

SUBSURFACE
GEOLOGY AND
GEOPHYSICS



**Analisi integrata delle misure di deformazione superficiale
allo scopo di analizzare i fenomeni di subsidenza dell'area
di San Potito - Cotignola
Aggiornamento a Settembre 2017**

Redatto da A. Ponza ed F. L. Guido
verificato da Vincenzo Picotti

Bologna 27 gennaio 2018

Indice

Executive Summary	3
Premessa	5
1 Attività di stoccaggio al 30 settembre/4 ottobre 2017	6
2 Analisi GPS, aggiornamento al 30 ottobre 2017	9
2.1 Quality check	9
2.2 Analisi dei dati e stima delle posizioni	9
3 Piezometri e assestimetri: relazioni con la piovosità	12
3.1 Piezometri	12
3.2 Monitoraggio della tenuta della colonna superficiale di ancoraggio dei pozzi	14
3.3 Assestimetri	15
4 Analisi SqueeSAR Geophi sui Cluster della concessione San Potito - Cotignola	17
4.1 Analisi SqueeSAR sui Cluster B e C in relazione alla movimentazione di gas	17
4.2 Analisi SqueeSAR in relazione alla movimentazione di gas nel Cluster A	22
5 Relazione di tutto il sistema di monitoraggio con la movimentazione di gas	26
6 Conclusioni	30
Bibliografia	32
Appendice A	33
ALLEGATI	36
Allegato 1 - Report di controllo della ditta specializzata “rapporto registrazioni pressioni intercapedini e annulus”;	36
Allegato 2 - Monitoraggio delle pressioni di intercapedine dei pozzi – Sistema di Gestione Edison Stoccaggio;	36
Allegato 3 - Variazioni orarie e medie giornaliere delle quote piezometriche, allegato fornito in formato digitale.	36

Executive Summary

Il presente report viene redatto ed inviato in ottemperanza alla prescrizione n.8 del documento di VIA n. 773 del 8 Ottobre 2007 di seguito riportata:

Prima dell'inizio dello stoccaggio, la Società proponente dovrà concordare con la Regione Emilia Romagna ed ARPA Ingegneria Ambientale il progetto di un sistema di monitoraggio della subsidenza costituito dall'integrazione di più tecniche:

- una stazione GPS permanente;
- una rete di livellazione - da misurarsi secondo le specifiche dell'alta precisione - che si configuri come rete di raffittimento rispetto alla Rete Regionale di Controllo della Subsidenza;
- monitoraggio satellitare tramite tecnica PSInSAR;
- realizzazione di due stazioni assestometriche a media profondità;
- monitoraggio dei livelli piezometrici tramite una rete di raffittimento della Rete Regionale di Controllo della Piezometria;

Pertanto, nel mese di giugno 2013 la società Edison Stoccaggio ha reso operativa presso l'impianto di stoccaggio di Cotignola una rete di monitoraggio atta a misurare le deformazioni superficiali del terreno tramite diversi strumenti, quali assestimetri, piezometri, stazione GPS e rete di livellazione geometrica di precisione, da utilizzare di concerto con dati di interferometria radar satellitare, relativi all'area di interesse, acquisiti dalla società TRE ALTAMIRA.

Il presente documento costituisce il nono rapporto relativo all'analisi, all'interpretazione e all'integrazione tra le differenti tipologie di dati monitorati fino alla fine di settembre 2017. Il rapporto indaga le possibili relazioni tra la deformazione geodetica (osservazioni GPS, satellitari e rete di livellazione), le oscillazioni piezometriche, la compattazione/dilatazione registrata dagli assestimetri ed i volumi di gas movimentati, con lo scopo principale di provare a discriminare la componente di deformazione geodetica dovuta alla iniezione/estrazione di volumi definiti di gas nello stoccaggio.

Nel Cluster-C tra il 1 aprile ed il 4 ottobre 2017 sono stati iniettati ≈ 226.5 MSmc di gas; al 4 ottobre 2017 risultano stoccati nel Cluster-C ≈ 268.6 MSmc di gas.

Nel Cluster-B tra il 1 aprile ed il 2 ottobre 2017 sono stati iniettati ≈ 22.6 MSmc di gas; al 2 ottobre 2017 risultano stoccati nel Cluster-B ≈ 38.2 MSmc di gas.

Nel Cluster-A tra il 1 aprile e il 10 luglio 2017 sono stati iniettati ≈ 33.8 MSmc di gas; al 30 settembre 2017 risultano stoccati nel Cluster-A ≈ 13 MSmc di gas.

Alla fase di iniezione, durata dal 1 aprile al 4 ottobre 2017, nei reservoir di Cotignola Cluster-C e Cluster-B è corrisposto un sollevamento geodetico, rilevato attraverso le serie GPS ed InSAR.

Gli spostamenti nella componente verticale della serie GPS di CLS2 mostrano una relazione causa effetto con l'estrazione cumulata tra novembre 2016 e aprile 2017 (≈ 202.2 MSmc) e con l'iniezione cumulata tra aprile e inizio ottobre 2017 (≈ 226.5 MSmc); i cambi di tendenza coincidono con l'inizio/fine delle fasi di erogazione/iniezione e non con i cambi di stagione. Le ampiezze di queste oscillazioni rientrano tuttavia nel range di deformazione stagionale, evidente anche prima dell'entrata a regime dello stoccaggio. Durante la fase di erogazione tra novembre 2016 e aprile 2017, la stazione ha subito un abbassamento di ≈ -9 mm, mentre durante la fase di iniezione aprile–ottobre 2017 essa ha subito un sollevamento di $\approx +10$ mm. Anche le componenti orizzontali della serie GPS risentono della attività di stoccaggio, registrando uno spostamento significativo in concomitanza dell'iniezione di gas (aprile–ottobre 2017) nell'ordine di -7 mm E, e -6.5 mm N, in allontanamento, verso sud-ovest, dal centro del Pool CC1.

I trend deformativi evidenziati dalla serie interferometrica Sentinel-1 nell'intervallo temporale 30/03/2015 - 27/10/17, evidenziano nel semestre in esame un sollevamento nell'intorno del Cluster-C, porzione di reservoir dove è stato movimentato il maggior quantitativo di gas in iniezione (≈ 226.5 Milioni di Smc al 4 ottobre 2017), con massimi di sollevamento fino a $+16$ mm sopra il centro del giacimento.

Anche la componente est-ovest di spostamento dei bersagli radar evidenzia una inversione del trend deformativo a partire da aprile 2017, con spostamenti orizzontali che "allontanano" i PS dal centro del Cluster-C di ≈ 10 mm. L'andamento degli spostamenti dei bersagli radar al centro del Cluster-C mostra una buona correlazione con l'andamento dei volumi di gas movimentati nel pool CC1, con le pressioni di poro misurate al fondo del pozzo C1, e coi trend delle misurazioni dell'antenna GPS, sia in termini di sincronia con cui avvengono i cambi di tendenza sia in termini di entità degli spostamenti.

Anche sul Cluster-B in concomitanza con l'attività di iniezione tra aprile e settembre 2017 si osserva una area in sollevamento con valori medi tra i $+6-8$ mm, localizzata nella parte sud-orientale del reservoir.

Sul Cluster-A sono state evidenziate deformazioni geodetiche medie contenute entro i $\pm 5-6$ mm (max -10 mm di abbassamento in zone non prossime al campo), non correlabili con la fase di iniezione in esame (e con l'attività di stoccaggio in generale) né in termini di tempo né di distribuzione nello spazio.

Le deformazioni registrate dall'assestometro superficiale vengono ottimamente correlate alle oscillazioni piezometriche superficiali, intermedie e profonde, suggerendo che il sistema continui ad essere influenzato principalmente dalle precipitazioni e dalla dinamica degli acquiferi.

Gli strumenti installati nei primi 350 metri di sottosuolo (assestometro e piezometro profondi) non evidenziano una relazione chiara tra le deformazioni da essi registrate e la movimentazione di gas, con incongruenze in termini quantitativi (nel caso dell'assestometro) e in termini temporali (piezometro profondo): essi appaiono pertanto maggiormente influenzati dalle dinamiche meteorologiche stagionali e dalla compattazione dei sedimenti alluvionali in cui sono installati. L'andamento dell'assestometro profondo continua infatti a registrare una compattazione a ritmo di ≈ -4 mm/anno, con dinamiche di deformazione correlate temporalmente con le fasi di iniezione/erogazione, ma le deformazioni registrate finora non appaiono dovute alla movimentazione di gas

nel Cluster-C, poiché hanno ampiezze non proporzionali al quantitativo di gas in posto o all'andamento delle pressioni nel reservoir.

L'andamento complessivo del piezometro profondo mostra un trend di innalzamento della quota da piano campagna, che indica un aumento di pressione all'interno dell'acquifero; le sue oscillazioni appaiono invece chiaramente influenzate dalle dinamiche meteorologiche stagionali. Analizzando questi trend non appare dunque una chiara correlazione che consenta di discriminare tra loro gli effetti delle due variabili (climatica e antropica) sui due strumenti.

Premessa

Nel mese di giugno 2013 la società Edison Stoccaggio ha reso operativa presso l'impianto di stoccaggio di Cotignola la rete di monitoraggio per la quale è prevista una integrazione con i dati di rilievo della rete di livellazione ottica sul campo di stoccaggio stesso. Nel giugno 2016 la società TO.TE.M ha ribattuto i capisaldi lungo le poligoni della rete materializzata nel 2013, aggiungendo alla rete di monitoraggio dell'impianto una nuova tipologia di dato indipendente dagli altri, che è stata trattata nel report di luglio 2016 (Geophi, Report_14004COT01-GEOPH-EDIS0-DV07_rev01, 2016). Pertanto, non verranno trattati gli aspetti relativi alla livellazione nel corso di questa relazione.

1 Attività di stoccaggio al 30 settembre/4 ottobre 2017

L'attività di stoccaggio nel periodo in esame (aprile - settembre 2017) ha interessato tutti e tre i cluster della concessione San Potito - Cotignola (figura 1.1), ed è caratterizzata dalla complessiva iniezione, a partire da aprile fino al 4 ottobre 2017 di ≈ 282.9 MSmc.

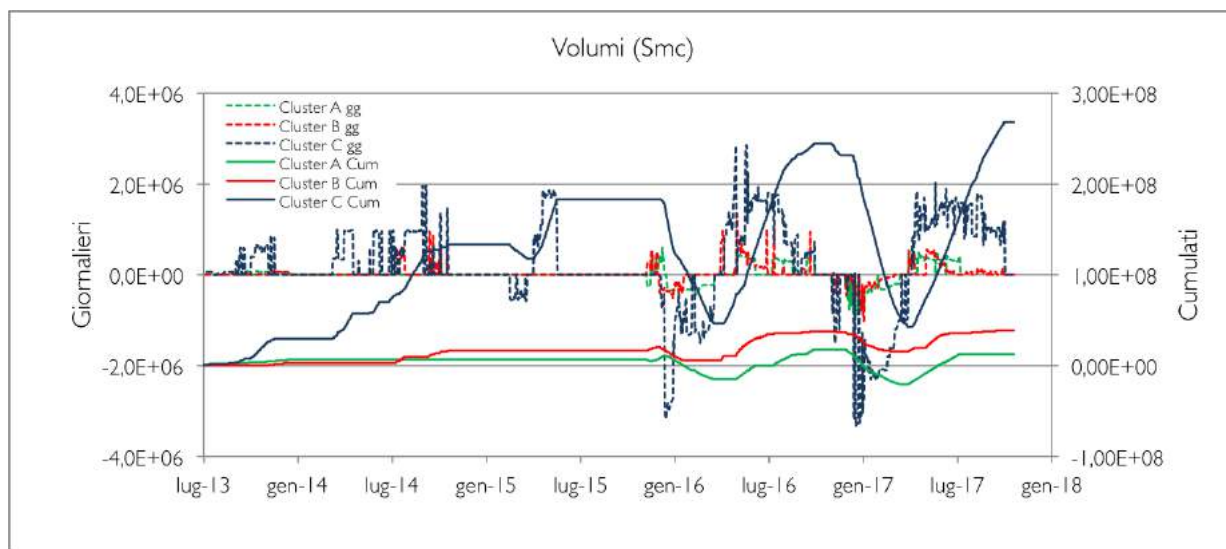


Figura 1.1: Movimentazione dei volumi di gas in metri cubi standard (ndr Smc): valori giornalieri (linee tratteggiate) con ordinata a sinistra; valori cumulati (linee continue) con ordinata a destra

Nei grafici che seguono sono evidenziate le tempistiche e le quantità di fluidi movimentati in ogni cluster.

Cluster A

Tra l'1 aprile ed il 10 luglio 2017, nel Cluster-A sono stati iniettati ≈ 33.8 MSmc di gas; al 30 settembre 2017 risultano stoccati nel Cluster-A ≈ 13 MSmc di gas.

L'andamento delle pressioni di poro misurate dal pozzo SP-A1 evidenzia un aumento delle pressioni derivante dalla fase di iniezione con un ΔP di + 65 bar (da 50 a 116 bar) a fronte di 33.8 MSmc iniettati (figura 1.2).

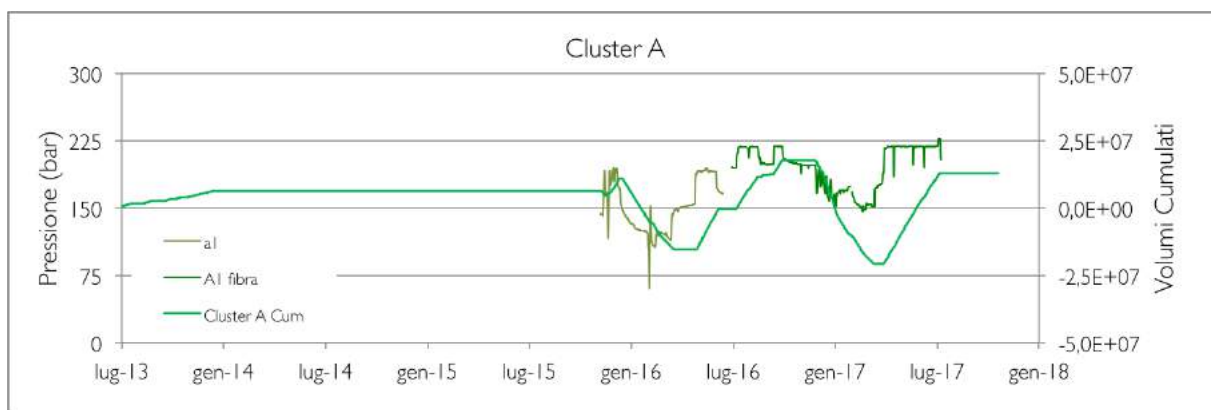


Figura 1.2: Cluster A. Andamento delle pressioni di pozzo (in bar, in ordinata a sinistra) e movimentazione volumi di gas in metri cubi standard (in Smc, in ordinata a destra).

Cluster B

Tra l'1 aprile ed il 2 ottobre 2017, nel Cluster-B sono stati iniettati ≈ 22.6 MSmc di gas; al 2 ottobre 2017 risultano stoccati nel Cluster-B ≈ 38.2 MSmc di gas.

L'attività è stata condotta su tutti i 3 pozzi attivi nel cluster. L'andamento della pressione di poro misurata tramite fibra ottica nel pozzo B2 mostra un ΔP positivo di - 30 bar a fronte di ≈ 22.6 MSmc di gas iniettati (figura 1.3).

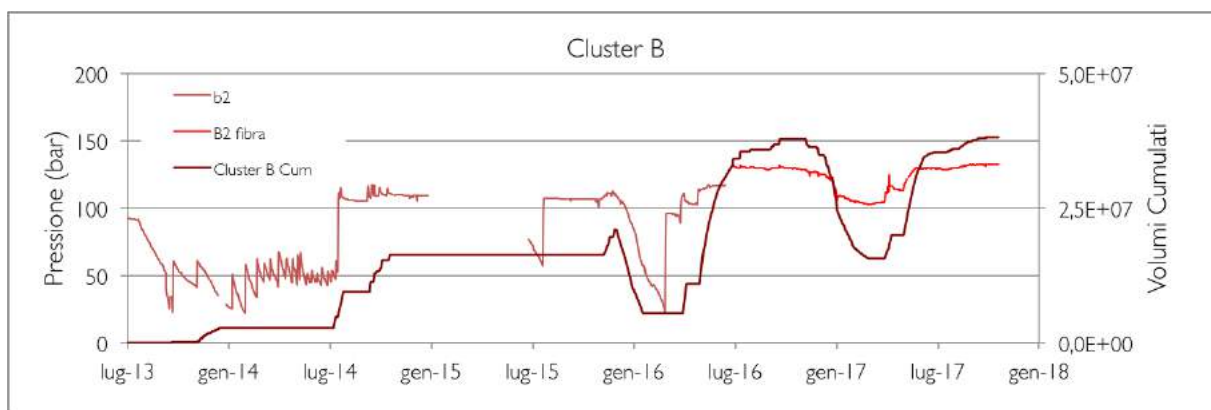


Figura 1.3: Cluster B: andamento delle pressioni di pozzo (in bar, in ordinata a sinistra) e dei volumi di gas movimentati (in Smc, in ordinata a destra).

Cluster C

Tra l'1 aprile ed il 4 ottobre 2017, nel Cluster-C sono stati iniettati ≈ 226.5 MSmc di gas; al 4 ottobre 2017 risultano stoccati nel Cluster-C ≈ 268.6 MSmc di gas.

L'attività è stata condotta principalmente tramite i pozzi C1, C2, C4 e C6 e marginalmente tramite gli altri 3 pozzi del cluster; l'andamento delle pressioni di poro misurata tramite fibra ottica nel pozzo C1 evidenzia un'ottima correlazione con la movimentazione del gas (figura 1.4), con un ΔP positivo massimo di $\approx +82$ bar (tra il 30 marzo e il 26 settembre 2017) a fronte di ≈ 226.5 MSmc di gas, con la pressione che si attesta intorno a 122-123 bar a fine settembre 2017.

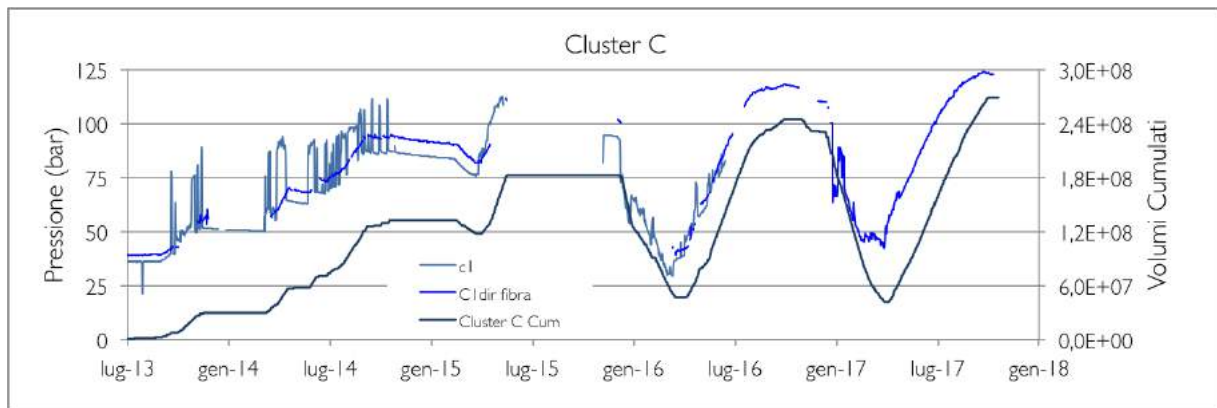


Figura 1.4: Cluster C: andamento delle pressioni di pozzo (in bar, in ordinata a sinistra) e dei volumi di gas movimentati (in Smc, in ordinata a destra).

2 Analisi GPS, aggiornamento al 30 ottobre 2017

La serie temporale delle posizioni della stazione CLS2 è stata aggiornata attraverso l'analisi dei dati giornalieri fino alla data del 21 ottobre 2017 (Day of Year 2017/294). E' stata inoltre aggiornata la serie temporale degli indici di qualità della stazione (MP1, MP2) fino a tale data. La serie temporali delle stazioni analizzate sono state determinate nel sistema di riferimento IGB08 (<http://igscb.jpl.nasa.gov/network/refframe.html>).

2.1 Quality check

I dati RINEX giornalieri della stazione CLS2 sono analizzati con il software TEQC (<http://facility.unavco.org/software/teqc>), che rappresenta uno standard internazionale per il trattamento in fase di pre-processamento di dati GPS e per la valutazione della loro qualità. A questo scopo, gli indici principalmente utilizzati sono i seguenti (in parentesi sono indicati i valori riscontrati su SP di buona qualità): MP1: root mean square (RMS) dato dai multipath sulla fase L1, ossia dovuto a riflessioni del segnale radio inviato dai satelliti che influiscono sul corretto calcolo della distanza satellite-ricevitore (0.1 - 0.5 m); MP2: RMS dato dai multipath sulla fase L2 (0.1-0.5 m); Cycle Slips (CS): salti di ciclo che occorrono quando il ricevitore perde il tracking dei satelliti in vista (0 - 5000 per intervalli di campionamento a 30 s). Ricordiamo che prendendo come riferimento la rete IGS dell'International GNSS Service (<http://igscb.jpl.nasa.gov>), il 50 delle stazioni IGS ha valori di RMS per MP1 inferiori a 0.4 m e valori di MP2 inferiori a 0.6 m, mentre 2/3 delle stazioni ha valori di MP1 inferiori a 0.5 m e di MP2 inferiori a 0.75 m. Per quanto riguarda i Cycle Slips, più del 50% delle stazioni IGS ha valori inferiori a 5000 e inferiore a 1000 per almeno 2/3 delle stazioni IGS.

In Figura 2.1 è mostrato l'andamento nel tempo dei valori di MP1, MP2 e CS della stazione CLS2 aggiornato al 5 novembre 2017. La maggior disponibilità di dati mostra come i valori di MP1 e MP2 presentino un andamento stagionale, con valori più elevati nel periodo autunnale (fino circa a dicembre) e valori che nel periodo successivo si stabilizzano, seppur in presenza di qualche picco, su valori in linea con quanto indicato dall'IGS per una stazione di buona qualità.

2.2 Analisi dei dati e stima delle posizioni

I dati giornalieri registrati dallo strumento della stazione CLS2 sono stati analizzati assieme a quelli registrati da diverse altre stazioni afferenti a diverse reti GPS/GNSS permanenti in Emilia-Romagna, e più in generale in Italia settentrionale, e successivamente combinati con la soluzione della rete EUREF, seguendo le procedure descritte nelle precedenti relazioni. La nuova stima delle coordinate della stazione CLS2 nel sistema di riferimento IGB08, riportate al 30-06-2017 (decimal year 2017.4932), sono:

X: 4468303.03061 (m) Y: 943210.62278 (m)

Lat.: N 44° 22' 16.456527" Lon.: E 11° 55' 10.336955"

Z: 4437714.13506 (m) Quota: 60.76281 (m)

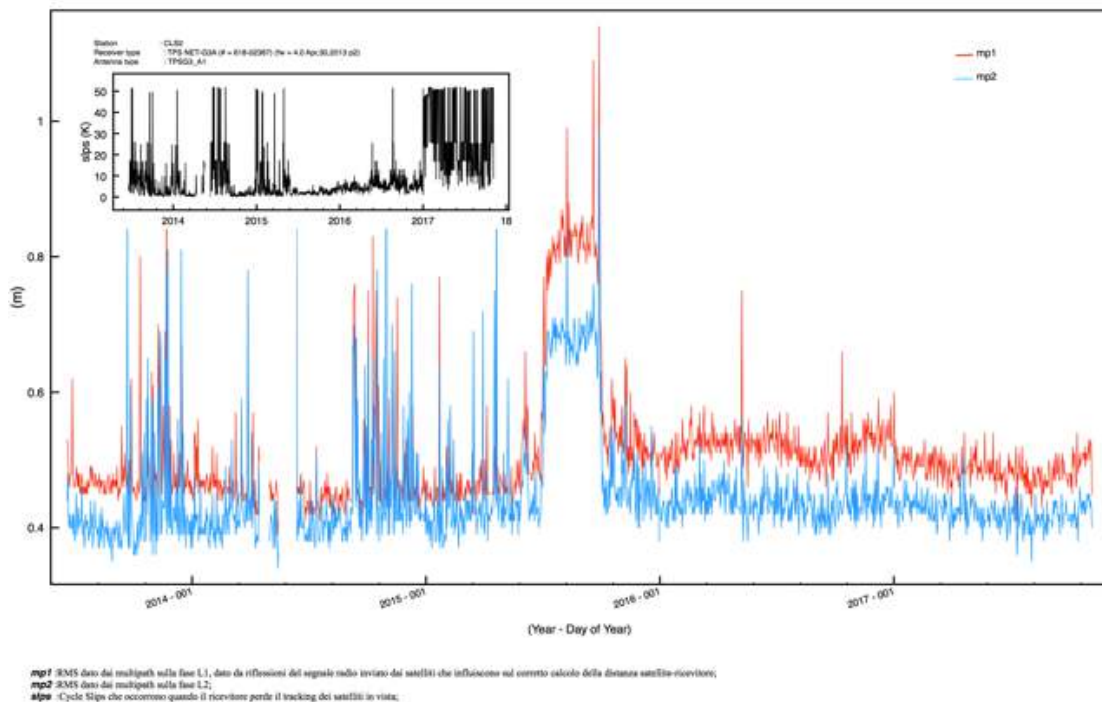


Figura 2.1: Andamento nel tempo dei valori di MP1, MP2 e numero di Cycle Slips della stazione CLS2.

La figura 2.2 mostra l'andamento delle posizioni nel tempo, per la componente est, nord e verticale della stazione CLS2, nel sistema di riferimento IGB08 (A) e in un sistema di riferimento locale Adria-fixed (B), in cui le posizioni orizzontali sono state ruotate utilizzando le coordinate e la velocità di rotazione di un polo di rotazione Euleriano per la microplacca Adriatica determinato in un lavoro sottomesso da Serpelloni et al. (2016) e definito da Lon. -26.56° E., Lat. 61.95° N e velocità di rotazione 0.521° /Ma. Rispetto a questo sistema di riferimento locale si nota da gennaio 2016 l'inizio di una fase deformativa in cui le posizioni si discostano significativamente dal modello (lineare + stagionale). Di seguito sono riportate le ampiezze (e associate incertezze) delle componenti annuali e semi annuali (in mm) ottenute analizzando la serie temporale aggiornata al 21 ottobre 2017:

- Ampiezza Annuale Est: 1.831 ± 0.069 mm; Nord: 1.734 ± 0.080 mm
- Ampiezza Annuale Up: 2.741 ± 0.248 mm
- Ampiezza Semi-Annuale Est: 0.694 ± 0.067 mm; Nord: 0.795 ± 0.076 mm
- Ampiezza Semi-Annuale Up: 1.188 ± 0.252 mm

Le velocità stimate per le tre componenti, E, N e Up nel sistema di riferimento IGB08 analizzando la serie temporale aggiornata al 30 giugno 2017 sono (in mm/anno):

- Velocità Est: 20.356 ± 0.039 (mm/anno)
- Velocità Nord: 18.763 ± 0.044 (mm/anno)
- Velocità Verticale: 2.024 ± 0.143 (mm/anno)

Le incertezze (1 sigma) riportate nelle stime di velocità sono le incertezze formali, ottenute dall'analisi ai minimi quadrati assumendo che il rumore nella serie temporale sia solo di tipo gaussiano.

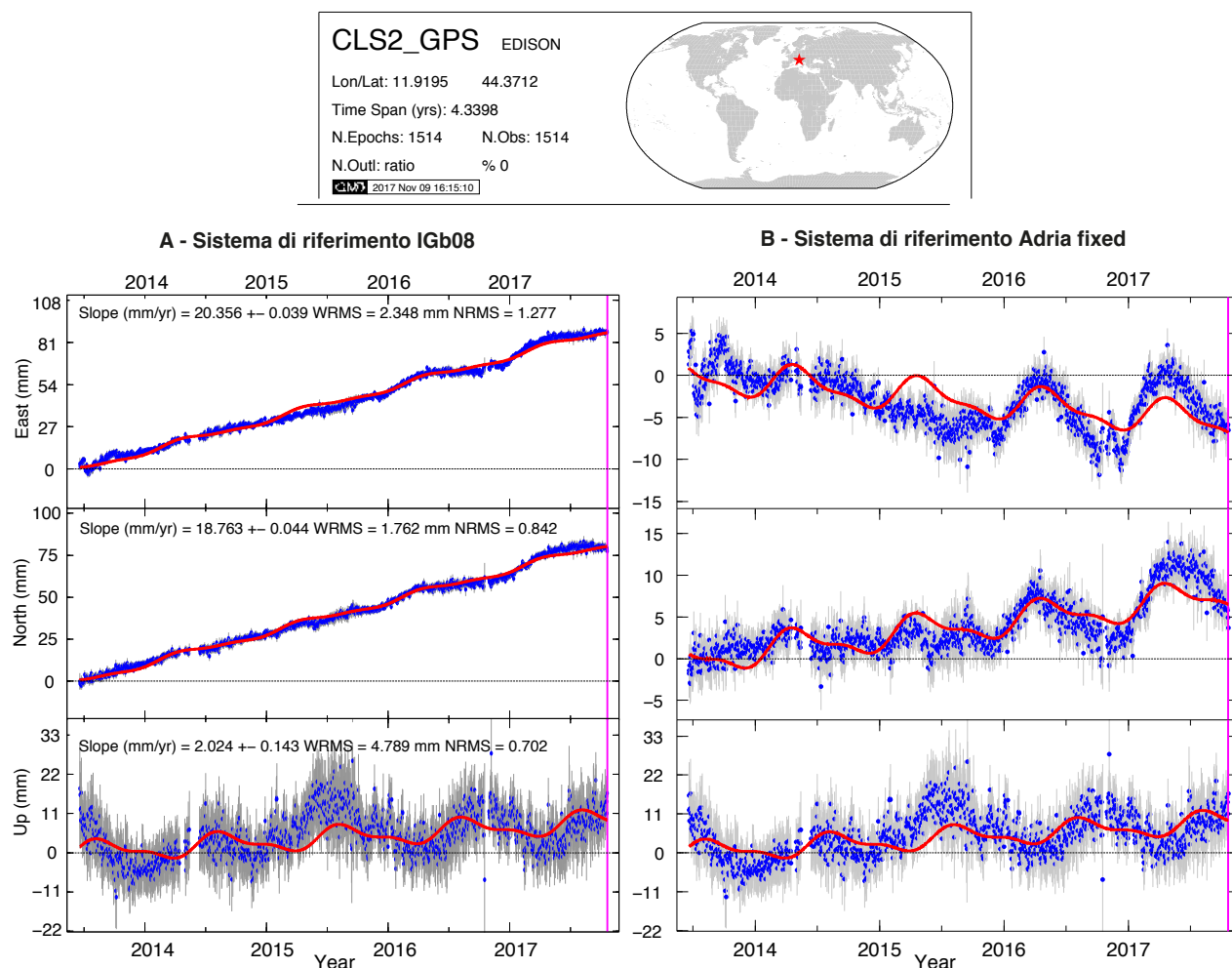


Figura 2.2: A: Serie temporale delle posizioni della stazione CLS2, aggiornata al 21 ottobre 2017, nel sistema di riferimento NNR IGB08. La linea rossa indica il modello ottenuto da una stima dell'andamento lineare e stagionale. Le linee grigie indicano le barre d'errore (2 sigma) delle posizioni giornaliere. B: Serie temporale delle posizioni della stazione CLS2 in un sistema di riferimento locale Adria-fixed, ottenuto utilizzando il polo di rotazione della microplacca Adriatica determinato in Serpelloni et al. (2016).

3 Piezometri e assestimetri: relazioni con la piovosità

3.1 Piezometri

Il comportamento dei piezometri superficiali nel periodo aprile - settembre 2017 ha andamento confrontabile con quanto avvenuto nei medesimi periodi degli anni precedenti, ovvero un trend di abbassamento delle quote piezometriche a partire da istanti diversi a seconda della profondità dello strumento (marzo per PS1C, aprile per PI1C, luglio per PP1C), a suggerire differenti tempi di risposta delle falde alle dinamiche pluviometriche. In questo semestre di osservazione l'entità di tali abbassamenti risulta contenuta nei range di variazione già osservati con un Δ negativo di ≈ -150 cm per il piezometro superficiale e di ≈ -180 cm per quello intermedio (Fig. 3.1), a fronte di abbassamenti di quota avvenuti in precedenza fino a 2 metri per PI1C e fino a 1.8 metri per PS1C.

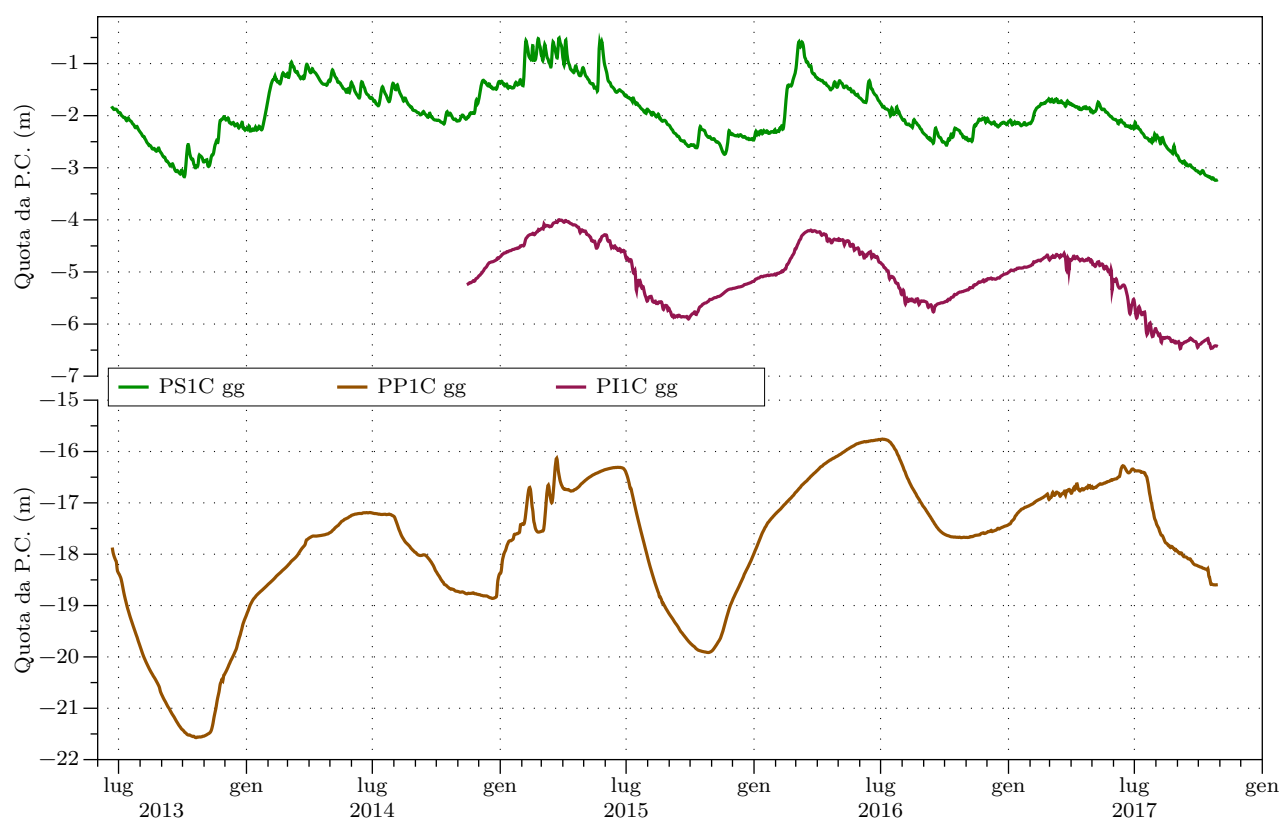


Figura 3.1: Variazioni giornaliere medie della quota piezometrica dal P. C. registrate rispettivamente nei piezometri superficiale, intermedio e profondo, compensate per la pressione atmosferica. Dal grafico sono escluse le medie con valori di deviazione standard ≥ 0.05 .

Anche il comportamento del piezometro profondo coincide con l'innalzamento primaverile già osservato in precedenza, che risulta però dimezzato rispetto agli anni precedenti nel periodo gennaio - luglio ($\approx +1$ m nel 2017 vs $\approx +2$ m in tutti gli altri anni), e addirittura $\frac{1}{4}$ dell'innalzamento complessivo avvenuto tra l'autunno e

la fine primavera del 2014 e del 2016 ($\approx +1$ m nel 2017 vs $\approx +4$ m nel 2014 e 2016; Fig. 3.1). L'abbassamento della falda (≈ -2.2 m tra luglio e settembre 2017), a partire da luglio 2017, risulta invece in linea con quanto già osservato l'anno precedente.

Come si può osservare dalla figura 3.2, l'entità limitata dell'innalzamento di quota di entrambi gli strumenti superficiali ben si accorda con le scarse precipitazioni avvenute nel 2017, sebbene il piezometro intermedio appaia maggiormente sensibile alle precipitazioni estive con picchi relativi più accentuati.

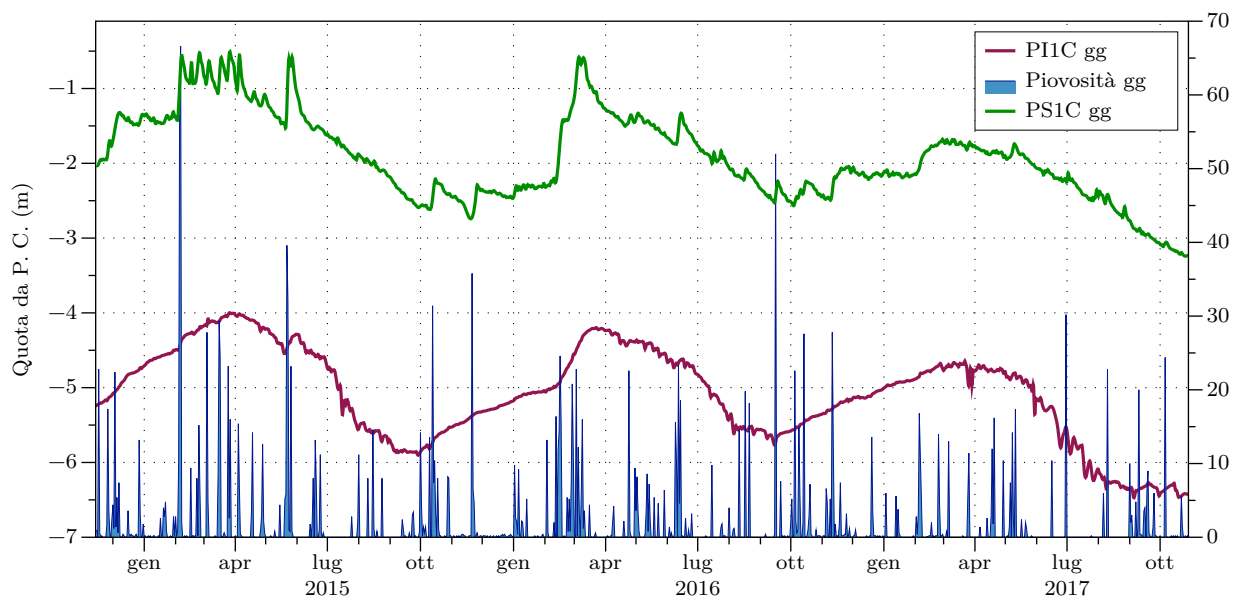


Figura 3.2: Variazioni giornaliere medie della quota piezometrica da P. C. registrate nei piezometri superficiale e intermedio in relazione alla piovosità giornaliera.

Come si può osservare dalla figura 3.3, lo scarso innalzamento registrato da PP1C prima di luglio 2017 può essere relazionato con le scarse piogge cadute tra gennaio e fine giugno 2017, che scaricano al suolo complessivamente ≈ 230 mm d'acqua; nello stesso periodo degli anni precedenti si erano accumulati ≈ 450 mm nel 2016 e 2014, ≈ 530 mm nel 2015. Dal grafico notiamo, a fronte di precipitazioni estive simili tra gli anni 2016 e 2017, un abbassamento della quota piezometrica di PP1C analoga nei periodi luglio – ottobre 2016 e 2017. In generale e come già evidenziato durante i precedenti periodi di monitoraggio, le dinamiche degli acquiferi investigati dai 3 strumenti risentono delle precipitazioni con effetti che vanno dal breve (piezometro superficiale) al lungo termine (piezometro profondo).

I grafici di tutte le relazioni tra i piezometri e la piovosità giornaliera e cumulata sono contenuti in Appendice A.

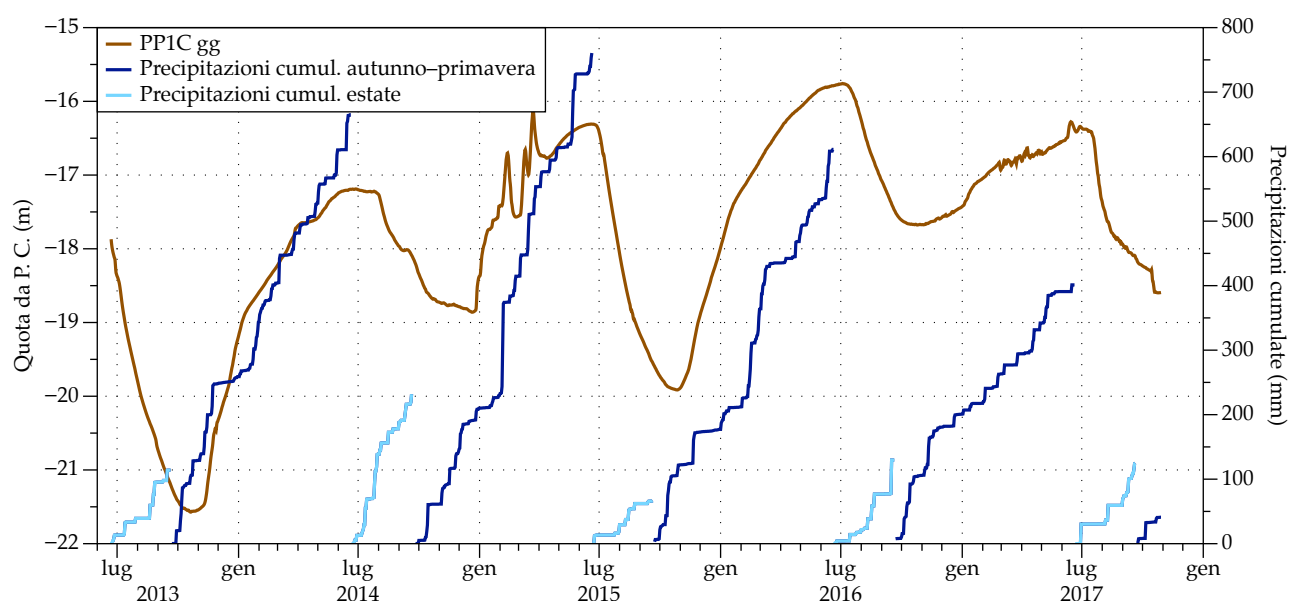


Figura 3.3: Variazioni giornaliere medie della quota piezometrica da P. C. registrate nel piezometro profondo in relazione con le precipitazioni cumulate ogni anno. Per meglio evidenziare il comportamento stagionale del piezometro, le cumulate delle precipitazioni vengono calcolate con lo zero posto a luglio di ciascun anno.

3.2 Monitoraggio della tenuta della colonna superficiale di ancoraggio dei pozzi

Oltre al controllo dei livelli di falda attraverso i tre piezometri appositamente realizzati, al fine di verificare l'assenza di perdite dai pozzi verso l'esterno e quindi di certificare l'isolamento degli stessi Edison Stoccaggio ha pianificato controlli eseguiti da una ditta specializzata che, con frequenza semestrale, rilevano le pressioni delle intercapedini e degli annulus dei pozzi. Nel documento in Allegato 1 viene riportata la certificazione fornita dalla ditta specializzata, che riporta in tabella i valori delle pressioni rilevate per i vari pozzi della concessione. Inoltre, come previsto dal sistema di gestione della sicurezza adottato dalla Edison Stoccaggio, vengono effettuati dal personale interno controlli dei pozzi e delle relative sicurezze. Tra tali controlli è prevista anche la rilevazione delle pressioni all'intercapedine dei pozzi, i valori registrati vengono riportati nella tabella in Allegato 2. Una nota relativa alla pressione anulare del pozzo Cotignola B3 è stata fornita nel rapporto di dicembre 2014 (Report_14004COT01-GEOPH-EDIS0-DV04_rev00, Geophi, 2015)

3.3 Assestimetri

Nel presente rapporto vengono descritte le misurazioni dal 1 aprile al 30 settembre 2017, e se ne riportano gli andamenti descritti nei precedenti report a partire da gennaio 2015 (Fig. 3.4). Per comodità di scrittura/lettura, nel presente capitolo 3 e nei capitoli seguenti gli assestimetri verranno indicati anche nel testo con le sigle ASS-P ed ASS-S, che li contraddistinguono nei grafici.

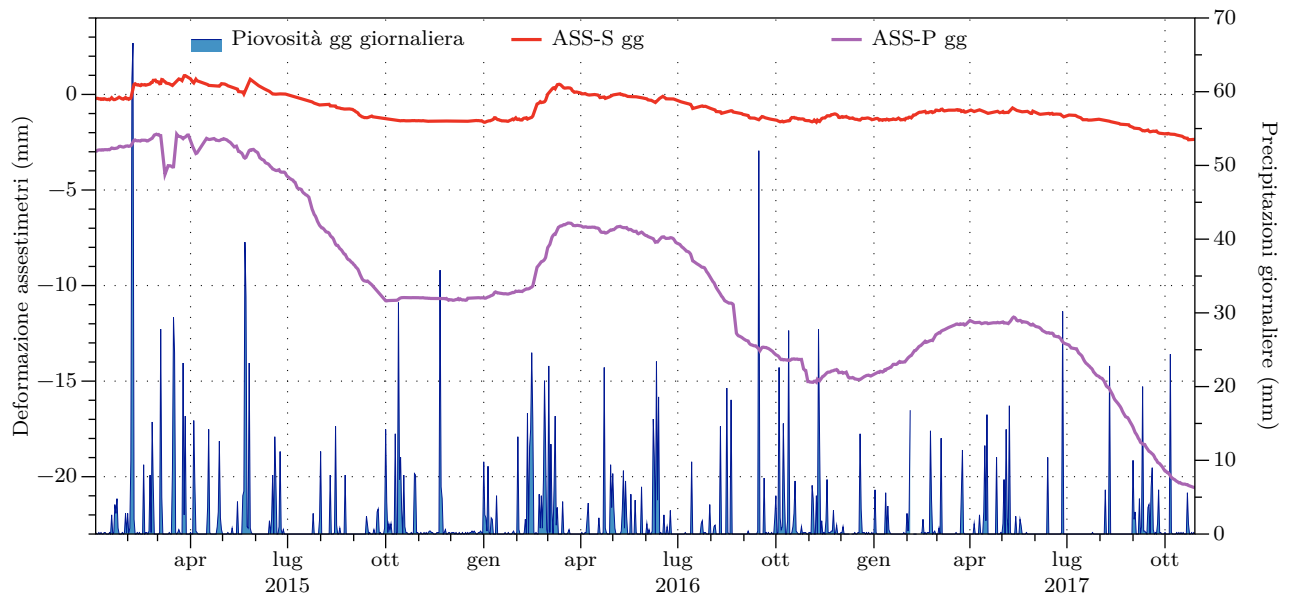


Figura 3.4: Deformazioni giornaliere medie registrate lungo le aste degli assestimetri superficiale (ASS-S) e profondo (ASS-P) in relazione alle precipitazioni giornaliere, a partire da gennaio 2015 fino al 30 settembre 2017.

Il grafico che descrive le deformazioni avvenute nel semestre aprile-settembre 2017 lungo l'asta dell'assestometro profondo (curva viola in figura 3.4) ha andamento simile a quello del medesimo periodo degli anni precedenti: deformazioni assenti o minime durante il mese di aprile e inizio della compattazione a partire da maggio fino a settembre (e oltre). L'entità delle deformazioni di ASS-P nel periodo aprile-settembre 2017 risulta simile a quella del semestre 2016, anche se differiscono (Fig. 3.4) le deformazioni residue accumulate lungo l'asta dello strumento (≈ -13.5 mm a settembre 2016 e ≈ -20 mm a settembre 2017), che suggeriscono una compattazione media di ≈ -4 mm annui a partire da inizio monitoraggio. In particolare, in questo semestre di osservazione si hanno:

- deformazioni minime fino al 7 maggio, con un picco positivo di $+0.4$ mm, registrato anche da ASS-S, a seguito delle piogge di inizio mese;
- regolare compattazione fino al 30 giugno 2017 che ammonta a ≈ -1.5 mm, fino a quota -13.1 mm lungo l'asta dello strumento.

- una ulteriore regolare compattazione fino al 30 settembre che ammonta a ≈ -7 mm fino a quota -20 mm lungo l'asta dello strumento.

L'andamento delle deformazioni dei primi 11 metri di sedimento, derivato dalle misure dell'assestimetro superficiale nel periodo aprile - settembre 2017 (Fig. 3.5) mostra un trend di compattazione pressoché analogo a quello dell'anno precedente con una compattazione relativa di ≈ 1.2 mm tra aprile e fine settembre 2017 (1.4 mm nel 2016) nonostante la quasi dimezzata dilatazione tra gennaio ed aprile 2017, rispetto a quella dell'anno precedente (dato dalla scarsità delle piogge nell'ultimo inverno). In dettaglio nel semestre in esame:

- fino a giugno non si accumula ulteriore deformazione; va rimarcato solo un picco di dilatazione-compattazione di $\approx \pm 0.2$ mm a inizio maggio a seguito di 3 giorni consecutivi di precipitazioni $>$ di 10 mm/giorno;
- la compattazione di ≈ -1 mm avviene a partire dal mese di luglio.

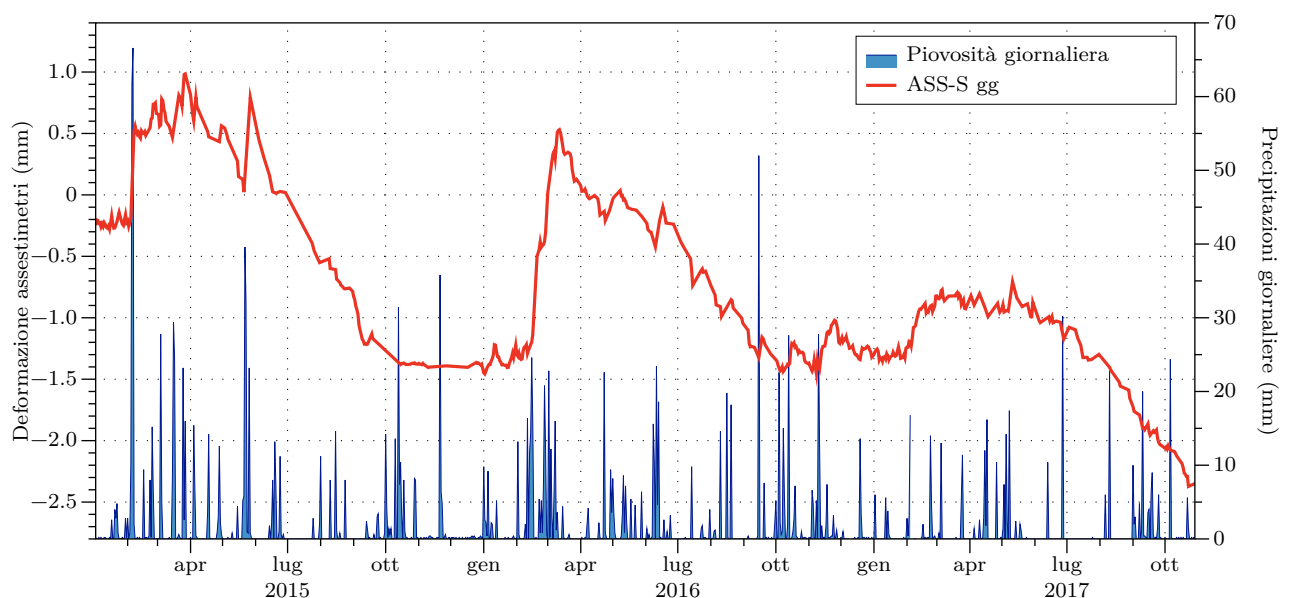


Figura 3.5: Deformazioni giornaliere medie registrate lungo le aste degli assestimetri superficiale (ASS-S) e profondo (ASS-P) in relazione alle precipitazioni giornaliere, a partire da gennaio 2015.

I grafici delle relazioni tra gli assestimetri e le precipitazioni e delle relazioni tra gli andamenti di assestimetri e piezometri sono visibili in Appendice A.

4 Analisi SqueeSAR Geophi sui Cluster della concessione San Potito - Cotignola

4.1 Analisi SqueeSAR sui Cluster B e C in relazione alla movimentazione di gas

L'analisi prodotta da TRE aggiornata ad ottobre 2017 evidenzia nell'area del giacimento di Cotignola "La permanenza di un trend ciclico nelle serie storiche osservato sia nel Pool B che nel Pool C". "Nell'area del Pool C l'ampiezza massima della stagionalità misurata per la componente verticale ed orizzontale è risultata di circa 14 mm". "Nell'area del Pool B l'ampiezza massima della stagionalità misurata per la componente verticale è risultata di circa 12 mm", TRE ALTAMIRA Cotignola_RelazioneTecnica_Aggiornamento_Ottobre_2017_JO17-361 - 401- REP 1.0, (2017).

I dati di aggiornamento ad ottobre 2017 prodotti da TRE ALTAMIRA mostrano sul giacimento una inversione del trend di subsidenza della serie storica a partire da aprile, con l'inizio di un nuovo fenomeno di sollevamento. L'inversione si osserva sia nel Cluster B che nel Cluster C, anche se è più marcato nella zona centrale di quest'ultimo (+ 16 mm). Tale valore è paragonabile agli spostamenti registrati nei cicli precedenti: il sollevamento cumulato tra maggio e ottobre 2016, nel centro del Cluster C, era di quasi + 15 mm; l'abbassamento cumulato tra novembre 2016 e aprile 2017 di $\approx - 15$ mm.

In accordo con quanto osservato per la componente verticale, anche nella componente orizzontale est-ovest si osserva una contemporanea inversione del trend deformativo, tra aprile e ottobre 2017: si osservano spostamenti orizzontali che "allontanano" i PS dal centro del Cluster-C di ≈ 10 mm (es. ≈ 9 mm verso ovest per punti posti a ridosso di CLS2, ad ovest del centro, e ≈ 10 mm verso est per punti posti ad est del centro del Cluster-C). Questo comportamento risulta conforme con quello della stazione GPS CLS2.

Per analizzare gli effetti della movimentazione di gas nel reservoir della concessione si parte dall'assunto che:

- i quantitativi di gas siano in grado di accentuare la subsidenza storica dell'area, durante e a seguito delle fasi di erogazione;
- i quantitativi di gas siano in grado di contrastare la subsidenza, durante e a seguito delle fasi di iniezione;
- l'analisi interferometrica sia in grado di evidenziare l'effetto di tali accentuazione e contrasto.

Questo assunto può essere verificato durante il semestre in esame, durante il quale il quantitativo di gas movimentato nel giacimento tra settembre 2016 e inizio ottobre 2017 corrisponde ad un ciclo di erogazione/iniezione quasi completo, con l'erogazione di ≈ 202.2 MSmc di tra novembre 2016 e aprile 2017 e l'iniezione di ≈ 226.5 MSmc tra aprile e ottobre 2017 (Figs. 1.1 e 1.4).

Le serie temporali fornite da TRE ALTAMIRA sono state ulteriormente elaborate per meglio definire e visualizzare i trend di deformazione nell'intorno dell'impianto di stoccaggio. In queste elaborazioni si è scelto di utilizzare solo i parametri di spostamento e non quelli di velocità media delle serie temporali dei bersagli

radar, poiché tale parametro, in questa fase caratterizzata da possibili inversioni di tendenza concomitanti con il passaggio da attività di iniezione ad estrazione, risulta meno efficace nell'evidenziare i trend di deformazione.

Allo scopo di visualizzare la deformazione indotta sulla superficie topografica dagli spostamenti causati dalla movimentazione di gas, viene qui proposta la figura 4.1: essa mostra la superficie di spostamento verticale che si ottiene interpolando gli spostamenti cumulati che ogni bersaglio ha subito nel periodo tra aprile e ottobre 2017, durante il quale è stato iniettato gas all'interno del reservoir (≈ 226.5 MSmc).

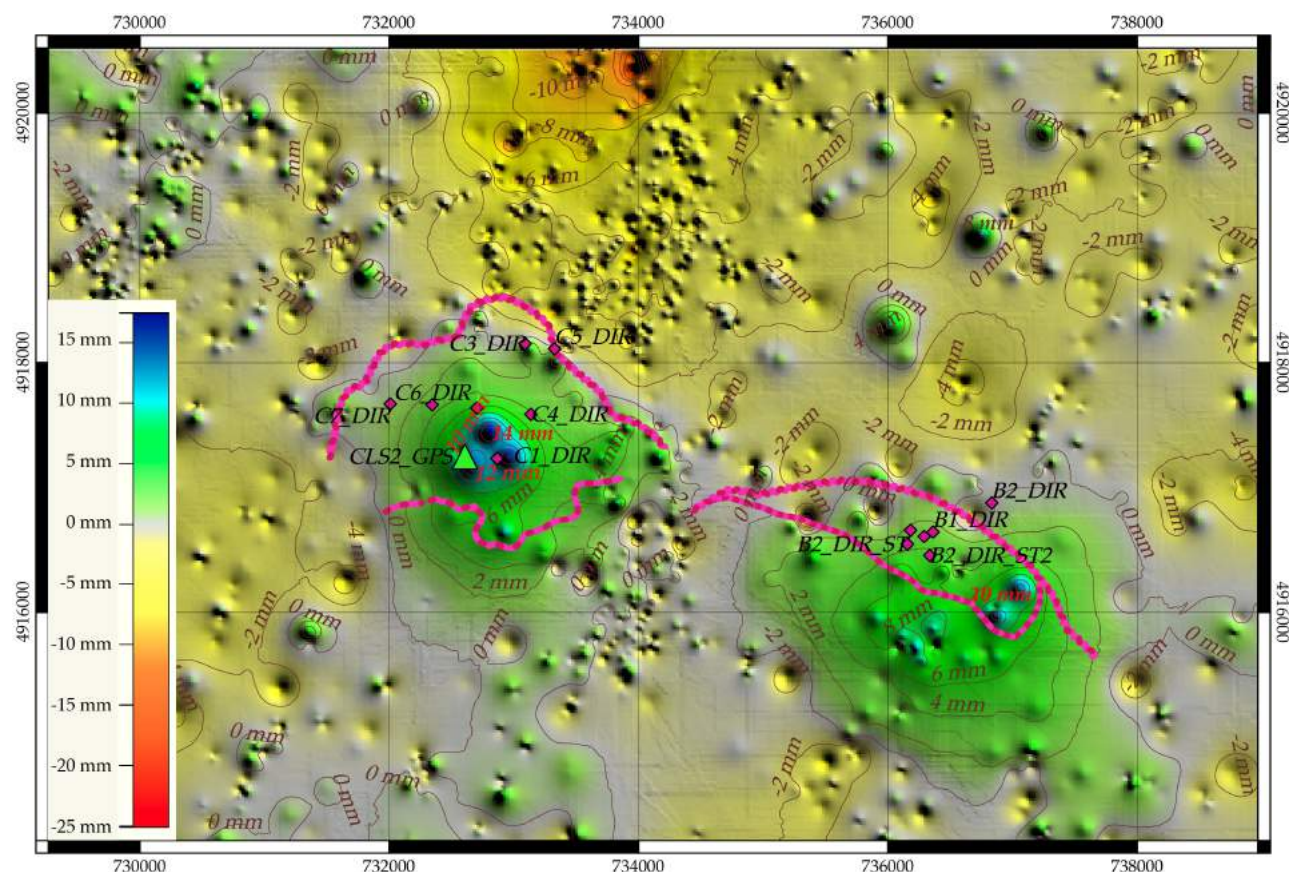


Figura 4.1: Superficie di spostamento verticale ottenuta tramite la serie temporale Sentinel-1: l'interpolazione utilizza lo spostamento cumulato da ogni bersaglio radar durante l'ultima fase di iniezione aprile – ottobre 2017.

La superficie descrive una bolla di sollevamento proprio al di sopra del Cluster-C, con valori massimi fino a + 16 mm; un sollevamento con valori arealmente ben distribuiti fino a $\approx + 8$ mm avviene anche al di sopra del Cluster-B, ma localizzato nella zona sud-est; parte dell'area deformata si estende al di fuori di esso (Fig. 4.1). Rispetto a quanto registrato dalla serie TerraSAR-X durante la precedente fase di iniezione 2016, la deformazione è spazialmente distribuita in maniera simile, ma in aumento nei valori medi che passano da + 4 mm (iniez. 2016) a + 6 – 8 mm. Va precisato che valori al di sopra dei 10 mm sono stati superati solo da 2 PS isolati e situati nella zona ai limiti sud orientali del Cluster-B, a circa 1 km di distanza dai 3 pozzi attivi sul cluster. Le serie temporali dei 2 bersagli radar risultano inoltre caratterizzate da un forte scatter, ed il

pixel (PS) con valore massimo risulta addirittura su materiale crollato (risulta una incongruenza tra le quote dei PS ascendente e discendente di origine, seppure si trovano sullo stesso piano). Pertanto, l'isolamento e la scarsa qualità dei 2 PS all'interno dei limiti di reservoir ci spingono a considerarne il dato di spostamento poco rilevante e da verificare nel prosieguo del monitoraggio.

Analogamente a quanto operato nei report precedenti, sono state svolte una serie di analisi lungo il profilo longitudinale CB (figure 4.2 e 4.3) che interseca la culminazione strutturale dei corpi di reservoir dei Pool C e B, laddove la roccia serbatoio è più spessa e dunque più soggetta a dilatazione o compattazione. Questa è anche la parte dove sono presenti i pozzi maggiormente utilizzati in fase di stoccaggio, C1, C2 e C4. Le serie in figura 4.3 rappresentano i valori di spostamento di ogni bersaglio radar proiettato sul profilo CB, alla fine di ognuna della fasi principali di attività di reservoir degli ultimi 3 anni. Le serie sono calcolate riportando a zero il valore di spostamento di ogni punto all'inizio di ogni fase.

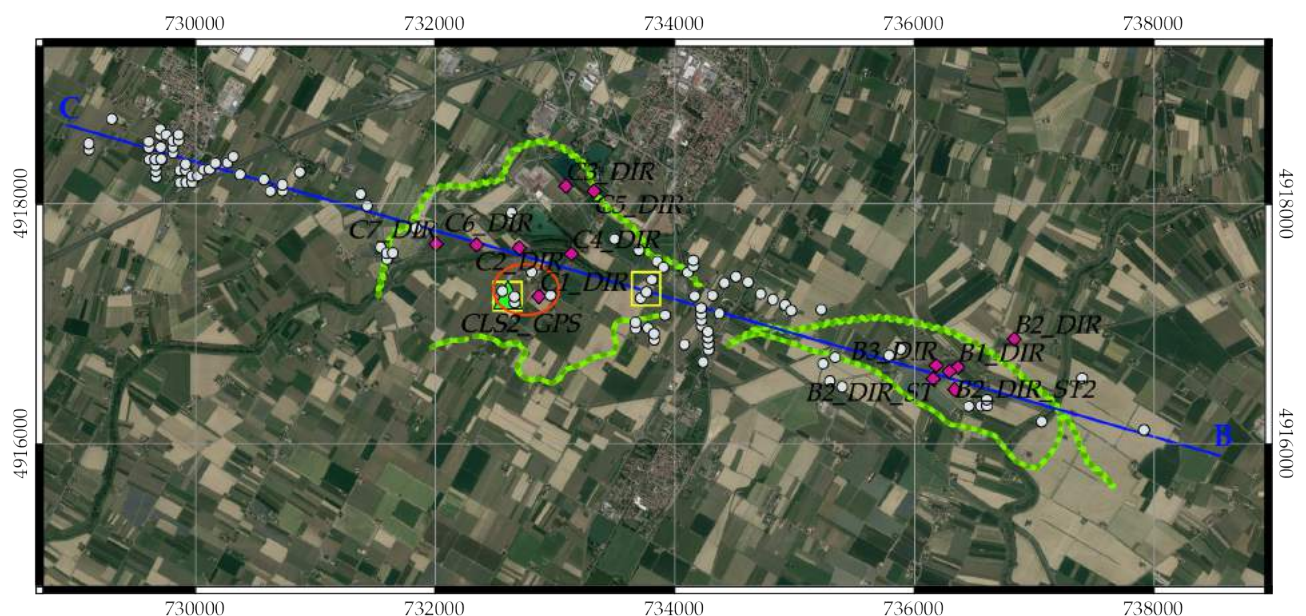


Figura 4.2: Mappa dei limiti di reservoir dei Cluster C e B; localizzazione del profilo CB (in blu) lungo il quale sono stati proiettati i bersagli radar (in bianco) che si distribuiscono attorno ad esso; il cerchio arancio al centro del Cluster-C evidenzia i bersagli radar di cui sono state analizzate le serie temporali mostrate in figura 4.4; i quadrati gialli evidenziano i bersagli radar le cui serie temporali orizzontali sono analizzate in figura 4.5.

Come si può notare i massimi valori di spostamento si distribuiscono esattamente in prossimità del centro del Cluster-C e ben descrivono il cono di sollevamento/subsidenza creato dalle attività di stoccaggio. Durante le 3 fasi di iniezione rappresentate in figura 4.3, nell'intorno del Cluster-C (tra 3000 e 5000 m in ascissa) viene misurato un sollevamento, con spostamenti massimi di alcuni bersagli radar che arrivano a $\approx + 19$ mm nel caso della seconda fase di iniezione (curva azzurra), che considera il gas stoccato tra aprile e ottobre 2016 (≈ 197.5 MSmc); a seguito della terza (aprile - ottobre 2017, ≈ 226.5 MSmc) gli spostamenti arrivano a $\approx + 17$

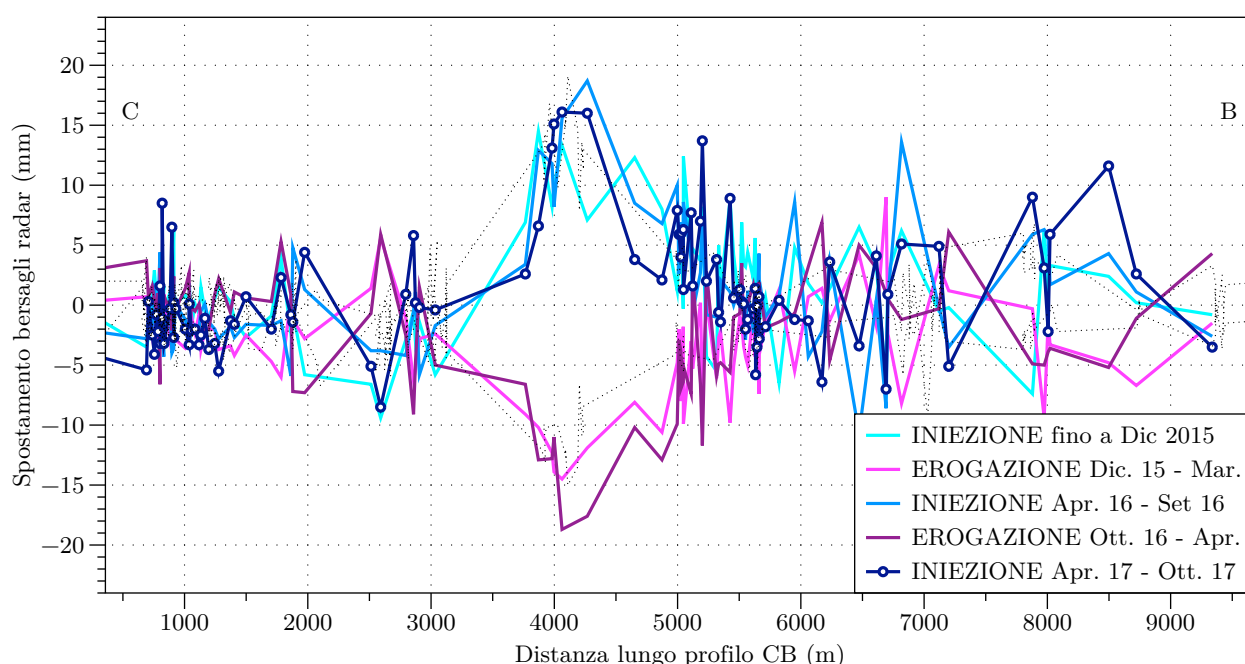


Figura 4.3: Profilo longitudinale di spostamento verticale ottenuto dai dati delle serie temporali Sentinel-1 (in colore solido) e TerraSAR-X per confronto (in nero tratteggiato). Le curve del grafico sono costruite proiettando lungo il profilo CB, in blu nella mappa di figura 4.2, i valori di spostamento verticale dei bersagli radar (punti bianchi in mappa), che si distribuiscono nell'intorno del profilo stesso, rispetto al valore di spostamento di ogni punto ad inizio di ogni fase di movimentazione del gas; i valori in ascissa esprimono la distanza progressiva misurata lungo il profilo con origine a nord-ovest.

mm (curva blu con punti bianchi); a seguito della prima iniezione che considera il gas stoccato dal 2013 fino a novembre 2015 (≈ 183 MSmc, curva ciano), si registra lo spostamento minore. Questo avviene in virtù del fatto che la serie Sentinel-1 inizia a catturare gli spostamenti al di sopra del della concessione, a partire da marzo 2015 e pertanto si perde la deformazione accumulatasi nel periodo precedente. In figura 4.3 si notano anche gli spostamenti di $\approx +13$ e $+14$ mm dei 2 PS al di sopra del Cluster-B (tra 7500 e 8500 m in ascissa) la cui scarsa validità del dato è stata già discussa in precedenza.

Analogamente, rispetto alle 2 fasi di erogazione rappresentate, si possono notare i 2 coni di subsidenza che risultano proporzionali al quantitativo di gas prelevato ogni volta dal reservoir (202.2 MSmc di gas tra novembre 2016 - marzo 2017, curva viola; 136.5 MSmc dicembre 2015 - marzo 2016, curva porpora). Il cono di abbassamento della più recente fase di erogazione descritta dalla linea viola risulta appena più marcato di quella della precedente fase erogativa descritta dalla linea porpora. Durante le 2 fasi di erogazione si evidenziano spostamenti correlabili con la movimentazione di gas di ≈ -4 mm, in corrispondenza della parte sud-orientale del pool B ($\approx$ tra 7500 - 8500 m lungo il profilo CB, curve viola e porpora).

Per meglio descrivere la possibile influenza al suolo delle attività di stoccaggio sono stati isolati un gruppo

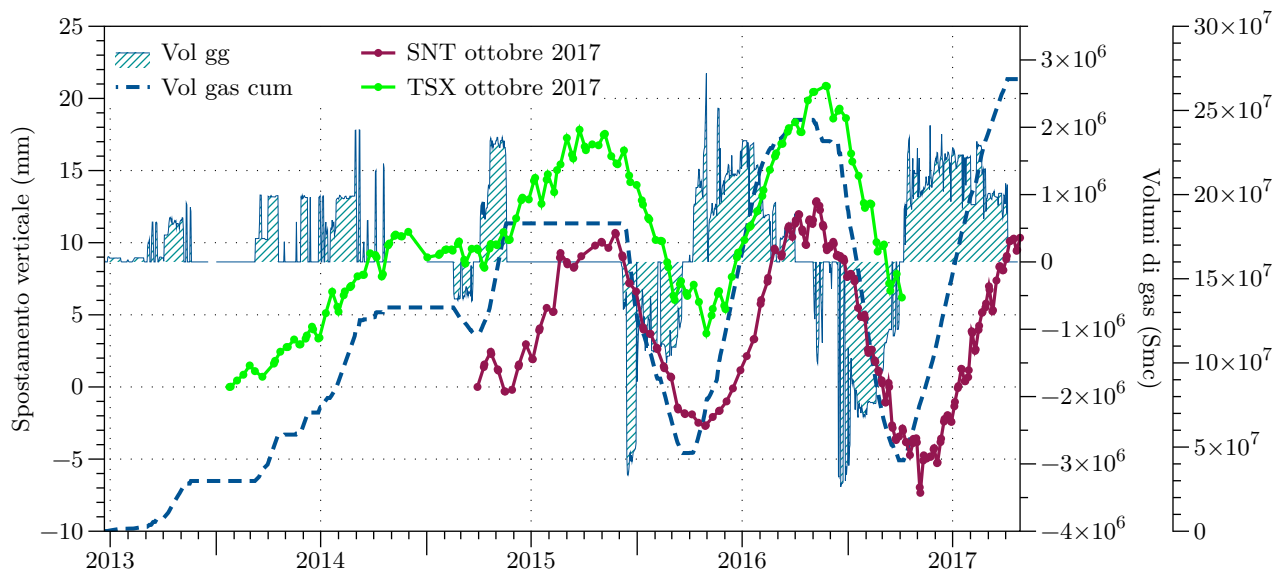


Figura 4.4: Confronto tra medie degli spostamenti dei bersagli radar (mm) individuati al centro del Cluster-C (cerchio arancio in Fig. 4.2) e volumi movimentati nel pool CC1.

di bersagli radar all'interno del Cluster-C in prossimità del centro del reservoir, posizionati tra i pozzi C1, C2 e C4. L'andamento delle medie degli spostamenti di tale gruppo di punti mostra una buona correlazione sia con l'andamento dei volumi di gas movimentati nel pool CC1 (Fig. 4.4), sia con le pressioni di poro misurate al fondo del pozzo C1 (Fig.1.4). In particolare, nel semestre in esame (a partire da aprile 2017) osserviamo un sollevamento medio dei bersagli radar di $\approx +16$ mm a fronte di una iniezione di 226.5 MSmc e di un relativo aumento di pressione di $\approx +82$ kg/cm².

Anche nella componente orizzontale est-ovest si osserva una contemporanea inversione del trend deformativo, tra aprile e ottobre 2017 (Fig. 4.5): si osservano spostamenti orizzontali che "allontanano" i PS dal centro del Cluster-C di ≈ 9 mm verso ovest, per punti posti a ridosso di CLS2 (curva blu con valori negativi in Fig. 4.5), e di ≈ 10 mm verso est, per punti posti ad est del centro del Cluster-C (curva rossa in Fig. 4.5). Questo comportamento risulta conforme con quello della stazione GPS CLS2 (Fig. 5.4).

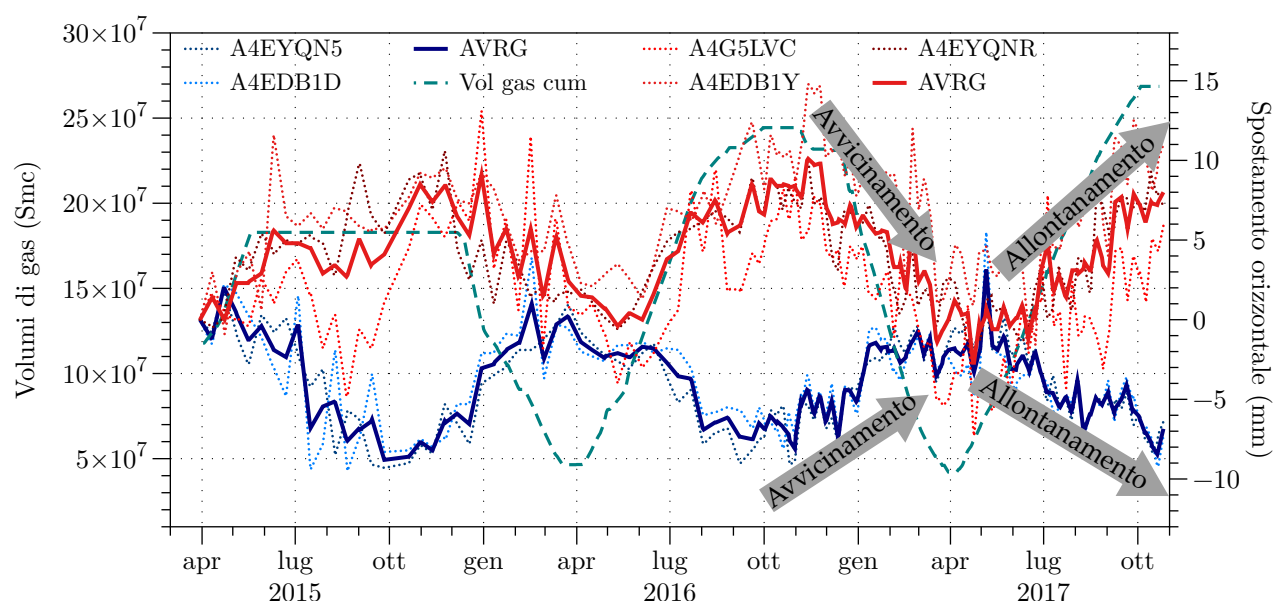


Figura 4.5: Confronto tra la movimentazione di gas e le serie temporali medie di spostamento lungo la componente orizzontale dei bersagli radar individuati rispettivamente a ridosso della stazione GPS CLS2 (curva blu) e nella zona orientale del reservoir (curva rossa). Le posizioni dei bersagli radar analizzati in questa figura sono evidenziate dai quadrati gialli in figura 4.2.

4.2 Analisi SqueeSAR in relazione alla movimentazione di gas nel Cluster A

Le serie temporali analizzate da TRE ALTAMIRA (Cotignola Relazione Tecnica Aggiornamento Ottobre 2017 JO17-361-401-REP 1.0, 2017) "hanno evidenziato nell'area del giacimento di San Potito la presenza di movimenti differenziali di entità molto limitata, con velocità medie contenute entro pochi mm/anno". Esse sono state ulteriormente elaborate per meglio definire e visualizzare i trend di deformazione nell'intorno dell'impianto di stoccaggio di San Potito, Cluster-A.

Così come operato per i Cluster B e C a Cotignola, vengono qui di seguito proposte due tipologie di analisi del dato interferometrico:

- 1) la proiezione dei valori di spostamento dei bersagli radar, suddivisi secondo i periodi operativi dello stoccaggio, localizzati lungo 2 sezioni che tagliano longitudinalmente il giacimento nel suo punto di culminazione strutturale (massimo spessore), e dunque potenzialmente più suscettibile di deformazioni in relazione alla movimentazione di gas (sezioni AA' e BB' in blu nella mappa di figura 4.6);
- 2) l'analisi della serie temporale media calcolata tra un gruppo di punti che si trovano nei pressi del pozzo direzionato San Potito 1 DIR (cerchi arancio nella mappa di Fig. 4.6), perforato sulla culminazione strutturale del reservoir di San Potito.

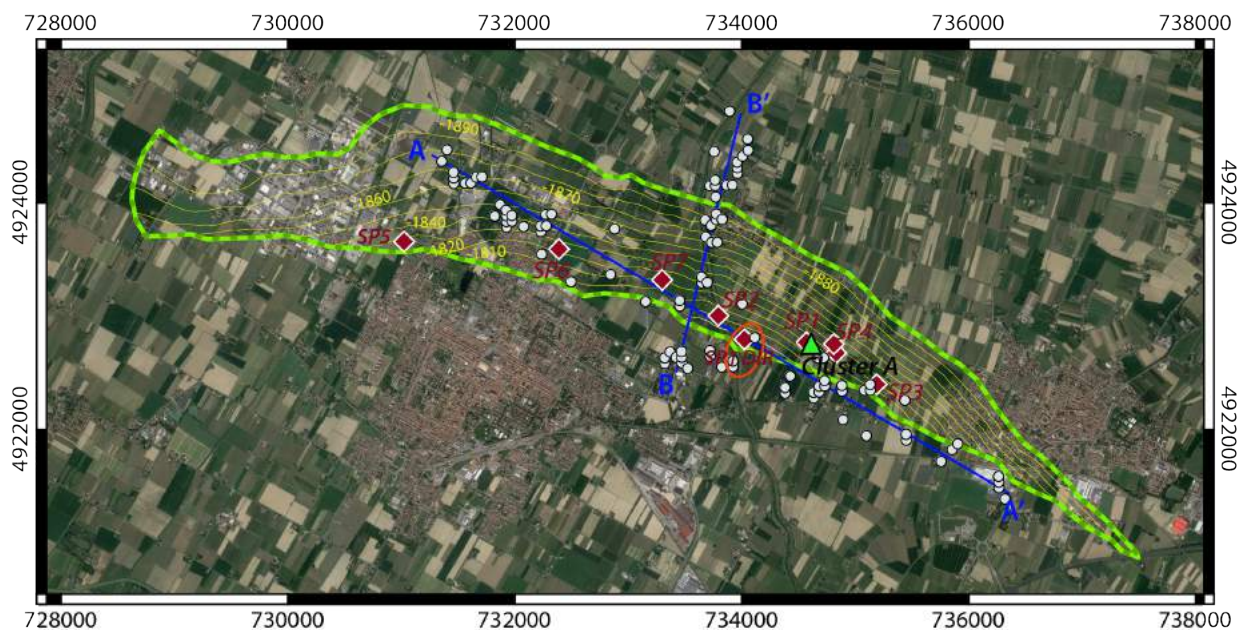


Figura 4.6: Mappa della proiezione in superficie del top del giacimento di San Potito, con le relative isobate e la posizione dei fondo pozzo, in bordeaux; in bianco i bersagli radar della serie Sentinel-1 aggiornata ad ottobre 2017, i cui spostamenti sono stati proiettati lungo i profili AA' e BB' per creare le figure 4.7 e 4.8; il cerchio arancio delimita i bersagli radar analizzati in figura 4.9.

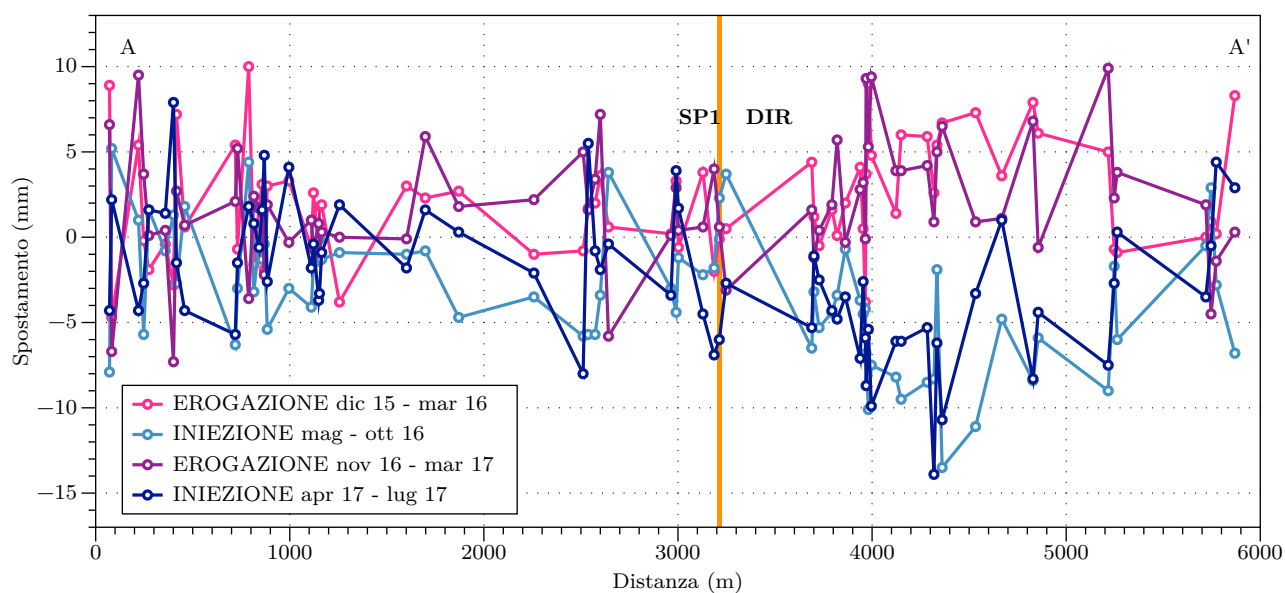


Figura 4.7: Spostamenti dei bersagli radar distribuiti lungo il profilo AA' (mappa di Fig. 4.6); in blu spostamenti avvenuti durante la fase di iniezione, in porpora e viola quelli delle fasi di erogazione: le serie sono riportate a zero all'inizio di ogni fase. La linea arancio localizza il pozzo San Potito 1 DIR.

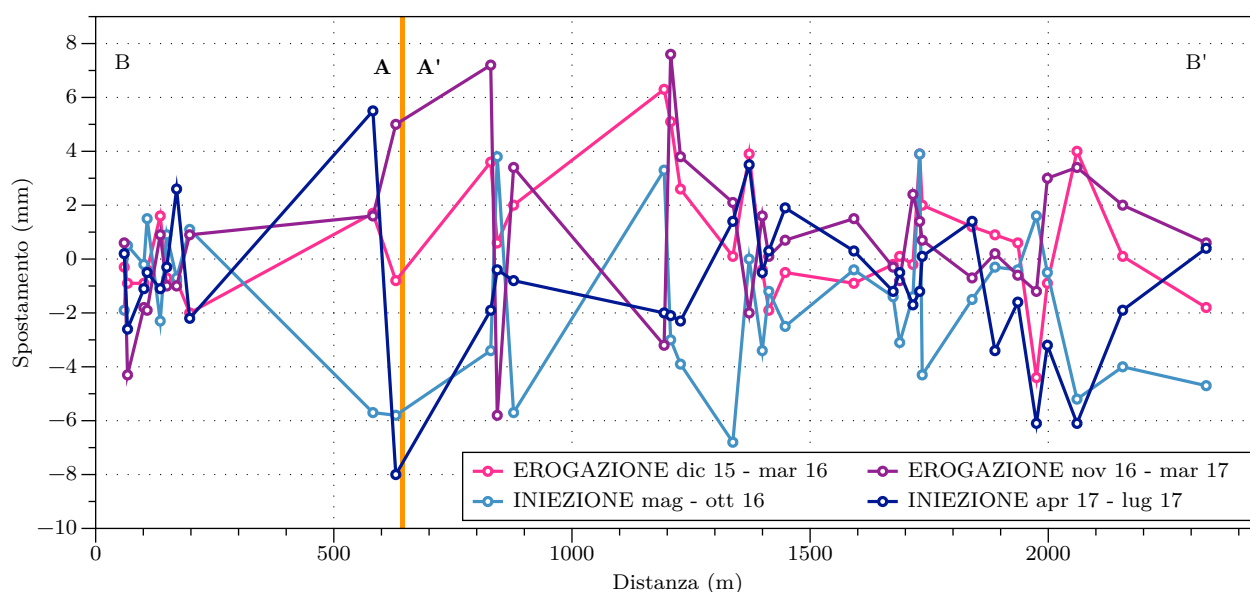


Figura 4.8: Spostamenti dei bersagli radar distribuiti lungo il profilo BB' (mappa di Fig. 4.6); in blu spostamenti avvenuti durante la fase di iniezione, in porpora e viola quelli della fasi di erogazione: le serie sono riportate a zero all'inizio di ogni fase. La linea arancio localizza l'intersezione del profilo BB' con il profilo AA', tra i pozzi SP7 e SP2.

Nel semestre in esame gli spostamenti verticali registrati nell'area di San Potito non sono correlabili con la movimentazione di gas operata nel giacimento né in termini spaziali, né temporali. Dalle figure 4.7 e 4.8 si può osservare come durante le fasi di iniezione ed erogazione analizzate gli spostamenti della quasi totalità dei bersagli radar della serie Sentinel-1, distribuiti lungo i profili AA' e BB', abbiano valori contenute entro i 5 - 6 mm (sia in positivo che in negativo), con oscillazioni massime tra una fase e l'altra di ± 10 mm. Nelle figure 4.7 e 4.8 (ed in maniera più evidente lungo il profilo AA') si può notare come le curve azzurra e blu, che descrivono gli spostamenti dei PS avvenuti durante le fasi di iniezione (maggio-ottobre 2016 e aprile-luglio 2017), si assestino al di sotto delle curve porpora e viola (spostamenti avvenuti durante le fasi di erogazione operate rispettivamente tra dicembre 2015-marzo 2016 e novembre 2016-marzo 2017) in maniera evidente solo nella parte sud orientale del profilo AA' (tra i 3500 e i 5500 m). Con ogni probabilità (dato l'ancora esiguo quantitativo di gas movimentato nel Cluster-A), i modesti spostamenti dei bersagli radar sono influenzati essenzialmente dalle compattazioni estive e dalle dilatazioni invernali del suolo, dovute alle condizioni meteorologiche ed al prelievo delle acque di falda, maggiore nelle stagioni calde. Tale comportamento viene confermato osservando l'andamento della serie temporale media dei bersagli radar individuati attorno al pozzo San Potito 1 DIR sulla culminazione strutturale del Cluster-A (Fig. 4.9): seppur caratterizzata da uno scatter piuttosto elevato (soprattutto nel primo periodo di acquisizione) la serie mostra un generale trend di abbassamento, lineare e lieve ($\approx 2-3$ mm/anno) fino a giugno 2017 e che aumenta fino a ≈ -6 mm, durante l'estate 2017. Sul Cluster-A, a

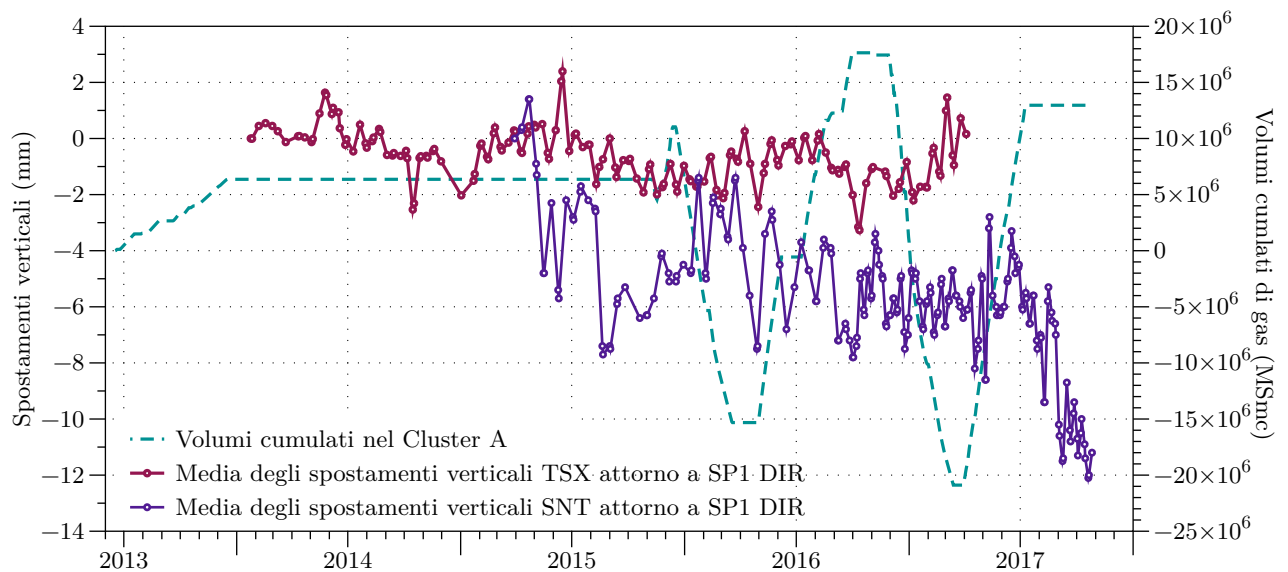


Figura 4.9: Serie temporale media di spostamento del gruppo di bersagli radar individuati attorno al pozzo San Potito 1 DIR (cerchio giallo in figura 4.6), al di sopra della culminazione strutturale del giacimento.

seguito dell'iniezione 2017 (33.8 MSmc di gas) non si osserva un sollevamento come al di sopra del Cluster-C, ma al contrario un abbassamento, dovuto con ogni probabilità alla compattazione estiva dei sedimenti superficiali.

5 Relazione di tutto il sistema di monitoraggio con la movimentazione di gas

Il comportamento degli strumenti profondi, in relazione alla movimentazione di gas nello stoccaggio durante l'ultimo semestre monitorato, viene descritto nelle figure 5.1 e 5.2, dalle quali si possono osservare:

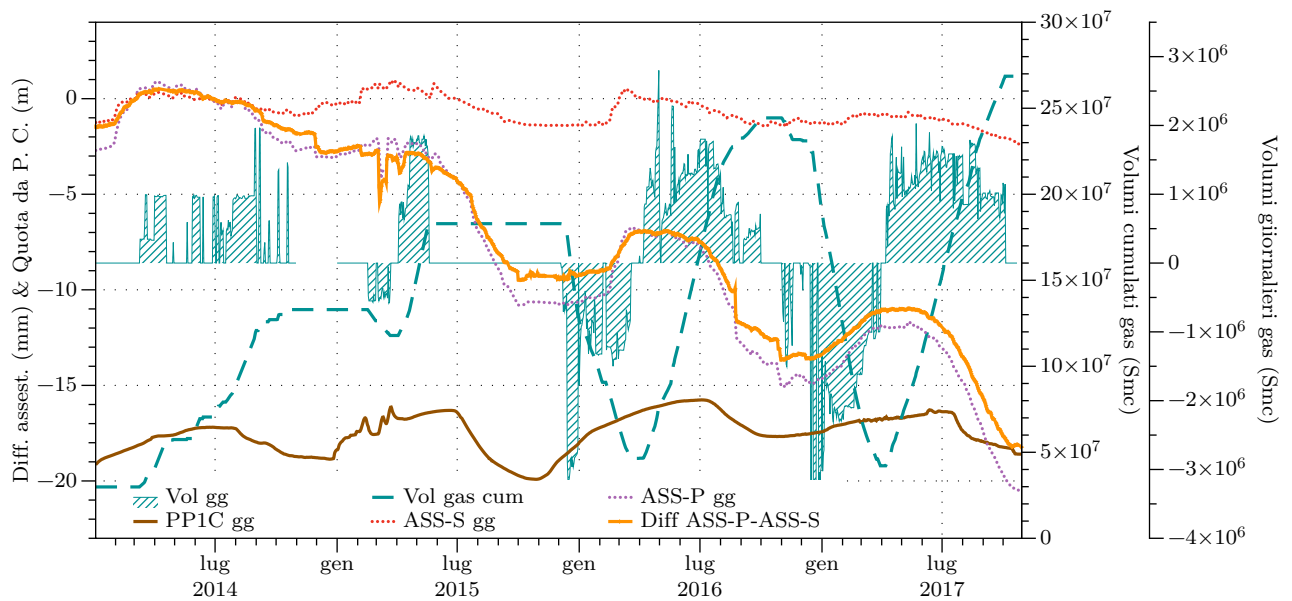


Figura 5.1: Andamento degli strumenti profondi in relazione alla movimentazione di gas nel reservoir del Cluster-C per tutto il periodo di monitoraggio

- una correlazione diretta tra l'andamento di lungo periodo del piezometro profondo (in innalzamento di quota rispetto a P. C./aumento di pressione) rispetto al quantitativo di gas imposto complessivamente nel reservoir. Tuttavia le variazioni di quota di PP1C non seguono i cicli di iniezione/erogazione, ma meglio si correlano con i cicli meteorologici stagionali; in questo semestre, alla più esigua risalita di quota di sempre (+ 1 m) corrispondono le assai scarse precipitazioni della primavera 2017 che risulta essere la più siccitosa degli ultimi 4 anni (≈ 230 mm nel semestre gennaio - giugno 2017, Fig.3.3).
- una correlazione inversa tra il trend di deformazione di lungo termine registrato dall'ASS-P (in compattezza) ed il quantitativo di gas imposto complessivamente nel reservoir. Da gennaio 2017 anche ASS-P sembra rispondere alla movimentazione di gas in termini di inizio e fine del suo ciclo di dilatazione (in corrispondenza con la fase di erogazione) e compattazione (in corrispondenza con la fase di iniezione). Come si può vedere dalle figure 5.2 e 5.3, la curva arancio (differenza tra le deformazioni dei 2 assestetri) che rappresenta la sola componente di deformazione profonda di ASS-P, risulta speculare, e dunque

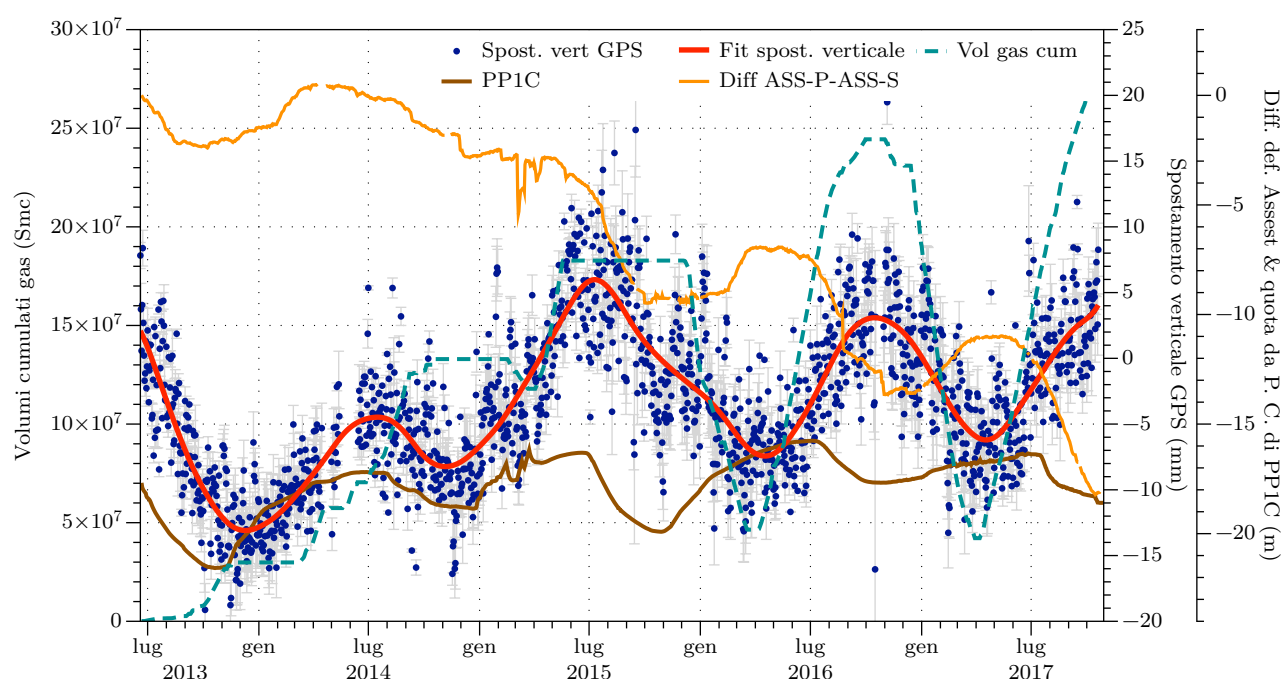


Figura 5.2: Confronto tra la serie temporale delle posizioni della stazione GPS (componente verticale; nel sistema di riferimento IGB08) con la movimentazione di gas nel Cluster-C, con l'andamento del piezometro profondo e con quello della differenza tra le misure degli assestmetri.

allineata in termini di cambi di tendenza, alle serie temporali GPS ed InSAR, che non seguono i cicli di deformazione stagionale;

- la compattazione descritta dalla componente profonda di ASS-P (curva arancio) durante la fase di iniezione tra aprile e settembre 2017, che ammonta a ≈ -7 mm.

A partire dal 2016 ($\approx$ ultimi 2 anni di monitoraggio), il dato GPS, nella sua componente verticale, mostra un andamento che mima la movimentazione di gas nel Cluster C: i punti di flesso della serie non si posizionano più in corrispondenza dei cambi di stagione, ma dell'inizio/fine delle fasi di erogazione/iniezione, descrivendo trend di abbassamento in fase di erogazione (dicembre 2015 - aprile 2016 e novembre 2016 - aprile 2017) e trend di innalzamento in fase di iniezione (aprile - ottobre 2016 e aprile - settembre 2017, Fig. 5.2). L'ampiezza di tali oscillazioni non mostra però scostamenti significativi rispetto all'andamento stagionale misurato prima del 2016 ed è dunque confrontabile con le oscillazioni dei periodi in cui lo stoccaggio non era a pieno regime. L'ampiezza di tali oscillazioni è inoltre confrontabile con quelle di altre stazioni ritenute stabili e non influenzate da dinamiche antropiche, quali la stazione GPS FERR di Ferrara (Fig. 5.3), anche se ne evidenziano lo sfasamento in termini di sollevamento/abbassamento.

Dall'osservazione delle figure 5.2 e 5.3 si evince che:

- I Δ di spostamento di CLS2 rientrano nell'ordine della stagionalità, ma i punti di flesso della serie GPS

(curva fit in rosso) sono allineati con quelli descritti dalla curva dei volumi movimentati nel reservoir (in tratteggio) e non sui punti di flesso tipici della stagionalità (ad es: curva blu di FERR in Fig. 5.3);

- I Δ di spostamento di GPS e InSAR mostrano valori tra loro confrontabili: dalla mappa in figura 4.1, notiamo come CLS2 è posizionata in un'area che, secondo il dato InSAR, subisce deformazioni tra i + 10 e + 12 mm a seguito della fase di iniezione 2017. Tale entità di deformazione rientra comunque nel range di spostamento registrato anche dalla stazione CLS2, in questa fase di attività (componente up media $\approx + 10$ mm, max $\approx + 16$ mm, Fig. 5.2). Le lievi differenze riscontrate possono essere più semplicemente dovute alla diversità delle due tecniche di rilevamento, sia in termini di numero di sensori e dunque di distribuzione spaziale, che di frequenza delle acquisizioni. A tal proposito, per confrontare in modo esaustivo il dato derivante dalle due tecniche, sarebbe interessante installare presso la stazione GPS un bersaglio radar artificiale (*corner reflector*) i cui spostamenti possano coincidere con quelli di CLS2.
- I cicli di spostamento della componente verticale di GPS e InSAR (curva fit in rosso e bordeaux rispettivamente, Fig. 5.3) sono perfettamente allineati ai cicli di movimentazione di gas (curva tratteggiata in nero, Fig. 5.3).

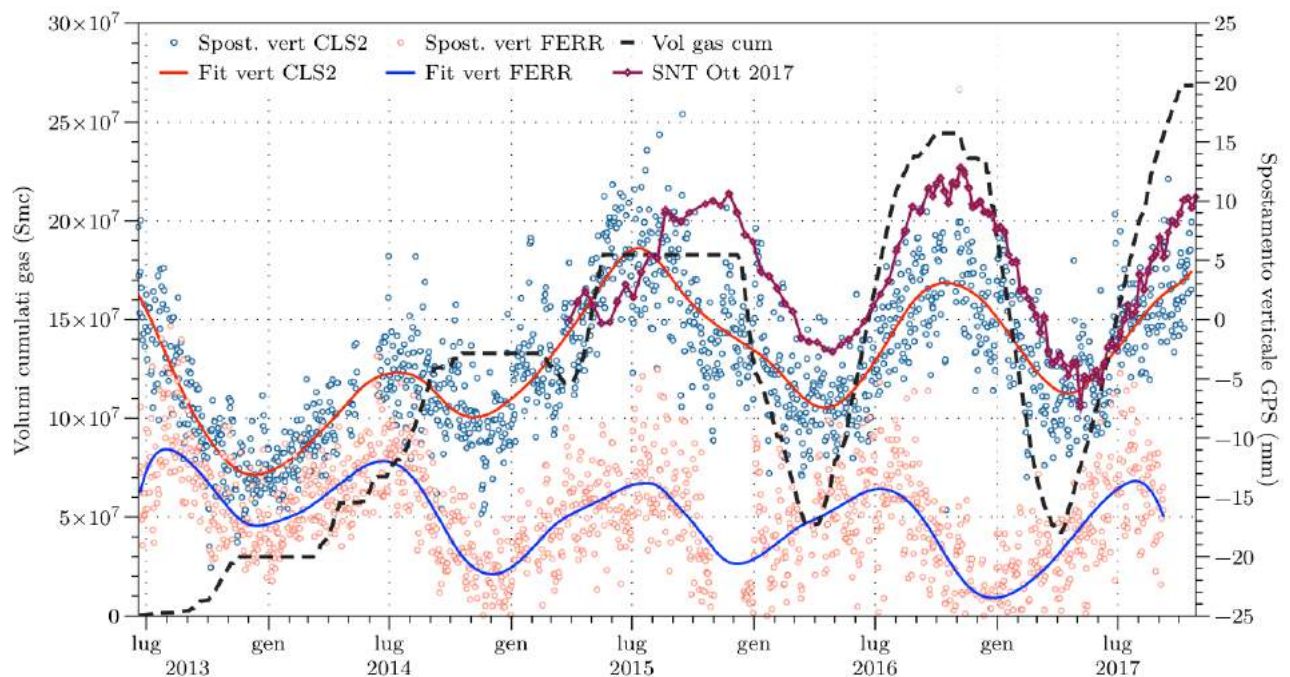


Figura 5.3: Confronto tra la serie temporale delle posizioni della stazione GPS (componente verticale; nel sistema di riferimento Igb08) con la movimentazione di gas nel Cluster-C, con la serie Sentinel-1 ad ottobre 17 e con la serie temporale GPS della stazione FERR.

Così come nel 2016, le componenti orizzontali evidenziano una forte correlazione con la attività di iniezione/estrazione nel Cluster-C (Fig. 5.4): essi quantificano in maniera più significativa, rispetto alla componente

verticale, l'effetto subito dalla stazione CLS2 a seguito della movimentazione di gas, poiché quasi non affetti da oscillazioni legate alla stagionalità. Nell'arco temporale aprile - ottobre 2017, si verifica uno spostamento negativo sia lungo la componente Est (7 mm verso ovest) che lungo quella Nord (6.5 mm verso sud). Si nota un leggero "ritardo" nella risposta della componente Nord, rispetto alla Est. La composizione di tale moto restituisce uno spostamento che allontana la stazione dal centro del Cluster-C di ≈ 9.5 mm in direzione sud-ovest. Questo dato conferma l'influenza sull'andamento della antenna GPS da parte dell'attività di iniezione che, creando la bolla di rigonfiamento (Fig. 4.1), "allontana" la stazione CLS2 dal centro del reservoir (Fig. 5.4). Tale allontanamento viene registrato anche nella dai bersagli radar Sentinel-1 individuati attorno alla stazione: come si vede in figura 5.4, la serie temporale di spostamento orizzontale Sentinel-1 (curva arancio) ha infatti andamento simile alla componente est della serie GPS (punti blu e curva fit rossa in Fig. 5.4).

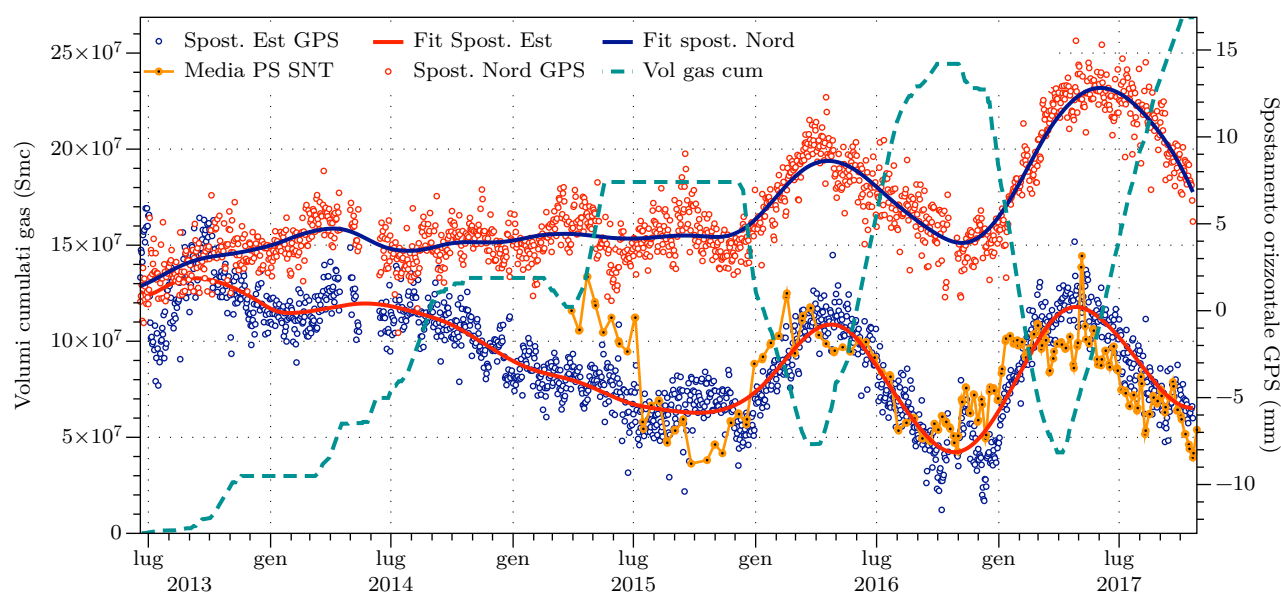


Figura 5.4: Confronto tra la serie temporale delle posizioni orizzontali della stazione GPS CLS2 con la movimentazione di gas nel Cluster-C. Gli spostamenti sono riferiti alla stazione GPS FERR di Ferrara, allo scopo di eliminare la componente crostale del moto; in rosso la componente nord e in blu la componente est.

Riassumendo, constatiamo come gli strumenti superficiali e profondi (Piezometri ed Assestimetri) non mostrano andamenti da evidenziare; nel semestre in esame, tutte le misure rientrano tra i valori già registrati nel corso del presente monitoraggio, ad esclusione delle misure assestimetriche che, a fine settembre, registrano i loro minimi assoluti. In questo trend di compattazione, le ampiezze delle massime variazioni registrate dagli strumenti registrano oscillazioni già verificatesi in altri anni per gli stessi strumenti anche in occasione di scarsa attività del reservoir (es. aprile-ottobre 2015). Questo suggerisce che le deformazioni del sottosuolo fino a -350 metri di profondità e l'andamento delle falde investigate dai piezometri siano principalmente governati da variabili meteorologiche, senza evidenti "effetti" imputabili alla movimentazione di gas nel sottosuolo.

6 Conclusioni

A fine settembre 2017, la strumentazione installata presso l'impianto del Cluster C continua ad essere a tutti gli effetti funzionante.

Nel Cluster-C tra il 1 aprile ed il 4 ottobre 2017 sono stati iniettati ≈ 226.5 MSmc di gas; al 4 ottobre 2017 risultano stoccati nel Cluster-C ≈ 268.6 MSmc di gas.

Nel Cluster-B tra il 1 aprile ed il 2 ottobre 2017 sono stati iniettati ≈ 22.6 MSmc di gas; al 2 ottobre 2017 risultano stoccati nel Cluster-B ≈ 38.2 MSmc di gas.

Nel Cluster-A tra il 1 aprile e il 10 luglio 2017 sono stati iniettati ≈ 33.8 MSmc di gas; al 30 settembre 2017 risultano stoccati nel Cluster-A ≈ 13 MSmc di gas.

Così come nei semestri precedenti, anche nel semestre aprile – settembre 2017 le tecniche di monitoraggio satellitare, GPS ed InSAR, evidenziano una relazione diretta e proporzionale tra le deformazioni al suolo e le attività di stoccaggio con sollevamento/subsidenza durante i periodi di iniezione/erogazione, più consistenti nel centro del Cluster C; l'inversione delle fasi deformative coincide con i periodi di passaggio tra le fasi di iniezione ed erogazione in e dal reservoir.

La stazione GPS (CLS2) ha qualità del dato (valori di MP1 e MP2) sufficiente ad essere considerata attendibile, in linea con quanto indicato dall'IGS per una stazione di buona qualità, ed è in grado di fornire risultati da considerare significativi, data lunghezza raggiunta dalla sua serie temporale (4.5 anni).

La stima della componente verticale degli spostamenti della serie GPS restituisce valori in sollevamento con velocità media di $\approx + 2$ mm/anno: tuttavia il fatto che, allo stato attuale, la movimentazione di volumi di gas, pari a quelli di un completo ciclo di iniezione/erogazione (riempimento/svuotamento) nel pool CC1, influenzi inequivocabilmente gli spostamenti della stazione CLS2, implica che può diventare poco sensato e fuorviante utilizzare le velocità medie della serie per descriverne il comportamento.

Gli spostamenti di breve periodo nella componente verticale mostrano relazioni causa-effetto con l'estrazione cumulata tra novembre 2016 e aprile 2017 (abbassamento di $\approx - 9$ mm a fronte di ≈ 202.2 MSmc) e con l'iniezione cumulata tra aprile e settembre 2017 (sollevamento di $\approx + 10$ mm a fronte di ≈ 226.5 MSmc). I cambi di tendenza coincidono con l'inizio/fine delle fasi di erogazione/iniezione e non con i cambi di stagione, anche se i valori delle oscillazioni non si discostano da quelli già osservati in conseguenza di fenomeni legati alle dinamiche meteorologiche stagionali (periodi antecedenti dicembre 2015).

Anche nel semestre di iniezione 2017 le componenti orizzontali della serie risentono della attività di stoccaggio, registrando uno spostamento in concomitanza dell'iniezione di gas (aprile-settembre 2017) nell'ordine di $- 7$ mm E, e $- 6.5$ mm N, in allontanamento, verso sud-ovest, dal centro del Pool CC1 (Cluster-C).

Le nuove serie temporali di interferometria, prodotte dall'elaborazione di scene acquisite nell'intervallo temporale 30/03/2015 - 27/10/17 dal satellite Sentinel-1, evidenziano per il semestre in esame un innalzamento verticale nell'intorno del Cluster-C, porzione di reservoir dove è stato iniettato il maggior quantitativo di gas (≈ 226.5 Milioni di Smc al 4 ottobre 2017), con massimi di sollevamento fino a $+ 16$ mm sopra il centro del

giacimento.

Anche la componente est-ovest di spostamento dei bersagli radar evidenzia una inversione del trend deformativo a partire da aprile 2017, con spostamenti orizzontali che "allontanano" i PS dal centro del Cluster-C di ≈ 10 mm (≈ 9 mm verso ovest per punti posti ad ovest del centro, e ≈ 10 mm verso est per punti posti ad est del centro del Cluster-C).

L'andamento degli spostamenti dei bersagli radar al centro del Cluster-C mostra dunque una buona correlazione sia con l'andamento dei volumi di gas movimentati nel pool CC1, sia con le pressioni di poro misurate al fondo del pozzo C1 DIR.

I dati di interferometria ben si correlano con i trend delle misurazioni dell'antenna GPS installata sul Cluster-C, sia per la sincronia con cui avvengono i cambi di tendenza, sia per l'entità degli spostamenti misurati: a tal proposito ricordiamo che la stazione GPS non è posizionata proprio nel centro del reservoir (massimo spessore vs massima deformazione), ma in una zona dove l'interferometria registra deformazioni intorno a $+10-11$ mm. Sul Cluster-B in concomitanza con l'attività di iniezione tra aprile e settembre 2017 si osserva una area in sollevamento con valori medi tra $+6-8$ mm, localizzata nella parte sud-orientale del reservoir.

Sul Cluster-A sono state evidenziate deformazioni geodetiche medie contenute entro $\pm 5-6$ mm (max - 10 mm di abbassamento in zone non prossime al campo), non correlabili con la fase di iniezione in esame (e con l'attività di stoccaggio in generale) né in termini di tempo né di distribuzione nello spazio. Sulla culminazione strutturale del reservoir, nei pressi del pozzo SP1DIR, i bersagli radar registrano nel semestre aprile-settembre 2017 un abbassamento di ≈ -6 mm, correlabile con la compattazione estiva dei sedimenti.

Gli assestimetri ed i piezometri installati continuano a monitorare in modo efficiente le deformazioni poro-elastiche nei primi 350 m di sottosuolo.

Le deformazioni registrate dall'assestimetro superficiale vengono ottimamente correlate alle oscillazioni piezometriche superficiali, intermedie e profonde, suggerendo che il sistema continui ad essere influenzato principalmente dalle precipitazioni, dalle temperature e dalla dinamica degli acquiferi.

I 2 strumenti installati nei primi 350 metri di sottosuolo (ASS-P e PP1C) non evidenziano una relazione chiara tra le deformazioni da essi registrate e la movimentazione di gas, con incongruenze in termini quantitativi (nel caso dell'assestimetro) e in termini temporali (nel caso piezometro profondo): essi appaiono pertanto maggiormente influenzati dalle dinamiche meteorologiche stagionali e dalla compattazione dei sedimenti alluvionali in cui sono installati.

L'andamento dell'assestimetro profondo continua a registrare una compattazione a ritmo di ≈ -4 mm/anno, con dinamiche di deformazione correlate temporalmente con le fasi di iniezione/erogazione: l'ipotesi già avanzata, secondo cui il rigonfiamento del reservoir dovuto alla iniezione di gas compatti i sedimenti che lo circondano (e dunque anche quelli che gli stanno sopra) è da tenere ancora in considerazione, ma le deformazioni registrate finora non appaiono dovute alla movimentazione di gas nel Cluster-C, poiché hanno ampiezze non proporzionali al quantitativo di gas in posto o all'andamento delle pressioni nel reservoir.

Sebbene il trend di innalzamento della quota piezometrica dell'acquifero sia in accordo con l'ipotesi di una

possibile compattazione (aumento di pressione nell'acquifero) indotta dallo stoccaggio, la dinamica delle sue oscillazioni appare invece chiaramente influenzata dai fattori meteorologici stagionali. Ricordiamo che il segnale deformativo può essere inoltre affetto, in maniera più o meno importante e discriminabile, da altre variabili, quali l'emungimento di acqua da acquiferi intermedi a quelli monitorati e la naturale compattazione dello spessore di sedimenti alluvionali in cui sono installati i due strumenti. I dati finora raccolti non evidenziano una chiara correlazione con l'attività di stoccaggio.

Bibliografia

Serpelloni, E., G. Vannucci, L. Anderlini, and R. A. Bennett (2016), Kinematics, seismotectonics and seismic potential of the eastern sector of the European Alps from GPS and seismic deformation data, *Tectonophysics*, 688(C), 157-181, doi:10.1016/j.tecto.2016.09.026.

Appendice A

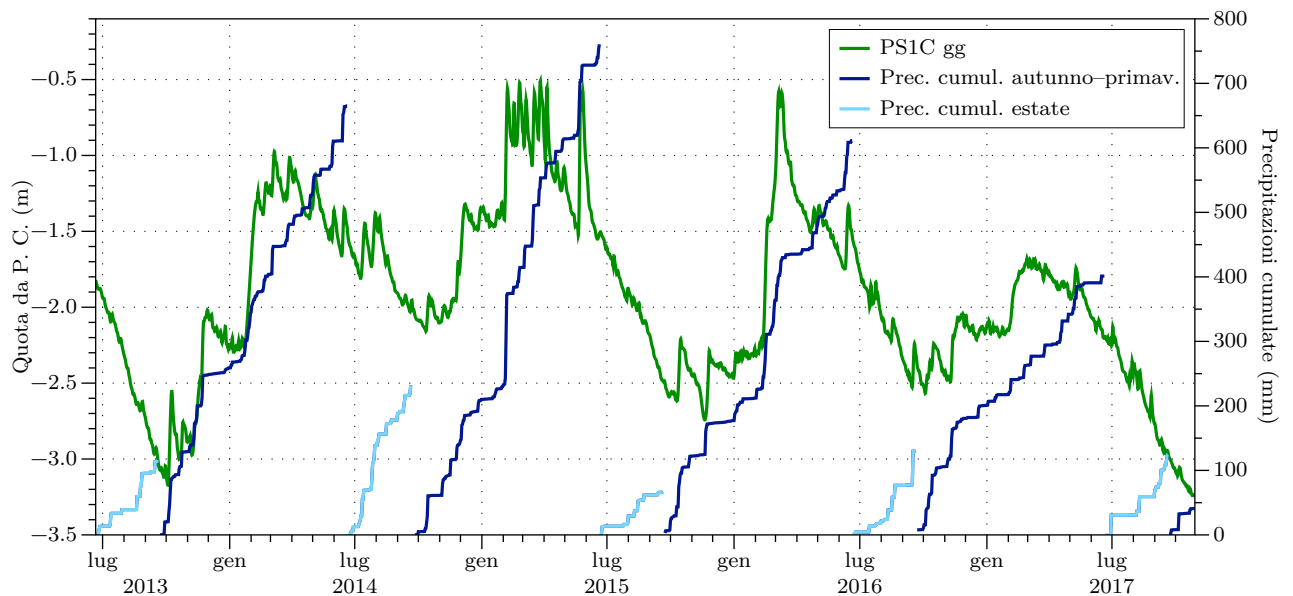


Figura 3.6: Confronto tra le variazioni della quota giornaliera media da P. C. nel piezometro superficiale con le precipitazioni giornaliere cumulate nell'intero periodo di monitoraggio fino a ottobre 2017. Per meglio evidenziare il comportamento stagionale del piezometro, le cumulate vengono calcolate a partire dall'inizio dell'autunno di ciascun anno e riportate a zero all'inizio di ogni estate (stagione secca); dai valori di quota del piezometro sono stati scartati in base all'analisi statistica quelli con deviazione standard dalla media ≥ 0.05).

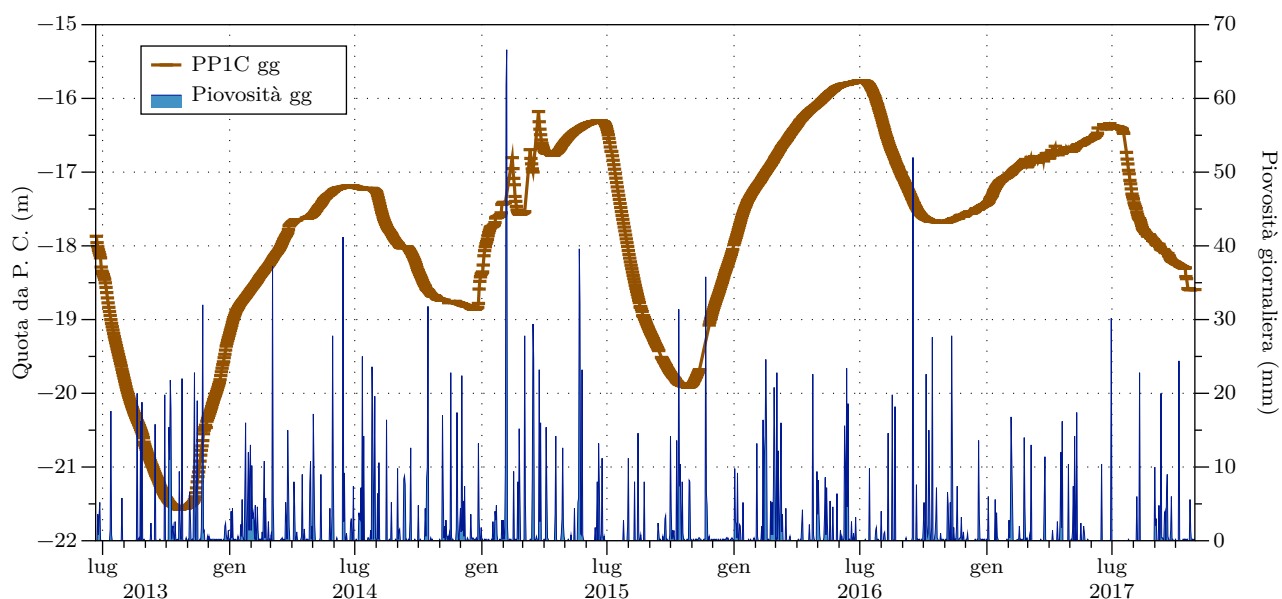


Figura 3.7: Confronto tra variazioni di quota giornaliera media da P. C. di PP1C e le precipitazioni giornaliere.

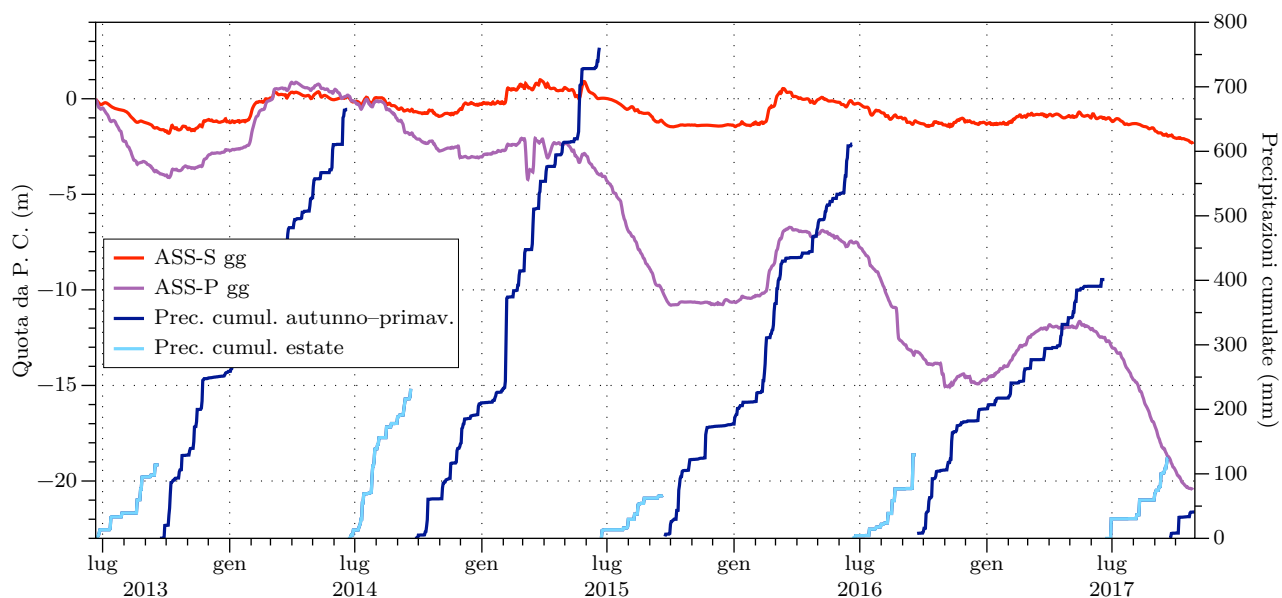


Figura 3.8: Relazione tra l'andamento degli assestimetri superficiale (ASS-S) e profondo (ASS-P) e le precipitazioni cumulate nell'intero periodo di monitoraggio, fino a ottobre 2017. Per meglio evidenziare il comportamento stagionale degli strumenti, le cumulate della piovosità vengono calcolate a partire dall'inizio dell'autunno di ciascun anno e riportate a zero all'inizio di ogni estate (stagione secca).



Figura 3.9: Relazione tra le deformazioni giornaliere medie registrate lungo l'asta dell'assestmetro superficiale (ASS-S) e le oscillazioni di quota nel piezometro superficiale PS1C, durante l'intero periodo di monitoraggio.

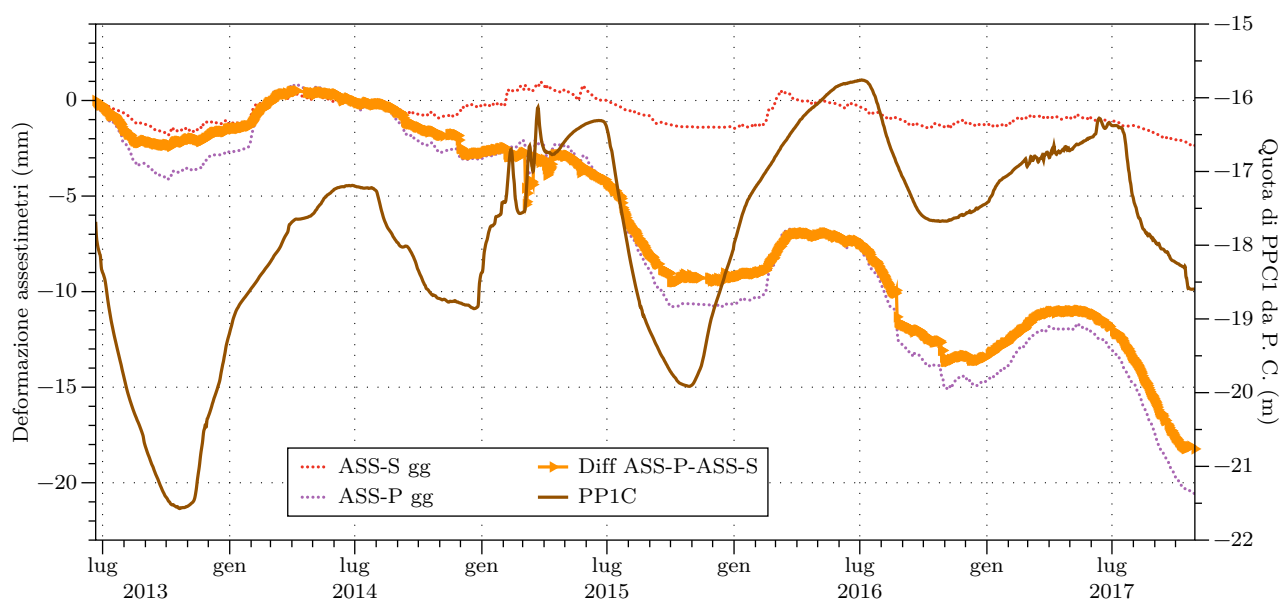
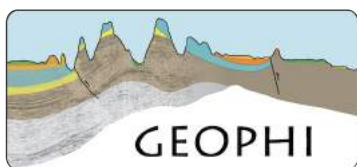


Figura 3.10: Confronto tra l'andamento della deformazione profonda, tramite la differenza (curva arancione) tra i valori giornalieri di deformazione dell'ASS-P e quelli dell'ASS-S con l'andamento del piezometro profondo.



ALLEGATI



Analisi integrata delle misure di deformazione
superficiale allo scopo di analizzare i fenomeni di
subsidenza dell'area di San Potito - Cotignola

Monitoraggio della tenuta della cementazione della colonna
superficiale di ancoraggio dei pozzi della concessione

Aggiornamento a Settembre 2017

ALLEGATO 1

TABELLA MONITORAGGIO PRESSIONI 24/05/2017

POZZO	INTERCAPEDINE CSG.20"- 13 3/8"	INTERCAPEDINE CSG.20"- 9 5/8"	INTERCAPEDINE CSG.13 3/8"- 9 5/8"	INTERCAPEDINE CSG.13 3/8"- 7"	INTERCAPEDINE CSG.9 5/8" - 7"	ANNULUS CSG 9 5/8"	ANNULUS CSG 7"	DATA
COTIGNOLA-C 1	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	23/05/2017
COTIGNOLA-C 2	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	23/05/2017
COTIGNOLA-C 3	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	23/05/2017
COTIGNOLA-C 4	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	23/05/2017
COTIGNOLA-C 5	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	23/05/2017
COTIGNOLA-C 6	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	23/05/2017
COTIGNOLA-C 7	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	24/05/2017
COTIGNOLA-B 1	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	0 (zero)	24/05/2017
COTIGNOLA-B 2	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	0 (zero)	24/05/2017
COTIGNOLA-B 3	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	20	0 (zero)	0 (zero)	24/05/2017
SAN POTITO-A 1	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	24/05/2017

Il rappresentante legale

DAJAN S.r.l.
Sede Operativa
Via T.A. Edison n. 8 - 48123 Ravenna (Ra)
Tel. +39 0544 1731109
Cod. Fisc. e Part. IVA 01659380695



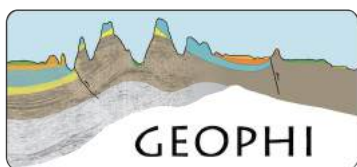
TABELLA MONITORAGGIO PRESSIONI 13/10/2017

POZZO	INTERCAPEDINE CSG.20"- 13 3/8"	INTERCAPEDINE CSG.20"- 9 5/8"	INTERCAPEDINE CSG.13 3/8"- 9 5/8"	INTERCAPEDINE CSG.13 3/8"- 7"	INTERCAPEDINE CSG.9 5/8" - 7"	ANNULUS CSG 9 5/8"	ANNULUS CSG 7"	DATA
COTIGNOLA-C 1	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	12/10/2017
COTIGNOLA-C 2	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	12/10/2017
COTIGNOLA-C 3	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	12/10/2017
COTIGNOLA-C 4	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	12/10/2017
COTIGNOLA-C 5	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	12/10/2017
COTIGNOLA-C 6	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	12/10/2017
COTIGNOLA-C 7	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	13/10/2017
COTIGNOLA-B 1	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	0 (zero)	13/10/2017
COTIGNOLA-B 2	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	0 (zero)	13/10/2017
COTIGNOLA-B 3	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	20	0 (zero)	0 (zero)	13/10/2017
SAN POTITO-A 1	0 (zero)	Non presente	0 (zero)	Non presente	Non presente	0 (zero)	0 (zero)	13/10/2017

Il rappresentante legale

DAJAN S.r.l.
Sede Operativa
Via T.A. Edison n. 8 - 48123 Ravenna (Ra)
Tel. +39 0544 1731109
Cod. Fisc. e Part. IVA 01659380695





Analisi integrata delle misure di deformazione
superficiale allo scopo di analizzare i fenomeni di
subsidenza dell'area di San Potito - Cotignola

Monitoraggio della tenuta della cementazione della colonna
superficiale di ancoraggio dei pozzi della concessione

Aggiornamento a Settembre 2017

ALLEGATO 2

MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI TENUTA DEI POZZI

- CONTROLLO INTERCAPEDINI-

		DAY												JANUARY		2017	
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PRESSURE (unit Bar)

PRESSURE (unit Bar)

		DAY											FEBRUARY					2017
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29		
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20			
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

PRESSURE (unit Bar)

PRESSURE (unit Bar)

MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI TENUTA DEI POZZI
- CONTROLLO INTERCAPEDINI-

		DAY											MARCH		2017		
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PRESSURE (unit Bar)

PRESSURE (unit Bar)

		DAY											APRIL		2017		
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PRESSURE (unit Bar)

PRESSURE (unit Bar)

MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI TENUTA DEI POZZI
- CONTROLLO INTERCAPEDINI-

		DAY											MAY 2017				
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	20	20	20	20	20	20	20
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PRESSURE (unit Bar)

		DAY											JUNE 2017				
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

PRESSURE (unit Bar)

MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI TENUTA DEI POZZI

- CONTROLLO INTERCAPEDINI-

WELL	INTERSPACE	DAY											JULY 2017					
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	PRESSURE (unit Bar)
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

WELL	INTERSPACE	DAY											AUGUST 2017					
		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	PRESSURE (unit Bar)
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI TENUTA DEI POZZI
- CONTROLLO INTERCAPEDINI -

		DAY												SEPTEMBER				2017	
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29			
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
B3-dir	20"-9 5/8"	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19	19	19	19	19,5	19,5			
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

PRESSURE (unit Bar)

PRESSURE (unit Bar)

		DAY											OCTOBER 2017					
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B3-dir	20"-9 5/8"	19,5	19,5	19,5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

PRESSURE (unit Bar)

PRESSURE (unit Bar)

MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI TENUTA DEI POZZI
- CONTROLLO INTERCAPEDINI-

		DAY											NOVEMBER				2017	
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29		
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		PRESSURE (unit Bar)
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	20		
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

		DAY											DECEMBER				2017	
WELL	INTERSPACE	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	
A1-dir	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	PRESSURE (unit Bar)
	13 3/8"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B1-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B2-dir	20"-9 5/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B3-dir	20"-9 5/8"	20	20	20	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	20	20	20	20	20	20	20	
	9 5/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C2	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C3	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C4	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C5	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C6	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C7	20"-13 3/8"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	13 3/8"-7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	