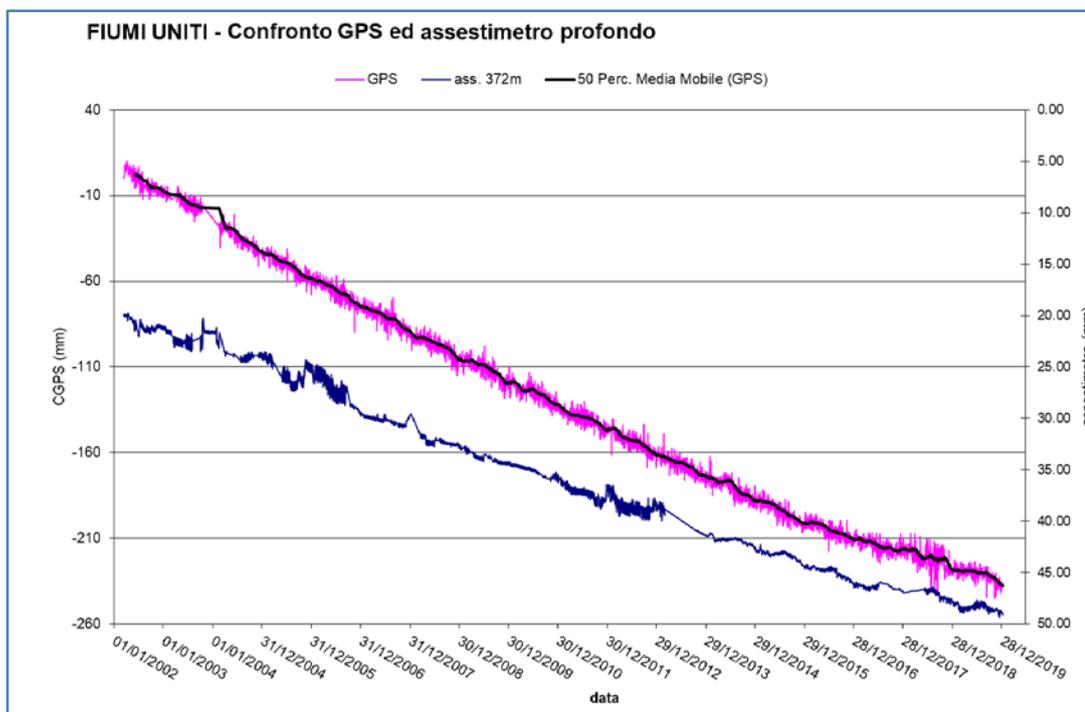
**Figura 16B - Curva di compattazione degli assestimerici della stazione EPSU di Fiumi Uniti (dati 2000-2019)**  
*Valori positivi = abbassamento; Valori negativi = sollevamento*



**Figura 17B - Stazione EPSU di Fiumi Uniti - ultimo anno di dati**



**Figura 18B - Confronto tra i trend di compattazione dell'assestometro profondo e di subsidenza totale da CGPS per il sito di Fiumi Uniti**



**Figura 19B - Confronto fra misure da CGPS vs. misure di compattazione (Assestometro profondo della stazione EPSU di Fiumi Uniti)**

*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.*

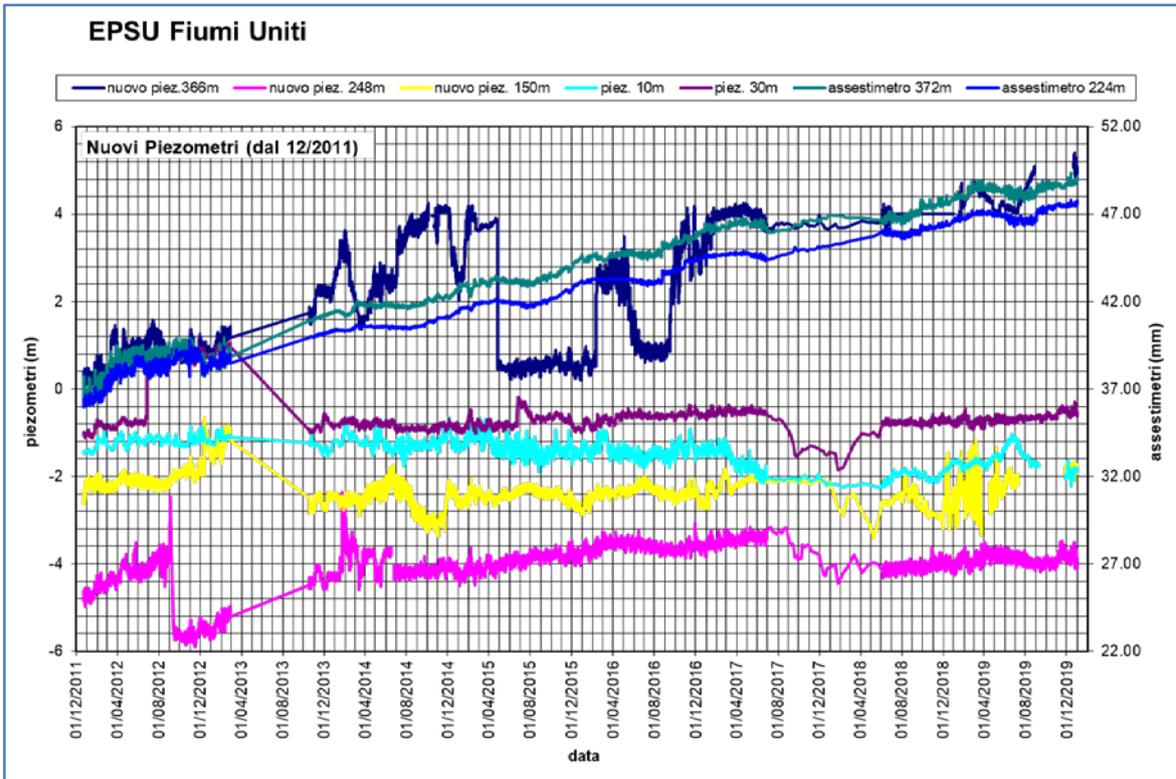


Figura 20B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche e assestimetriche dal 2011 al 2019

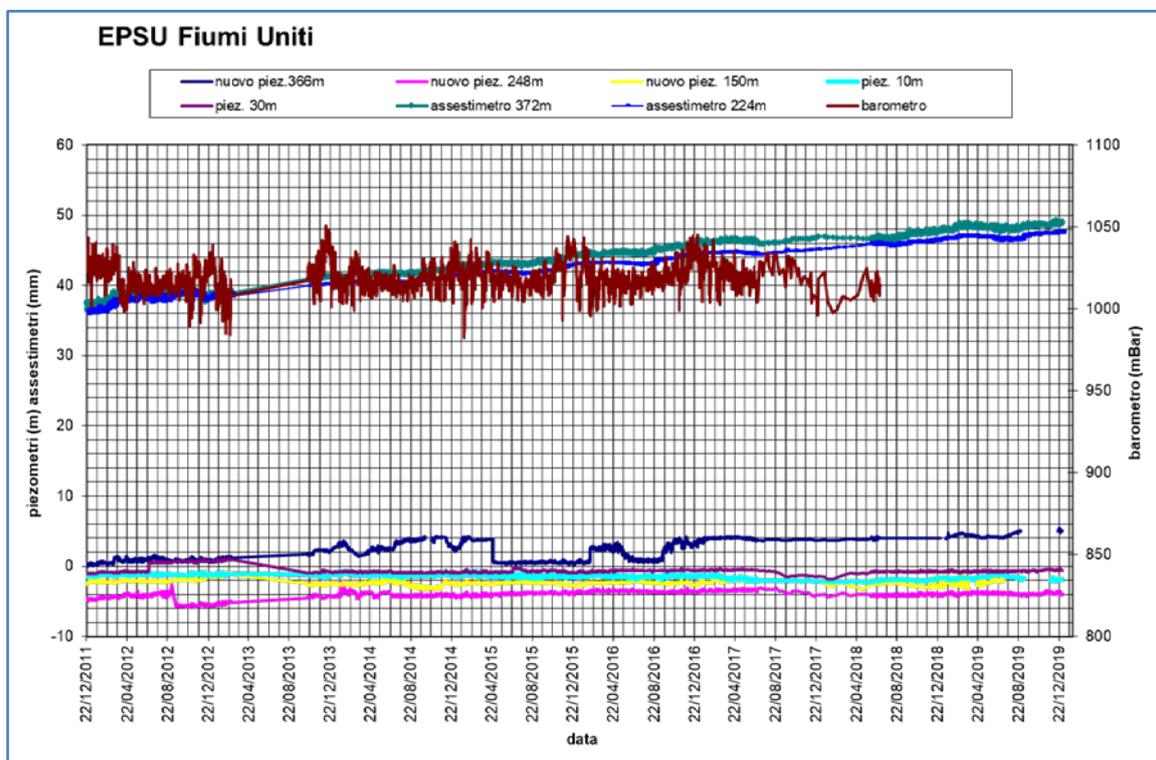


Figura 21B – Stazione EPSU Fiumi Uniti: misure piezometriche assestimetriche e barometriche dal 2011 al 2019

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 63 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

## Conclusioni

In generale, i grafici allegati mostrano come per tutte e tre le stazioni *EPSU* si siano ottenuti dati di buona qualità, pur tenendo conto delle difficoltà operative incontrate in fase d'acquisizione. La lunghezza delle serie storiche registrate, la sensibilità e la qualità dei sensori utilizzati, infatti, sono tali da consentire di valutare con buona precisione l'abbassamento del piano campagna rispetto al punto di ancoraggio degli strumenti (compattazione superficiale). Anche se le misure assestometriche risentono delle escursioni - giornaliere e stagionali - di temperatura, tale fenomeno si attenua e praticamente scompare per lunghi periodi di osservazione quali quelli disponibili per le 3 *EPSU* considerate. Nell'arco degli anni di osservazione non si nota alcun effetto della variazione stagionale della temperatura. Una considerazione generale valida per le tre stazioni considerate è che la compactazione dei terreni superficiali sembra assumere un andamento costante nel tempo con una chiara tendenza all'attenuazione (o a zero nel caso di Spinaroni), la diminuzione generale di subsidenza è anche confermata per gli strati più profondi (al di sotto delle basi di ancoraggio degli assestimetri) come mostrato dalle stazioni CGPS installate in prossimità delle *EPSU*. Negli ultimi 4 anni, infatti, si sono registrati valori in leggera diminuzione della velocità media di compactazione per tutti gli assestimetri, sino ad arrivare ad i valori del 31/12/2019, riportati nella tabella riassuntiva più avanti.

### Smarlacca

Per la stazione di Smarlacca il periodo di osservazione è di oltre 21 anni (21.74), durante i quali l'assestometro più profondo ha registrato una compactazione media regolare anche se meno marcata rispetto a quanto misurato nelle stazioni di Spinaroni e di Fiumi Uniti. L'andamento delle misure è stato, infatti, più o meno costante nel tempo, tranne che per l'abbassamento registrato nel periodo luglio-settembre 2003; la compactazione totale è stata pari a 20.1 mm per una velocità media di abbassamento di circa 0.92 mm/a (velocità da regressione lineare 0.94 mm/a). Un analogo *trend* nelle misure si rileva anche per l'assestometro più superficiale, che, però, ha registrato una compactazione totale nettamente più ridotta: 6.4 mm complessivi, corrispondenti a circa 0.29 mm/a (0.25 mm/a da regressione lineare). L'andamento della velocità di compactazione dell'assestometro profondo mostra un andamento più modulato da quanto si potrebbe evincere dalla sola regressione lineare su tutta la serie. Si evidenziano

 Eni spa	Campo di NAOMI-PANDORA ottobre 2020	Documento GEODCS_REL2020_NAPO	Page - 64 - of 65
--	--	----------------------------------	-------------------

infatti due trend di velocità distinti: uno iniziale sino alla fine del 2011 di circa 1 mm/anno ed uno degli ultimi 8 anni, con un valore di velocità di circa 0.5 mm/anno. Buona è la correlazione tra la curva assestimetrica e quella del *CGPS*. I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

### **Spinaroni**

Per la stazione di Spinaroni si hanno a disposizione più di 22 anni (22.13) di osservazioni durante i quali si è registrata una compattazione di 49.46 mm per una velocità media di compattazione di 2.23 mm/anno (2.26 mm/a con regressione lineare), con un andamento, dopo il primo periodo di assestamento, piuttosto regolare, tranne che per la brusca variazione (sollevamento del piano campagna) dell'ottobre 2003 di cui si è detto in precedenza.

Anche in questo caso però, come per la stazione di Smarlacca, la curva dell'assestimetro mostra tre andamenti di velocità di compattazione. Il primo sino alla fine del 2007 di circa 4.2 mm/anno; il secondo a partire approssimativamente dal 2008 al 2014, caratterizzato da una velocità di 1.4 mm/a e l'ultimo dal 2015 ad oggi con velocità di compattazione pressoché nulla. La correlazione dell'andamento nel tempo delle curve *CGPS* e assestimetrica non è molto elevata; il *CGPS* sembra mostrare un trend d'abbassamento abbastanza regolare anche se influenzato dalla stagionalità. I dati piezometrici non sono da considerarsi attendibili.

### **Fiumi Uniti**

Per la stazione Fiumi Uniti si hanno a disposizione dati fin dal settembre 1994; è, quindi, possibile seguire l'evolversi della compattazione per un arco di tempo più lungo (25.27 anni) che non nelle due stazioni sopracitate. Il valore attuale – dicembre 2019 – della compattazione totale misurata in tutti questi anni dall'assestimetro più profondo è di 49.07 mm, mentre per quello superficiale detto valore è di 47.72 mm. Ciò significa che, assumendo un trend di compattazione del terreno costante nell'arco di circa 25 anni d'osservazione, entrambi gli strumenti hanno registrato velocità media di compattazione simile dell'ordine di poco meno di 2 mm/anno (rispettivamente 1.94 e 1.88mm/a). La compattazione però è per la maggior parte localizzata nella porzione di terreno indagata dallo strumento più superficiale (0-220 m circa). Anche in questa stazione la curva dell'assestimetro mostra una variazione della velocità di compattazione nel tempo ed il suo andamento è meglio rappresentato da 2 spezzate anziché

da una regressione lineare su tutta la serie. La prima spezzata da inizio registrazione sino a verso la fine del 2013 corrispondente ad una velocità di circa 1.86mm/a e la seconda, per il periodo dal 2014 ad oggi, equivalente ad una velocità di 1.2mm/a.

Le registrazioni delle curve CGPS e assestimetrica profonda mostrano poi andamenti dei cicli di compattazione ed espansione del terreno non molto simili tra loro; la correlazione tra le due curve sembra essere più elevata negli ultimi anni di registrazione.

Nella tabella che segue sono riportati i dati complessivi delle compattazioni nelle 3 stazioni, unitamente ai valori medi annuali delle relative velocità. La compattazione degli assestimetri è stata calcolata considerando il valore restituito dal sensore alla data del 31/12/2019 che è stato poi diviso per gli anni di monitoraggio e non con una regressione sulla curva degli spostamenti, quest'ultima modalità (regressione lineare) potrebbe restituire valori molto simili ma non perfettamente uguali.

Sito	Anni di osservazione	Assestimetro profondo		Assestimetro superficiale	
		Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)	Spostamento complessivo (mm)	Velocità (mm/a)
<b>Smarlacca</b>	21.74	20.17	0.9	6.4	0.3
<b>Spinaroni</b>	22.13	49.46	2.2	n.i.	-
<b>Fiumi Uniti</b>	25.27	49.07	1.9	47.72	1.8

n.i. = non installato