

Monitoraggio subsidenza concessioni Cotignola e San Potito con interferometria satellitare

Relazione Tecnica - Aggiornamento Ottobre 2017



TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company

Dettagli Progetto

Cliente

Nome:	EDISON STOCCAGGIO S.p.A.
Indirizzo:	Foro Bonaparte 31 20121 Milano
Referente:	Ing. Raffaele Stefanelli, Dott. Timur Gukov

Riferimenti

Nome progetto:	Monitoraggio subsidenza concessioni Cotignola e San Potito con interferometria satellitare
TRE ALTAMIRA Job Order:	JO17-361
TRE ALTAMIRA Delivery:	401
Numero Contratto Cliente:	5500023640
Data ordine Cliente:	08/11/2017

Preparato da TRE ALTAMIRA

Autori:	Fernando Bellotti
Verificato da:	Sara Del Conte
Approvato da:	Stefano Cespa
Data:	6 Dicembre 2017
Versione:	1.0

Sommario esecutivo

EDISON Stoccaggio ha dato incarico a TRE ALTAMIRA di fornire un servizio di monitoraggio delle deformazioni superficiali sulle concessioni di Cotignola e San Potito mediante tecnica SqueeSAR™, nel periodo Maggio 2017–Aprile 2019, utilizzando la costellazione Sentinel-1 (SNT) a media risoluzione operativa da Ottobre 2014.

TRE ALTAMIRA effettua il monitoraggio sui Siti di San Potito e Cotignola per EDISON Stoccaggio da Maggio 2013, in ottemperanza alle Prescrizioni dal documento di VIA n.773 del 8/10/2007 e della Delibera della Giunta Regionale Emilia-Romagna del 29/12/2006, mediante l'utilizzo dei Satelliti RADARSAT-1 e RADARSAT-2 a partire da Aprile 2003 e TerraSAR-X, da Dicembre 2013.

L'utilizzo del satellite Sentinel-1 garantisce la continuità temporale con i monitoraggi precedenti, consentendo l'acquisizione e l'elaborazione dei dati in doppia geometria (ascendente e discendente) e la stima della componente verticale ed orizzontale est-ovest dei movimenti superficiali. Il progetto prevede aggiornamenti a cadenza semestrale, fornendo quattro analisi nel prossimo biennio: Ottobre 2017, Aprile 2018, Ottobre 2018, Aprile 2019.

Il presente rapporto contiene il primo aggiornamento ad Ottobre 2017 dello studio delle deformazioni superficiali. Come per le analisi precedenti, i risultati ottenuti dalle analisi SqueeSAR™ sono stati calibrati sui dati della stazione GNSS installata sull'area di stoccaggio e attiva da Gennaio 2014.

Il presente studio, effettuato con dati Sentinel-1, ha fornito risultati in linea con quelli ottenuti mediante l'elaborazione dei dati TerraSAR-X ad alta risoluzione di Aprile 2017 (documento di riferimento: JO16-0057 – 12– REP 1.0). La differenza più rilevante consiste in una significativa diminuzione del numero di punti di misura e densità di distribuzione: la costellazione Sentinel-1 ha infatti fornito numero di punti e densità spaziali di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quanto ottenuto con le precedenti analisi TerraSAR-X (~81 MP/km² contro 1.150 MP/km²).

Nel periodo tra Aprile 2017 e Ottobre 2017, il presente aggiornamento ha evidenziato quanto segue:

- In corrispondenza del Pool A di San Potito le deformazioni cicliche osservate non sembrano associabili alle operazioni di movimentazione di gas, in accordo con i bassi valori di volume di gas iniettato ed erogato, ad oggi, in questa concessione.
- La permanenza di un trend ciclico nelle serie storiche osservato sia nel Pool B che nel Pool C.

- Nell’area del Pool B l’ampiezza massima della stagionalità misurata per la componente verticale è risultata di circa 12 mm.
- Nell’area del Pool C l’ampiezza massima della stagionalità misurata per la componente verticale ed orizzontale è risultata di circa 14 mm.
- L’andamento dei fenomeni deformativi superficiali nel Pool B e Pool C sono correlati con l’andamento della curva di carico/scarico. In ogni caso i movimenti finora osservati sono di entità comparabile a quelli osservati in altri siti di stoccaggio gas italiani.

Dichiarazione di riservatezza

Questo documento contiene informazioni proprietarie riservate ed è destinato esclusivamente al destinatario. Il contenuto di questo documento, comprese le informazioni relative a tecniche e metodologie di analisi di TRE ALTAMIRA, non possono essere resi noti in tutto o in parte a terzi con qualsiasi mezzo o utilizzati per altri scopi senza l'espressa autorizzazione scritta di TRE ALTAMIRA.

Tavola dei contenuti

Sommario esecutivo	3
Acronimi e abbreviazioni	6
Documenti di riferimento	6
1. Introduzione	7
2. Area d’interesse e immagini utilizzate.....	8
2.1. Area di interesse	8
2.2. Immagini utilizzate	9
2.3. Calibrazione dei dati SqueeSAR™ e punti di riferimento	11
3. Risultati	13
3.1. Misure in singola Geometria.....	13
3.2. Stima delle componenti verticale ed Est-Ovest	16
3.3. Stima della stagionalità	19
3.4. Analisi dei risultati.....	21
3.4.1. Pool A – San Potito	21
3.4.2. Pool B - Cotignola	26
3.4.3. Pool C - Cotignola	31
3.4.4. Confronto movimenti superficiali e curva di carico-scarico.....	37
4. Dati consegnati	40
5. Conclusioni	43
Allegati.....	44

Modifiche al documento

Versione	Data	Sezioni	Descrizione delle modifiche
01.0	6 Dicembre 2017	Tutte	Creazione del documento

Acronimi e abbreviazioni

ASC	Geometria ascendente
DESC	Geometria discendente
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
LOS	Linea di vista del satellite (<i>Line Of Sight</i>)
REF	Punto di riferimento
SAR	Radar ad apertura sintetica (<i>Synthetic Aperture Radar</i>)
SNT	Satellite Sentinel-1

Documenti di riferimento

Riferimento	Data	Titolo
JO16-57IT-REP1.0	07/06/2017	Cotignola_RelazioneTecnica_UpdateApr2017_JO16005.pdf
Handbook	16/01/2017	TREALTAMIRA_Handbook.pdf

1. Introduzione

Nell'ambito dell'attività di monitoraggio delle deformazioni del suolo mediante interferometria satellitare, EDISON Stoccaggio ha dato incarico a TRE ALTAMIRA di fornire un servizio di monitoraggio con tecnica SqueeSAR™ sui siti di Cotignola e San Potito, periodo Maggio 2017 – Aprile 2019.

Il monitoraggio delle deformazioni superficiali su queste concessioni è attivo da Maggio 2013 con cadenza semestrale, in ottemperanza alle Prescrizioni dal documento di VIA n.773 del 8/10/2007 e dalla Delibera della Giunta Regionale Emilia-Romagna del 29/12/2006, ed è stato effettuato da TRE ALTAMIRA, mediante l'utilizzo dei seguenti satelliti e relative coperture temporali:

- Immagini RADARSAT-1 e RADARSAT-2, da Aprile 2003 ad Ottobre 2013
- Immagini TerraSAR-X, da Dicembre 2013 ad Aprile 2017

La proposta Tecnica ed Economica realizzata da TRE ALTAMIRA per il presente progetto prevede un monitoraggio biennale per il periodo Maggio 2017 - Aprile 2019, da realizzarsi mediante l'utilizzo del satellite a media risoluzione Sentinel-1 (Banda C), in orbita da Ottobre 2014. L'utilizzo di questo satellite garantisce la continuità temporale con il monitoraggio effettuato in precedenza

Il servizio di monitoraggio prevede l'acquisizione e l'elaborazione dei dati del satellite in doppia geometria (ascendente e discendente) e la stima della componente verticale ed orizzontale est-ovest dei movimenti superficiali, con cadenza semestrale, fornendo quattro aggiornamenti secondo il seguente cronoprogramma:

Aggiornamento	Semestre	Analisi
1	01/05/2017 – 31/10/2017	SqueeSAR™+Scomposizione+Report
2	01/11/2017 – 30/04/2018	SqueeSAR™+Scomposizione+Report
3	01/05/2018 – 31/10/2018	SqueeSAR™+Scomposizione+Report
4	01/11/2018 - 30/04/2019	SqueeSAR™+Scomposizione+Report

Il presente rapporto descrive i risultati ottenuti nel primo aggiornamento di Ottobre 2017.

Come per l'elaborazione precedente, per favorire l'integrazione fra i sistemi di monitoraggio attivi sul sito di stoccaggio, i dati ottenuti dalle elaborazioni SNT sono stati calibrati sulle serie storiche di spostamento fornite dal Committente per la stazione GNSS attiva sul sito a partire da Gennaio 2014.

2. Area d'interesse e immagini utilizzate

2.1. Area di interesse

Il territorio oggetto di studio ha un'estensione di circa 288 km² ed integra in un'unica area di interesse (AOI) le aree di produzione di San Potito e Cotignola monitorate singolarmente nei precedenti progetti (Figura 1). L'estensione scelta permette un'inquadramento ad ampia scala delle deformazioni in atto, consentendo verifiche indipendenti mediante confronto con dati di altre reti di misura (livellazione, GPS, strumentazione in foro).

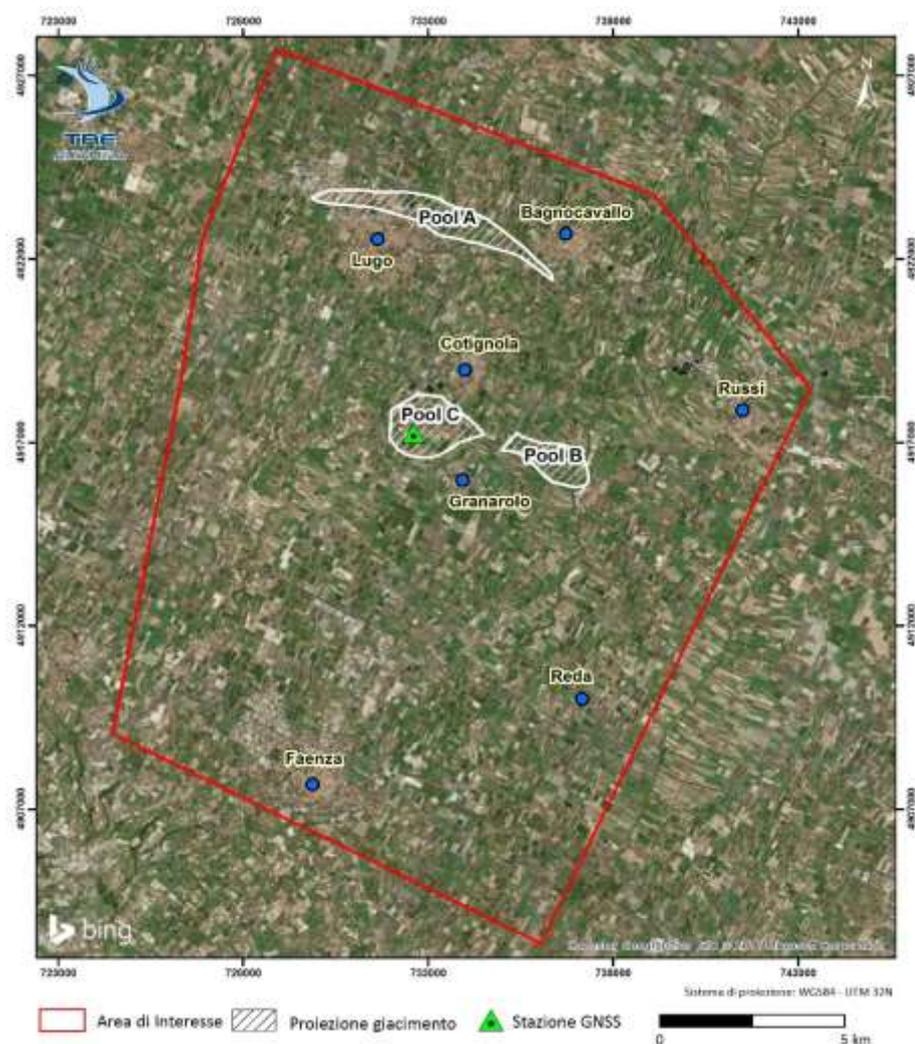


Figura 1: Estensione dell'AOI. Le aree con tratteggio bianco corrispondono alla proiezione in superficie del limite dei giacimenti di S. Potito e Cotignola. Pool A= Giacimento di San Potito, afferente ai pozzi del cluster A; Pool B = porzione di giacimento orientale di Cotignola, afferente ai pozzi del Cluster B; Pool C = porzione di giacimento occidentale di Cotignola, afferente ai pozzi del Cluster C

2.2. Immagini utilizzate

In accordo con le specifiche tecniche del progetto, il monitoraggio richiesto ha previsto l'utilizzo di immagini radar acquisite dalla costellazione Sentinel-1 (SNT) tra Ottobre 2014 e Ottobre 2017, in geometria ascendente e discendente.

Questo aggiornamento garantisce quindi la continuità temporale con il monitoraggio precedente, che ha visto l'utilizzo di dati TerraSAR-X (TSX) acquisiti tra Dicembre 2013 – Aprile 2017. La costellazione SNT è costituita da due satelliti, SNT-1A (in orbita da Ottobre 2014) e SNT-1B (in orbita da Ottobre 2016), a media risoluzione (5x20 metri), con una frequenza di acquisizione che con il lancio di SNT-1B è passata da 12 giorni a 6 giorni. Le precedenti analisi avevano utilizzato le immagini della costellazione TSX ad alta risoluzione (3x3m), acquisite sempre in doppia geometria con una frequenza nominale di 11 giorni (Tabella 1).

Il passaggio al satellite SNT garantisce una più alta risoluzione temporale. Tuttavia, la minor risoluzione spaziale fornisce una densità ridotta delle informazioni ottenibili dall'analisi interferometrica.

Satellite	Banda e lunghezza d'onda (λ)	Frequenza di acquisizione	Risoluzione (range x azimuth)
SNT	C-band ($\lambda=5.6$ cm)	6 giorni	5x20 m
TSX	X-band ($\lambda=3.2$ cm)	11 giorni	3x3 m

Tabella 1: Caratteristiche dei satelliti utilizzati nel presente e nei precedenti progetti di monitoraggio.

Relativamente alla precisione di geocodifica dei bersagli radar individuati dalle analisi SqueeSAR™, i valori di riferimento per i satelliti utilizzati su quest'area sono riportati in Tabella 2.

Direzione	X-band TSX [m]	C-band SNT [m]
North	± 1	± 8
East	± 4	± 15
Vertical (quota)	$\pm 1,5$	± 8

Tabella 2: Tipici valori di precisione (1sigma) associati alle coordinate UTM di un punto di misura a medie latitudini per i satelliti utilizzati nel presente e nei precedenti progetti di monitoraggio. I valori si riferiscono a punti posizionati a meno di 4 km dal punto di riferimento ed elaborazioni di almeno 30 immagini acquisite regolarmente in un periodo di 2 anni.

In Tabella 3 e Figura 2, sono mostrate le distribuzioni temporali delle immagini, rispettivamente per il dato SNT ascendente e discendente elaborato. Per la lista completa delle immagini utilizzate (satellite, data di acquisizione) ed i dettagli relativi alle elaborazioni condotte si rimanda ai rispettivi Rapporti di Elaborazione allegati ai dati consegnati.

Satellite	Geometria	# Immagini	Periodo di acquisizione
SNT	Ascendente	106	30/03/2015 – 27/10/2017
SNT	Discendente	95	12/10/2014 – 26/10/2017

Tabella 3: dataset elaborati per il presente aggiornamento

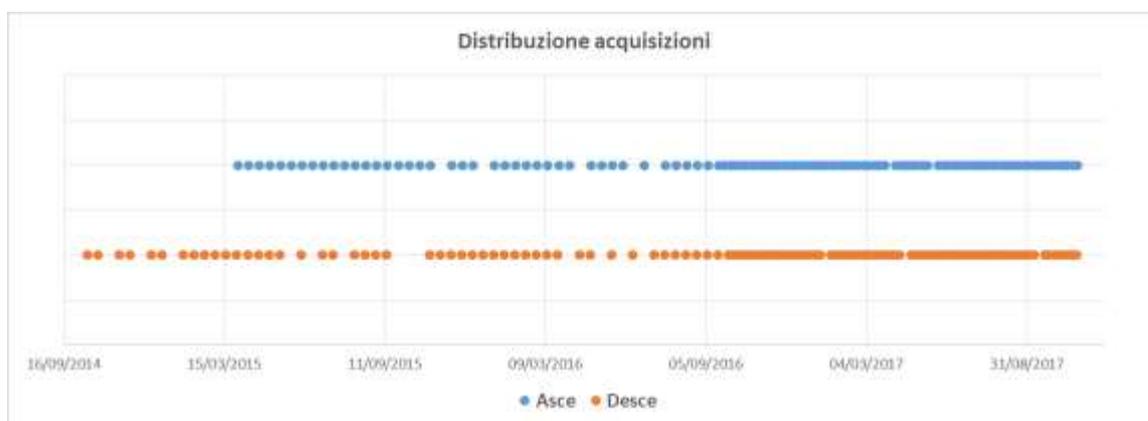


Figura 2: Distribuzione temporale delle immagini processate per il presente aggiornamento.

2.3. Calibrazione dei dati SqueeSAR™ e punti di riferimento

In accordo col Committente i dati ottenuti dal monitoraggio satellitare sono stati calibrati sui dati di spostamento forniti dalla stazione GNSS presente sull'area (Figura 3).



Figura 3: Posizione della stazione GNSS attiva da Gennaio 2014.

In continuità con il precedente monitoraggio satellitare, la calibrazione è stata effettuata come segue:

- Analisi indipendente dei dati satellitari in singola geometria. Per ogni elaborazione è stato selezionato il migliore punto di riferimento dal punto di vista radar, corrispondente cioè ad bersaglio radar ad alta coerenza, non affetto da movimenti non lineari e tale da minimizzare la deviazione standard del campo di velocità medie stimato.
- Elaborazione dei dati GNSS forniti nelle tre dimensioni (VERT, NORD e EST) per il calcolo delle serie storiche di spostamento GNSS lungo le specifiche linee di vista (LOS) ascendente e discendente del satellite SNT.
- Confronto tra le velocità medie lungo LOS calcolate dai dati della stazione GNSS con quelle dei bersagli radar individuati nell'intorno della stazione al fine di definire il valore medio di subsidenza regionale da rimuovere dai dati SqueeSAR™.

L'analisi indipendente ed il confronto con i dati della stazione GNSS ha mostrato un ottimo accordo tra le misure. I dati sono risultati quindi già calibrati e non è stato necessario rimuovere alcuna costante dai risultati del monitoraggio satellitare.

Come validazione finale, le componenti verticale ed orizzontale est-ovest ottenute dalla combinazione dei dati in singola geometria sono state confrontate con quelle fornite dalla stazione GNSS, mostrando anch'esse un'ottima corrispondenza (Figura 4).

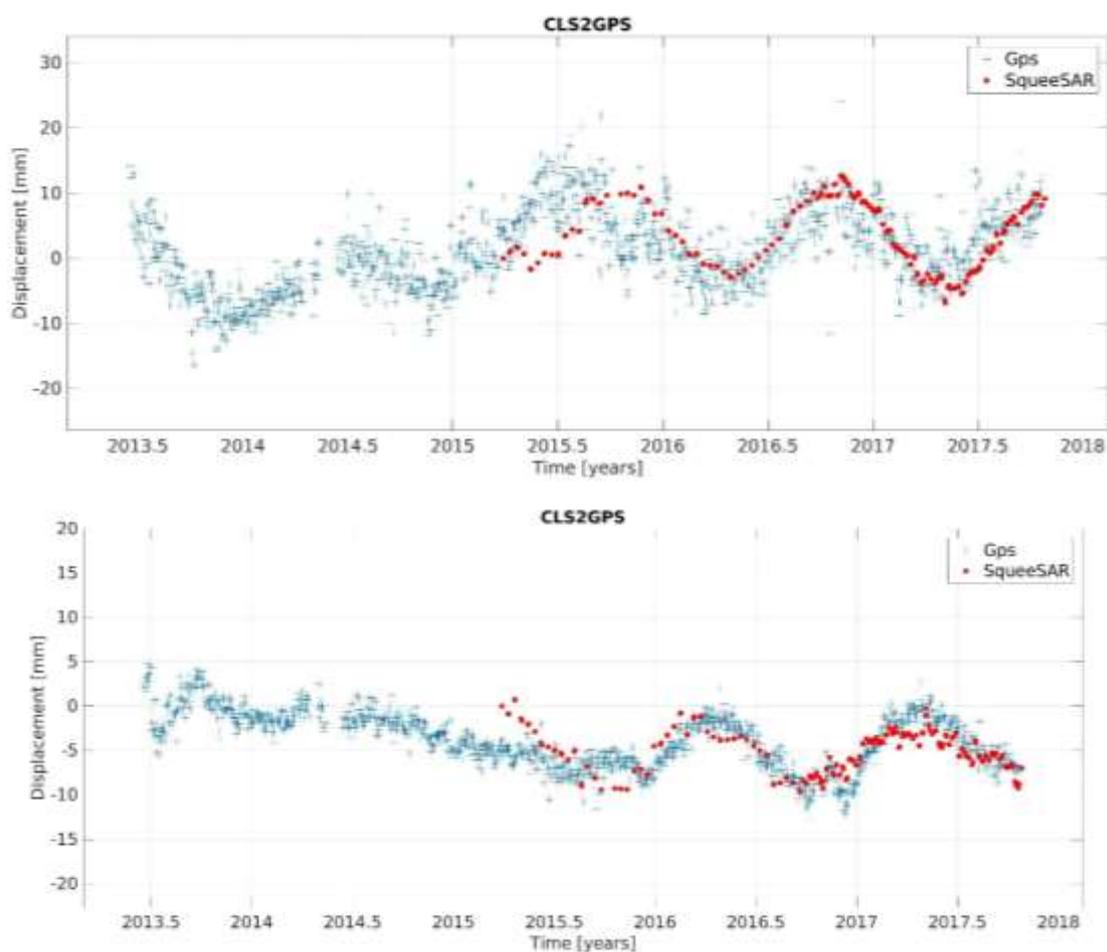


Figura 4: Confronto tra la serie storica della componente verticale e la componente est-ovest fornita dalla stazione GNSS e quella ottenuta dalla combinazione dei dati satellitari acquisiti in doppia geometria.

3. Risultati

3.1. Misure in singola Geometria

I risultati ottenuti nelle singole elaborazioni ascendente e discendente sono mostrate in Figura 5 e Figura 6. I risultati sono visualizzati per velocità media annua nel periodo analizzato.

Il campo di velocità media è in accordo con i risultati ottenuti dal precedente monitoraggio TSX ad alta risoluzione, aggiornato ad Aprile 2017 (documento di riferimento: JO16-0057 – 12– REP 1.0). Come atteso, data la minor risoluzione del satellite SNT, i punti di misura individuati risultano sensibilmente diminuiti (Tabella 4).

Dataset	# Asce	# Desce	# MP/Km2 Asce	MP/Km2 Desce
TSX	434.235	233.158	2.143	1.150
SNT	23.331	23.533	~81	~81

Tabella 4: MP e densità medie ottenute con il dato ad alta risoluzione TSX e a media risoluzione SNT

Si ricorda che tutte le misure SqueeSAR™ in singola geometria si intendono prese lungo la direzione della linea di vista del satellite (*Line of Sight* - LOS) e sono relative sia nel tempo, perché riferite alla prima misura della serie considerata, sia nello spazio, rispetto al punto di misura scelto come punto di riferimento. I punti di riferimento sono stati mantenuti coerenti con le analisi precedenti.

La precisione delle velocità medie stimate è descritta dalla deviazione standard. La deviazione standard misura il grado di dispersione di una popolazione di dati attorno al valore medio e, nel caso delle misure SqueeSAR™, si riferisce alla velocità media dei punti di misura rispetto al punto di riferimento. Dipende da diversi fattori, tra cui il numero di immagini elaborate, la lunghezza dell'intervallo analizzato e la continuità temporale di acquisizione delle immagini. Con il presente aggiornamento, entrambe le analisi hanno fornito un valore medio di deviazione standard di circa 1 mm/anno, ad indicare un'ottima qualità delle misure ottenute. Le precisioni sono in linea con quelle calcolate per il dato TSX ad alta risoluzione degli aggiornamenti precedenti.

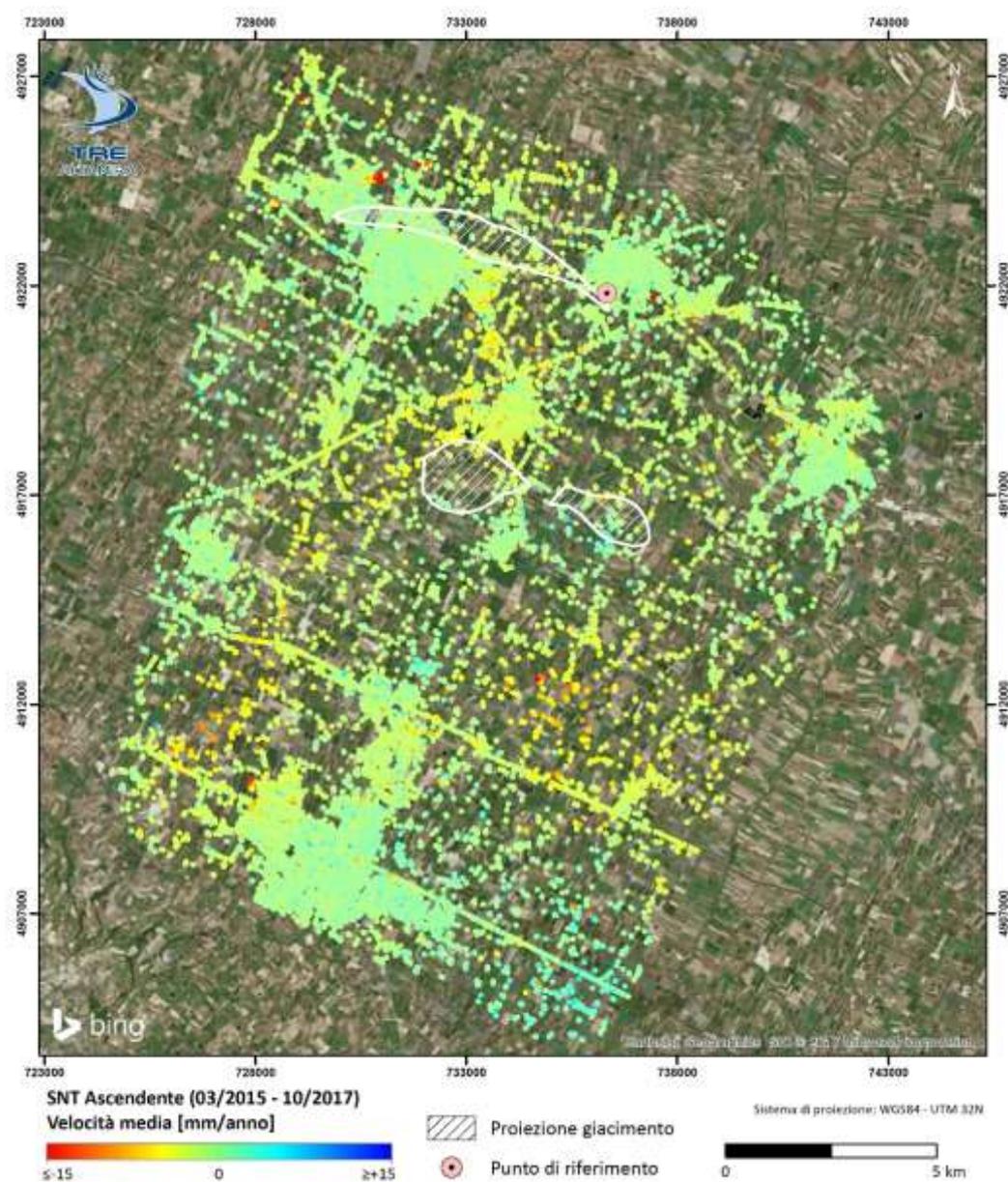


Figura 5: Distribuzione dei valori di velocità media annua di spostamento in geometria ascendente.

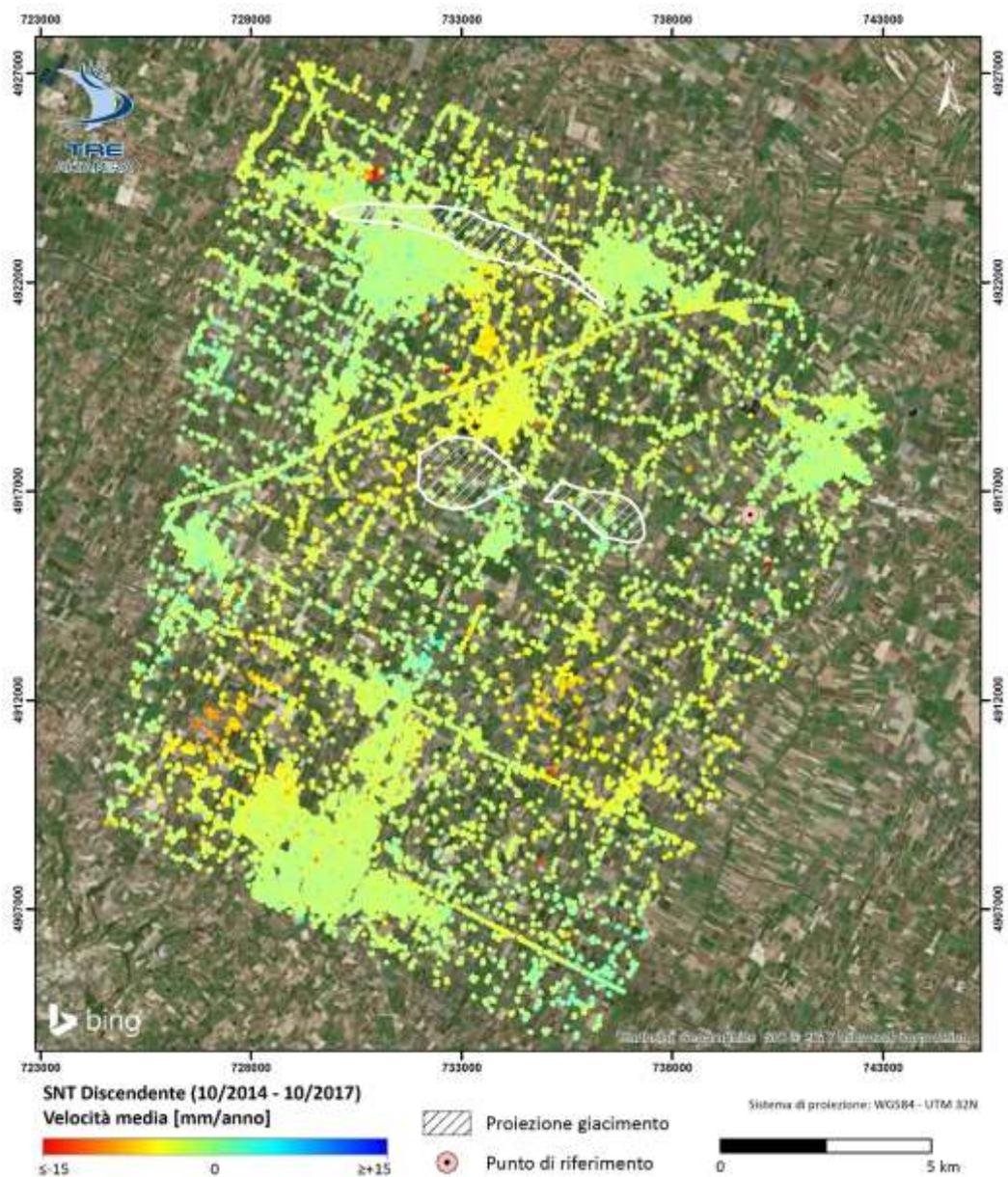


Figura 6: Distribuzione dei valori di velocità media annua di spostamento in geometria discendente.

3.2. Stima delle componenti verticale ed Est-Ovest

I risultati ottenuti dalle due elaborazioni sono stati combinati per il calcolo delle componenti verticale ed orizzontale del moto.

Rimandando ulteriori approfondimenti al manuale tecnico allegato ai dati (TRE ALTAMIRA Handbook), al fine di un uso corretto del dato scomposto si ricorda che:

- Il processo di scomposizione richiede il ri-campionamento dei dati in singola geometria su griglia comune, avente nel caso specifico dimensione pari a 50x50 m, con conseguente perdita di risoluzione spaziale.
- Le misure ottenute dalla scomposizione del moto sono quindi da riferire non a specifici bersagli radar (Measurement Points, MP) a terra ma a ‘pseudo-MP’ posizionati al centro della cella di scomposizione.
- Il processo di scomposizione delle serie temporali di deformazione comporta inevitabili approssimazioni (medie, filtraggi, ri-campionamenti); si invita pertanto a prendere in considerazione innanzitutto le serie storiche dei dati di origine e in un secondo momento le serie storiche dei dati scomposti.
- Moti orizzontali in direzione nord-sud non sono misurabili con questa tecnica, a causa della poca sensibilità della geometria di acquisizione a tale componente di moto.

I risultati della componente verticale di movimento e della componente orizzontale Est-Ovest sono rappresentati rispettivamente in Figura 7 e Figura 8. I valori medi di deviazione standard ottenuti risultano inferiori a 2 mm/anno per entrambe le componenti.

La sola analisi dei valori di velocità media non permette di evidenziare eventuali fenomeni di deformazione non lineari. Tali fenomeni possono essere individuati analizzando le serie storiche di spostamento fornite per ogni punto di misura individuato.

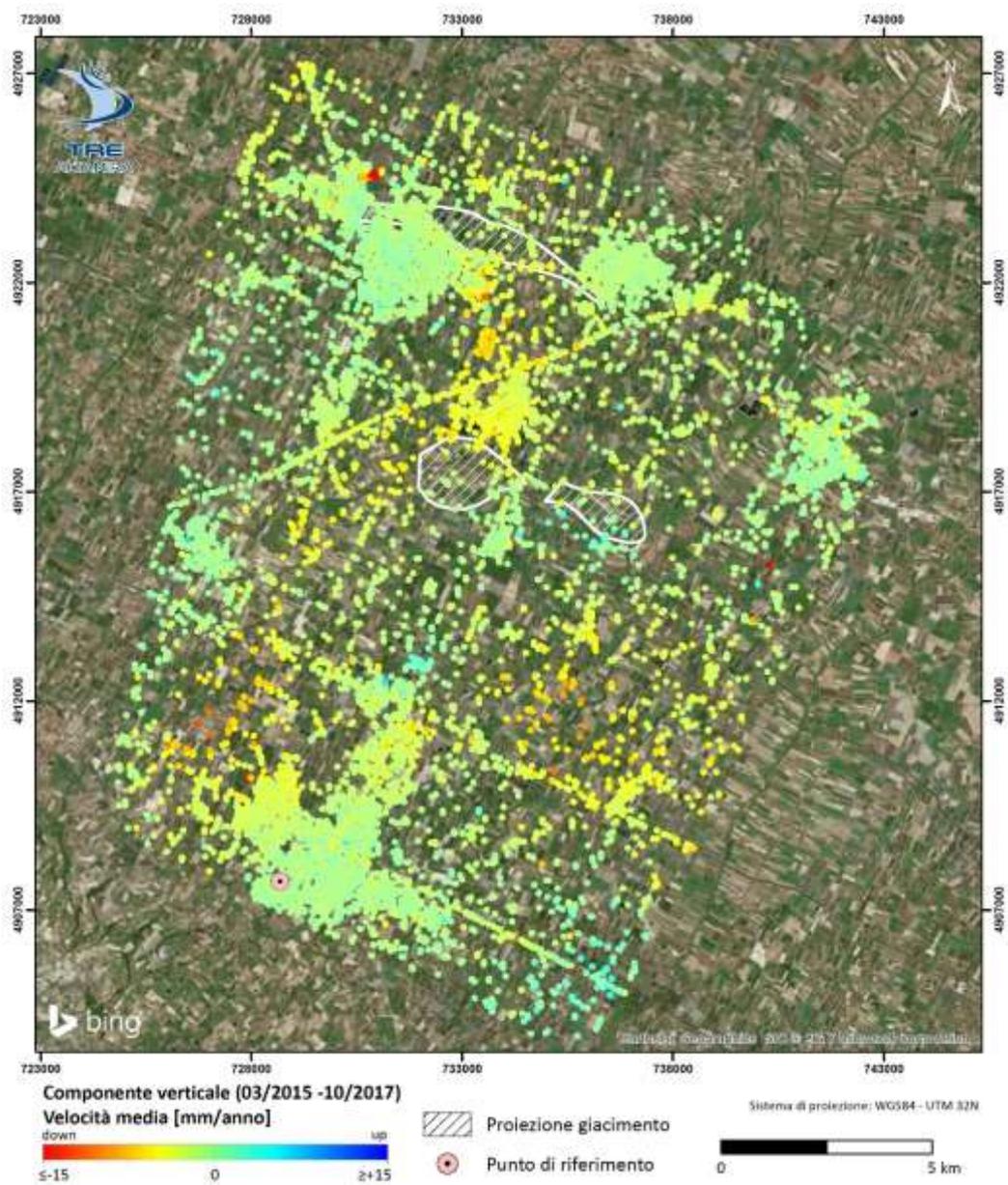


Figura 7: Distribuzione dei valori di velocità media annua di spostamento verticale per i punti di misura individuati dall'analisi.

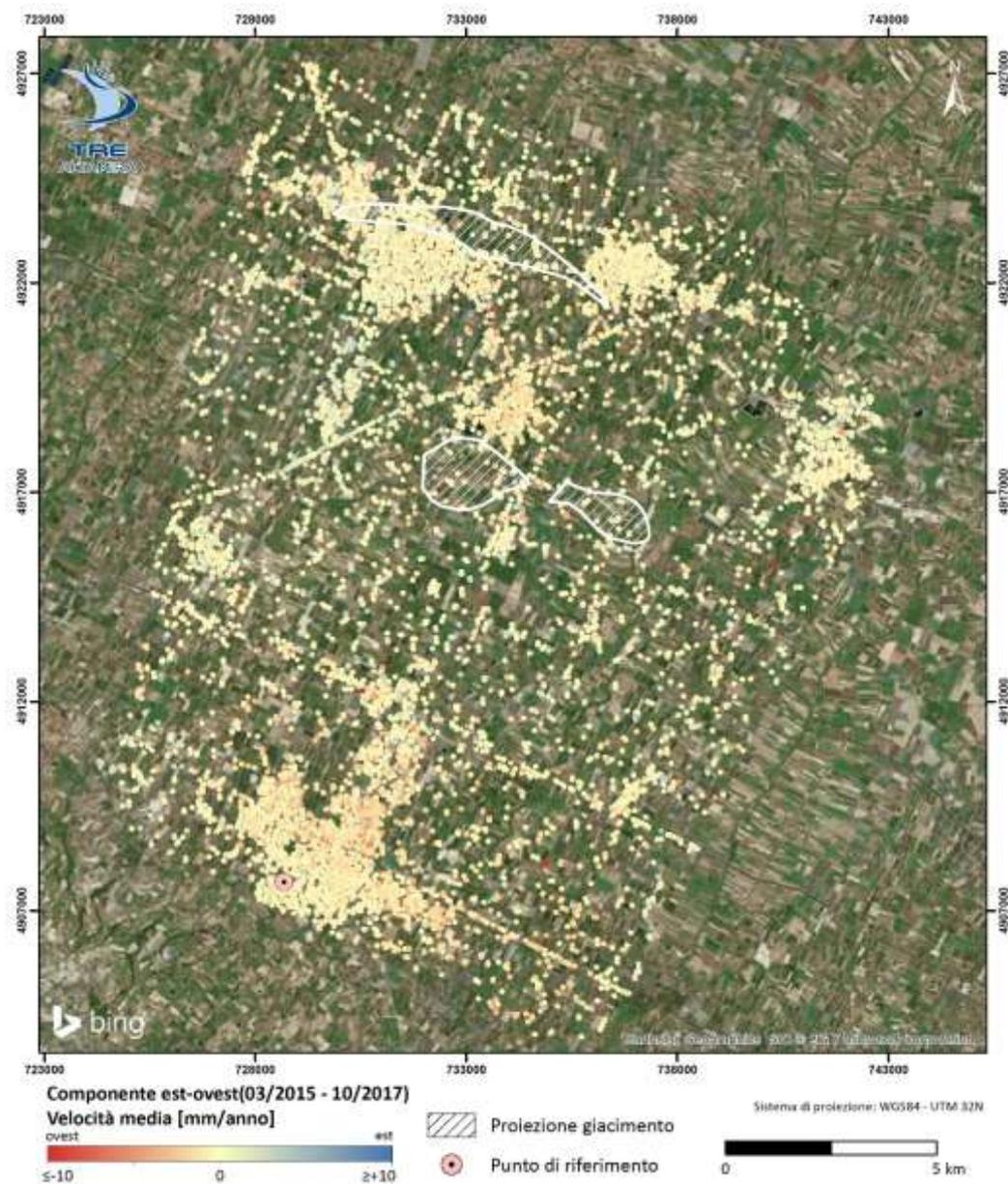


Figura 8: Distribuzione dei valori di velocità media annua di spostamento orizzontale Est-Ovest per i punti di misura individuati dall'analisi.

3.3. Stima della stagionalità

Al fine di evidenziare più facilmente la presenza di deformazioni cicliche, per ogni punto di misura individuato nelle analisi delle singole geometrie, così come per i dati scomposti, è fornito anche il valore medio di semi-ampiezza della stagionalità¹. Tale valore viene calcolato sulla serie storica di deformazione ipotizzando un contributo stagionale del moto del tipo:

$$A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot T + \varphi\right)$$

dove A è la semi-ampiezza, T è il tempo espresso in giorni e φ è la fase della stagionalità riferita alla prima data di acquisizione. Si noti che il modello utilizzato per stimare questo parametro assume che l'ampiezza sia costante e corrispondente al valore medio nell'intero periodo monitorato. Fornisce quindi solo una indicazione dell'ampiezza media della stagionalità. Solo dall'analisi delle singole serie storiche di deformazione è possibile dedurre informazioni dettagliate sull'andamento delle deformazioni. **La Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra un esempio di serie storica di spostamento di un punto affetto da deformazioni stagionali: il valore medio dell'ampiezza A (*seasonal amplitude*) è indicato in rosso ma si nota chiaramente che il punto di misura mostra una ampiezza della stagionalità variabile di anno in anno.

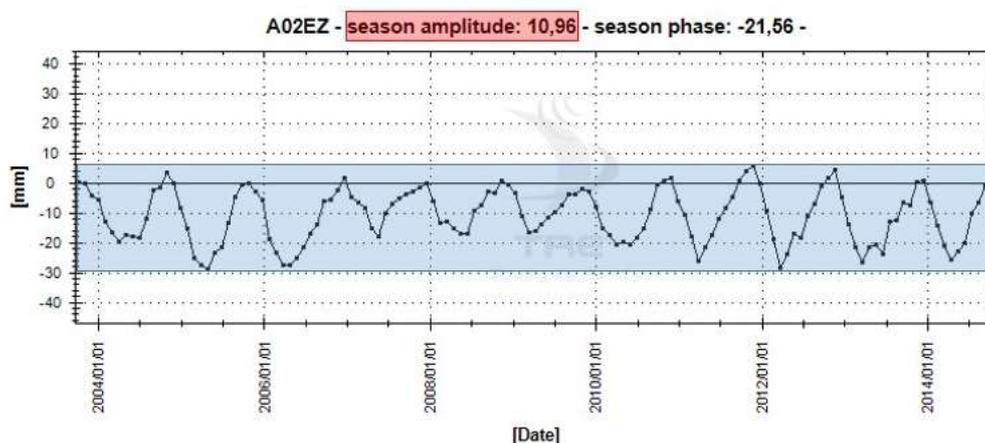


Figura 9: Esempio di serie storica di spostamento per un punto affetto da deformazioni stagionali. Il valore di ampiezza media della stagionalità per l'intero periodo monitorato è indicato in rosso. Il grafico evidenzia comunque una forte variabilità dell'ampiezza dei cicli stagionali durante il periodo monitorato.

¹ Per semplicità in seguito ci riferiremo al valore medio di semi-ampiezza della stagionalità con il solo termine "ampiezza"

L'andamento della stagionalità per la componente verticale del dato analizzato nel presente studio è mostrata in Figura 10.

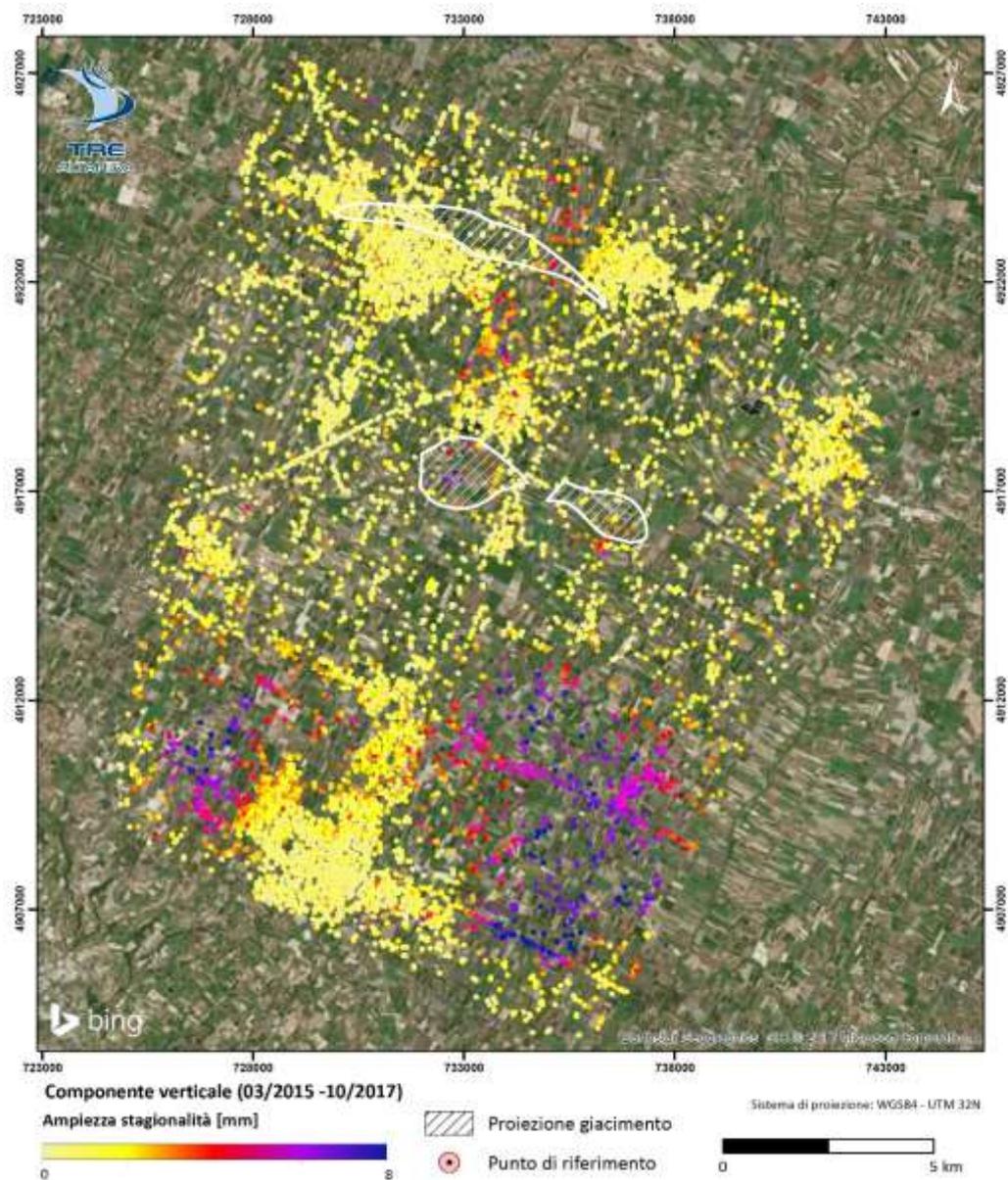


Figura 10: Distribuzione dei valori di ampiezza di picco della stagionalità per la componente verticale.

3.4. Analisi dei risultati

L'area d'interesse s'inserisce in un settore della Pianura Padana notoriamente interessato da fenomeni di subsidenza naturale ed indotta e si osservano infatti movimenti differenziali che interessano sia l'area di stoccaggio che le aree limitrofe.

Il dato SNT conferma la presenza di fenomeni a spiccata stagionalità riscontrati sia nell'area settentrionale a NO di Bagnocavallo, che nelle aree sud-orientale, tra Faenza e Mirandola, e sud-occidentale di San Pietro in Laguna (Figura 10). Tali fenomeni sono presumibilmente indotti da emungimenti di acqua dal sottosuolo, presentando un massimo sollevamento nelle stagioni piovose ed un minimo spostamento nelle stagioni più secche.

L'analisi delle serie storiche di spostamento sulle aree del giacimento di Cotignola conferma la presenza di deformazioni a carattere ciclico che sono in accordo con le curve di carico scarico fornite dal Committente (3.4.4). Qui gli spostamenti massimi si osservano nei periodi di carico mentre gli abbassamenti massimi si misurano nei periodi invernali di scarico.

3.4.1. Pool A – San Potito

I dati SNT confermano la presenza di movimenti superficiali differenziali nell'area del giacimento di San Potito, seppure con tassi di spostamento contenuti entro pochi mm/anno. I risultati della componente verticale sull'area del Pool A, visualizzati rispettivamente per velocità media annua e ampiezza media della stagionalità sono mostrati in Figura 11 e Figura 14. Non si osservano spostamenti superficiali significativi nella componente orizzontale (Figura 12).

La porzione orientale di San Potito è caratterizzata dalla presenza di MP che mostrano un andamento stagionale per la componente verticale (Figura 14). Tale fenomeno interessa anche i punti posti in corrispondenza della Centrale di Trattamento e Stoccaggio (Area 3, Figura 11 e Figura 13), all'interno dell'area di giacimento.

I fenomeni ciclici individuati sono probabilmente connessi alle variazioni stagionali della falda acquifera, infatti le deformazioni osservate mediando le serie storiche dei MP posti nell'Area 3 mostrano ciclicità analoga a quella osservata al di fuori del Pool (Figura 14 e Figura 15) che non è correlata ad altre aree del giacimento. Un confronto con i dati di carico e scarico forniti dal Committente è mostrato al paragrafo 3.4.4.

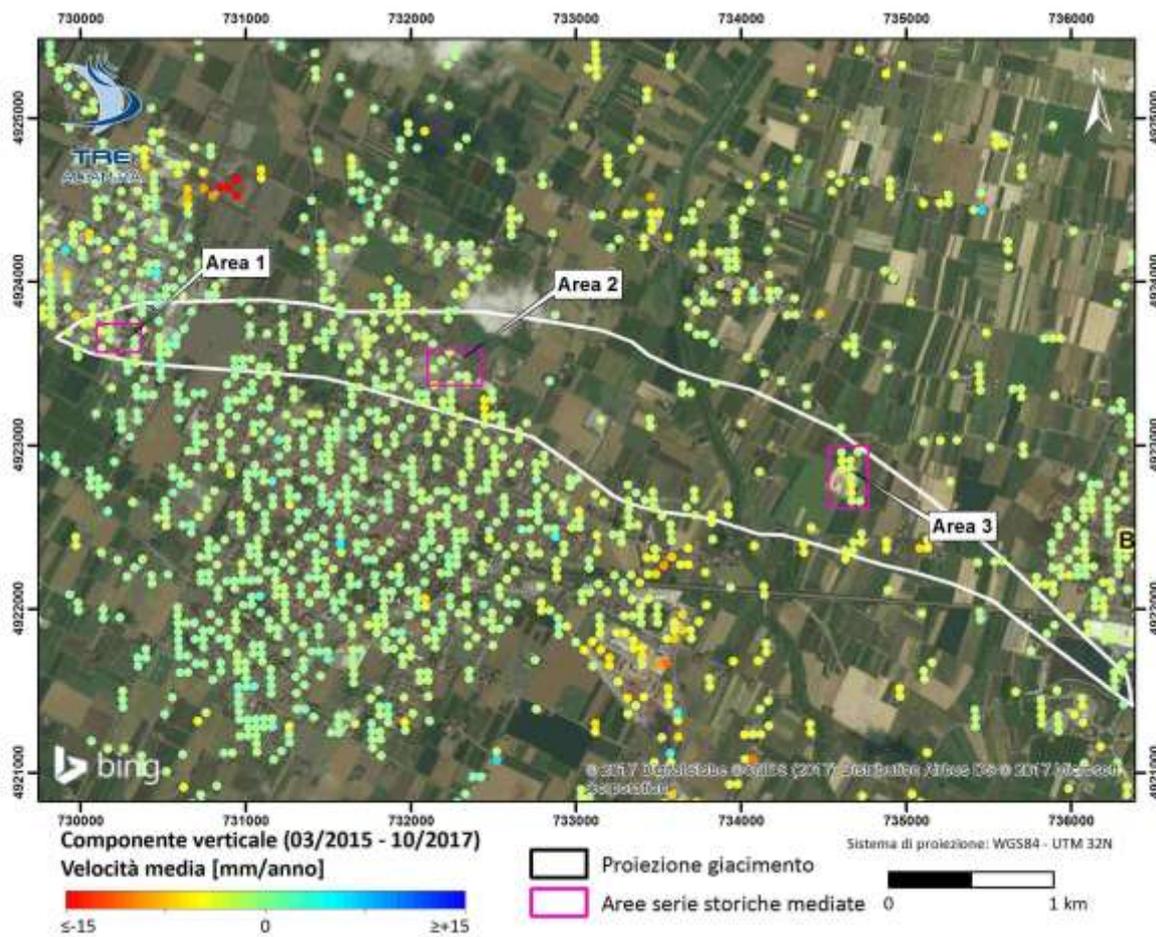


Figura 11: Dettaglio della velocità media verticale nell'area del giacimento di San Potito. Le serie storiche dei punti evidenziati sono mostrate in Figura 13; Serie storica di spostamento verticale dei punti di misura indicati in Figura 11.Figura 13

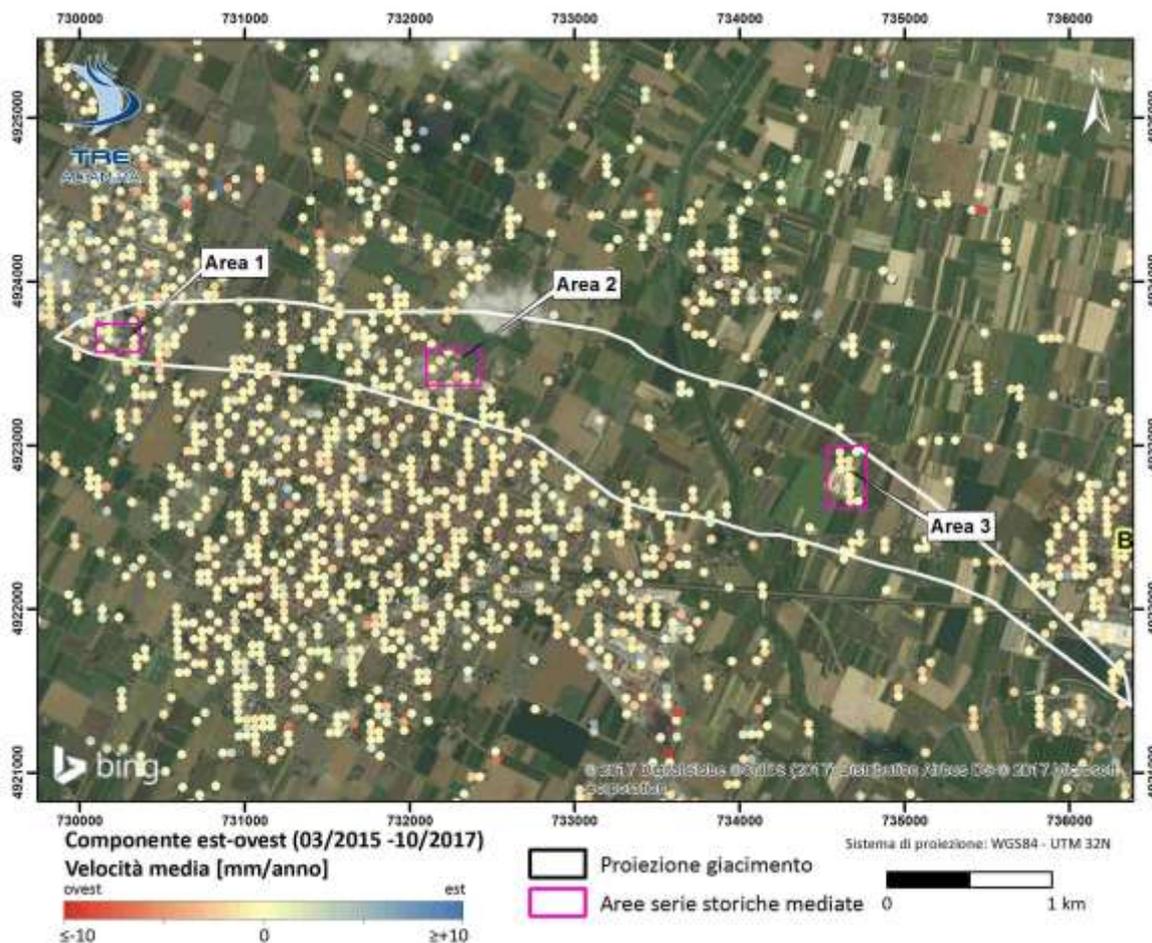


Figura 12: Dettaglio della velocità media est-ovest nell'area del giacimento di San Potito. Le serie storiche dei punti evidenziati sono mostrate in Figura 13

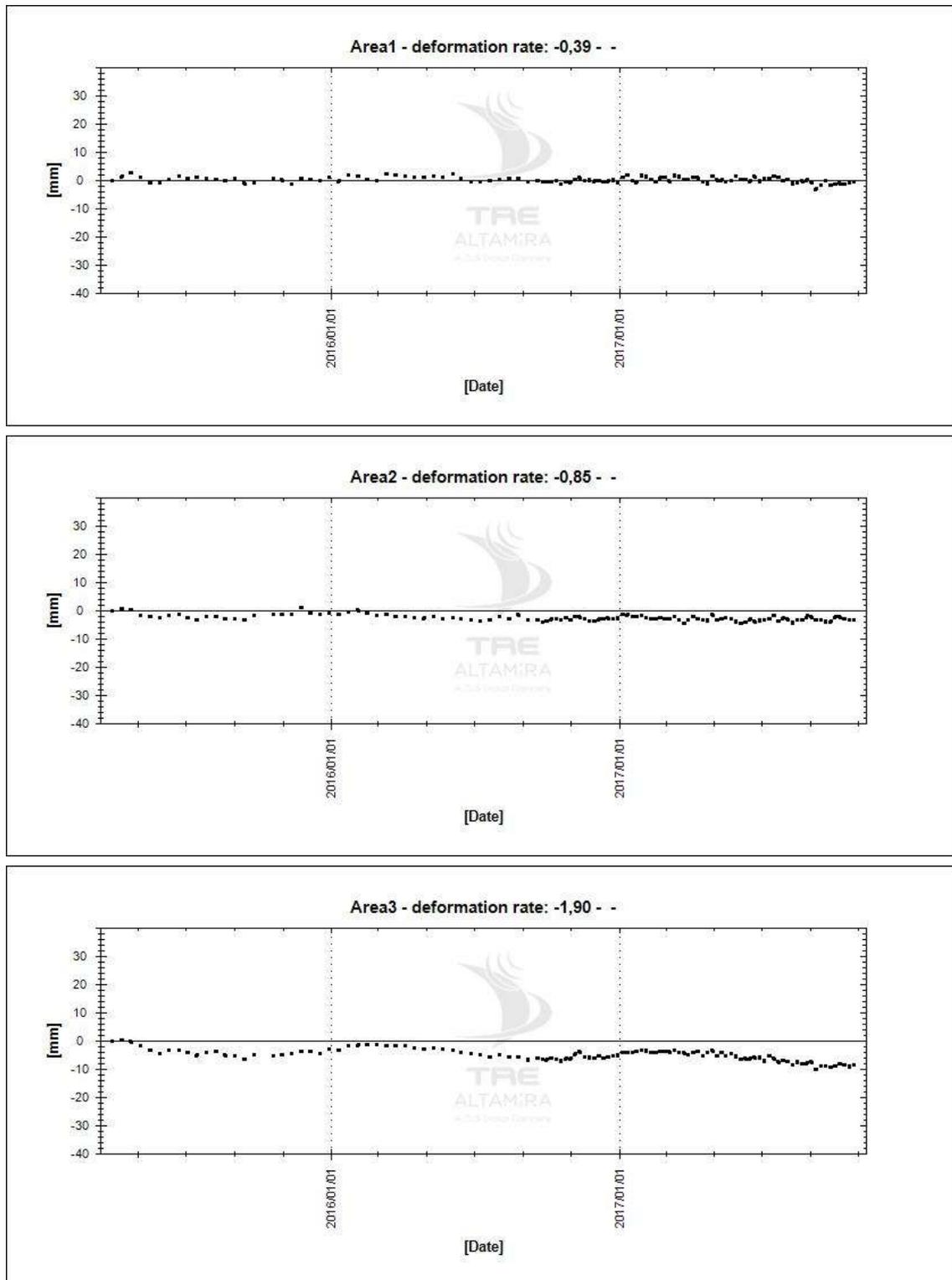


Figura 13: Serie storica di spostamento verticale dei punti di misura indicati in Figura 11.

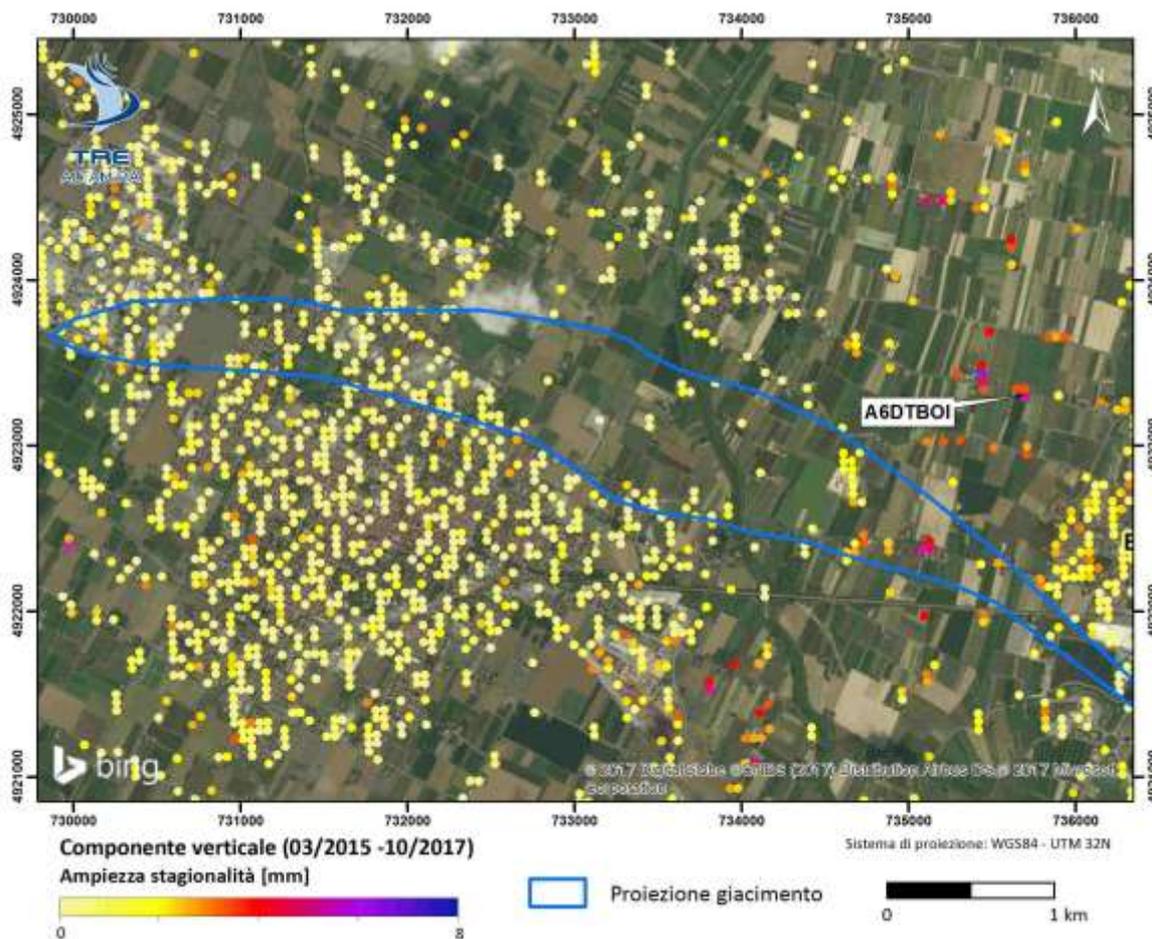


Figura 14: Dettaglio della stagionalità media per la componente verticale nell'area del giacimento di San Potito. La serie storica del punto evidenziato è mostrato in Figura 15

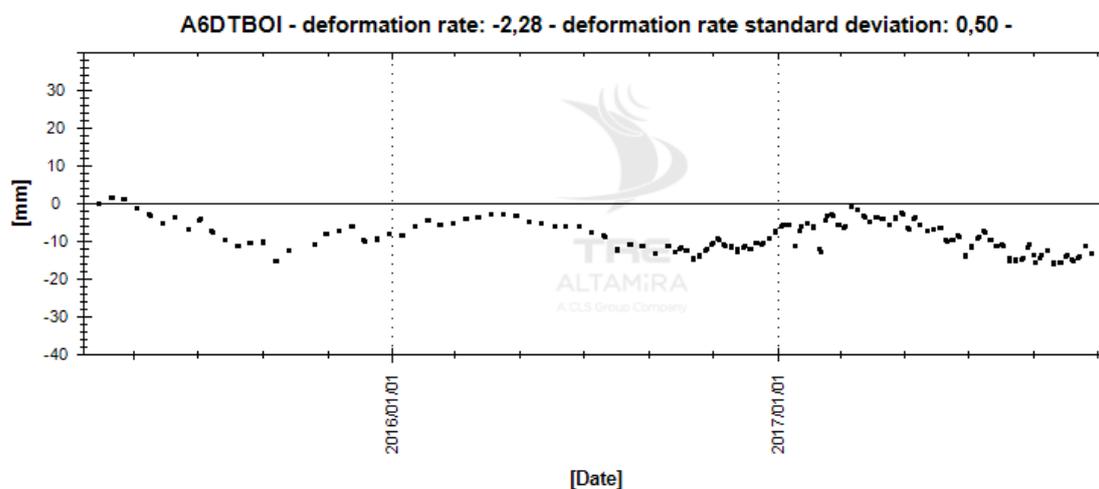


Figura 15: Serie storica di spostamento verticale del punti di misura indicato in Figura 14

3.4.2. Pool B - Cotignola

La Figura 16 e la Figura 18 mostrano nel dettaglio i risultati della componente verticale sull'area del Pool B, visualizzati rispettivamente per velocità media annua e ampiezza media della stagionalità. L'analisi delle serie storiche (Figura 19) conferma gli andamenti ciclici già osservati nei precedenti dati di monitoraggio, con una ampiezza massima della stagionalità che per la componente verticale raggiunge i 12 mm.

Nell'area del Pool B non si osservano spostamenti orizzontali significativi (Figura 17).

Un confronto con i dati di carico e scarico forniti dal Committente è mostrato al paragrafo 3.4.4.



Figura 16: Dettaglio della componente verticale nell'area del Pool B. Le serie storiche dei punti all'interno delle aree viola sono stati mediati per ottenere le serie storiche medie mostrate in Figura 19



Figura 17: Dettaglio della componente est-ovest nell'area del Pool B. Le serie storiche dei punti all'interno delle aree viola sono stati mediate per ottenere le serie storiche medie mostrate in Figura 19



Figura 18: Dettaglio della stagionalità media per la componente verticale nell'area del Cluster B di Cotignola

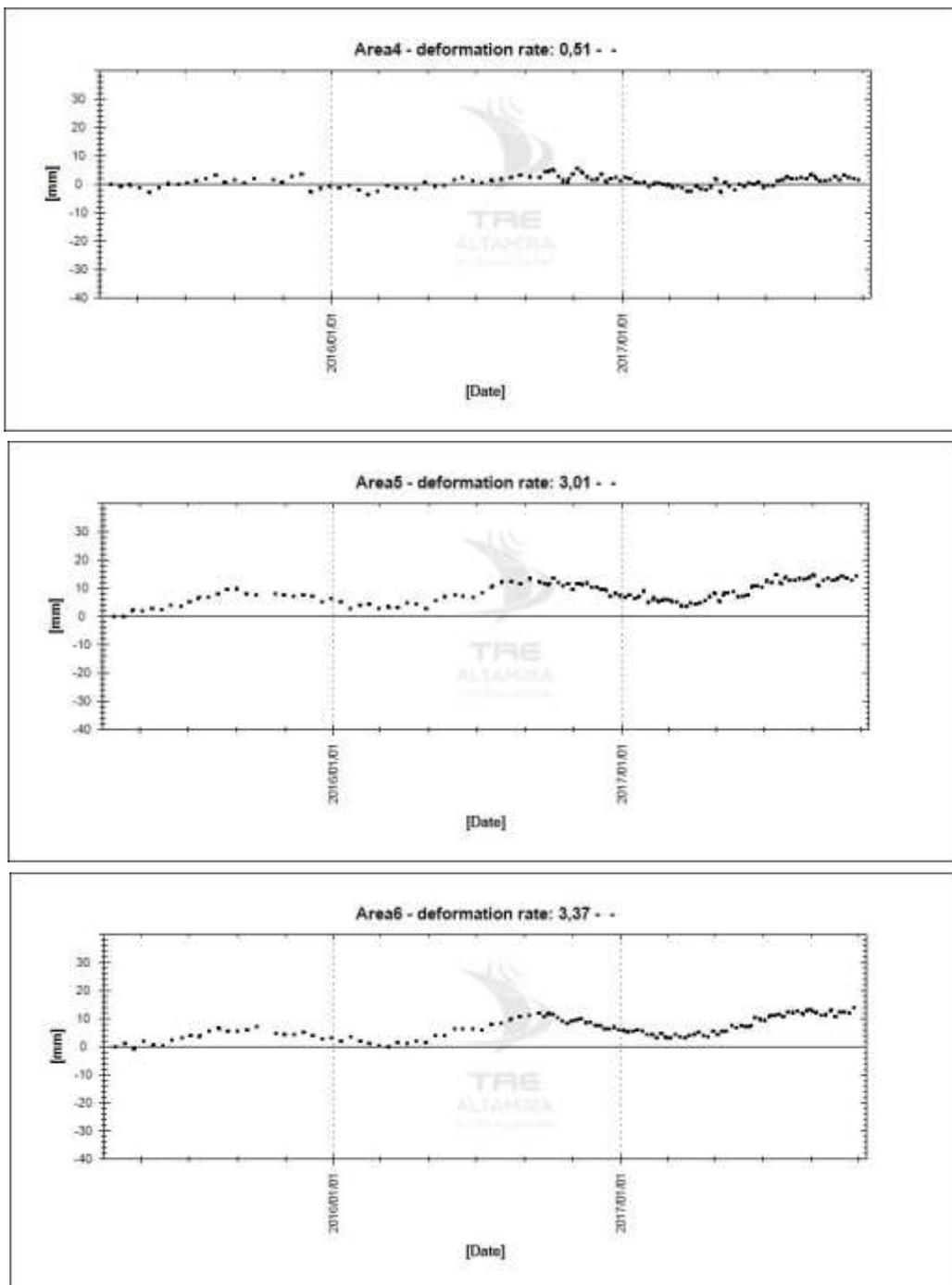


Figura 19: Serie storiche (componente verticale) dei punti di misura indicati in Figura 16 e Figura 18

3.4.3. Pool C - Cotignola

La Figura 20 e la Figura 21 mostrano nel dettaglio i risultati della componente verticale sull'area del Pool C, visualizzati rispettivamente per velocità media annua e ampiezza media della stagionalità. L'analisi delle serie storiche (Figura 22) mostra che l'ampiezza massima della stagionalità per la componente verticale risulta essere di circa 14 mm.

L'andamento ciclico dell'ultimo anno è riconoscibile anche nella componente orizzontale, sebbene con valori di ampiezza della stagionalità inferiori, ovvero contenuti entro 10 mm (Figura 23, Figura 24 e Figura 25).

Un confronto con i dati di carico e scarico forniti dal Committente è mostrato al paragrafo 3.4.4.

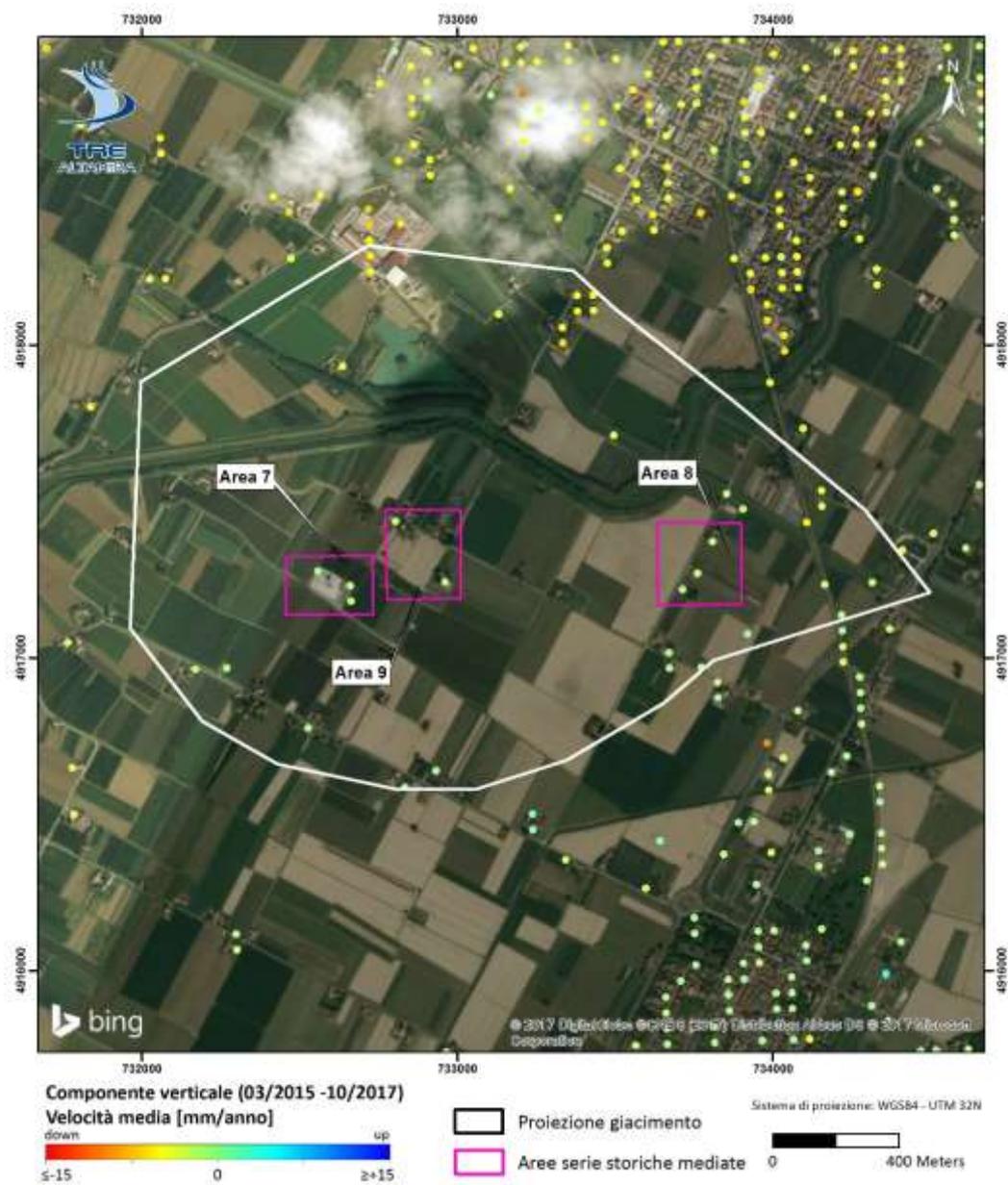


Figura 20: Dettaglio della componente verticale (velocità media) sull'area del Pool C. Le serie storiche dei punti all'interno delle aree viola sono stati mediati per ottenere le serie storiche medie mostrate in Figura 22

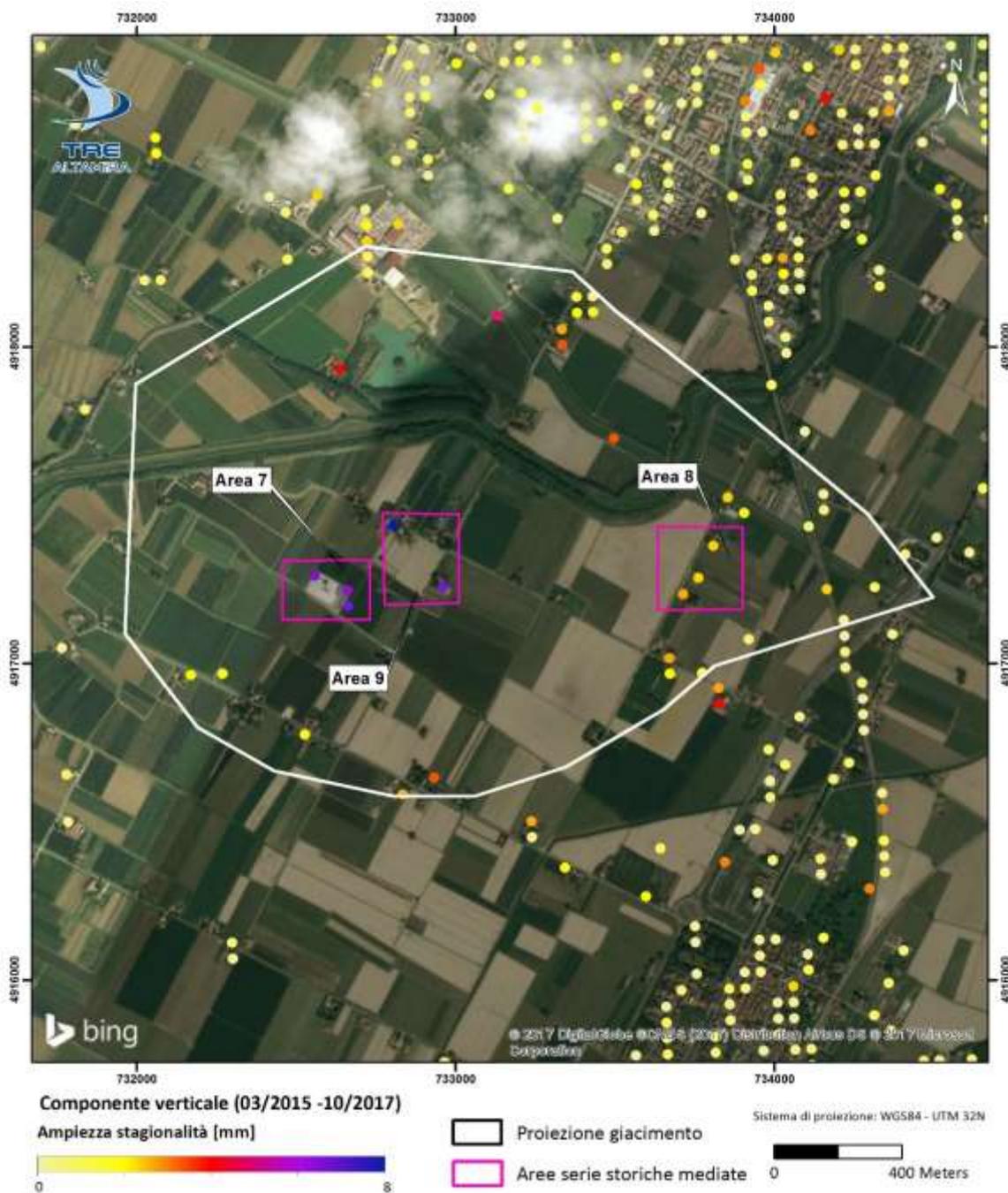


Figura 21: Dettaglio della ampiezza media della stagionalità per la componente verticale sull'area del Pool C. Le serie storiche dei punti all'interno delle aree viola sono stati mediati per ottenere le serie storiche medie mostrate in Figura 22

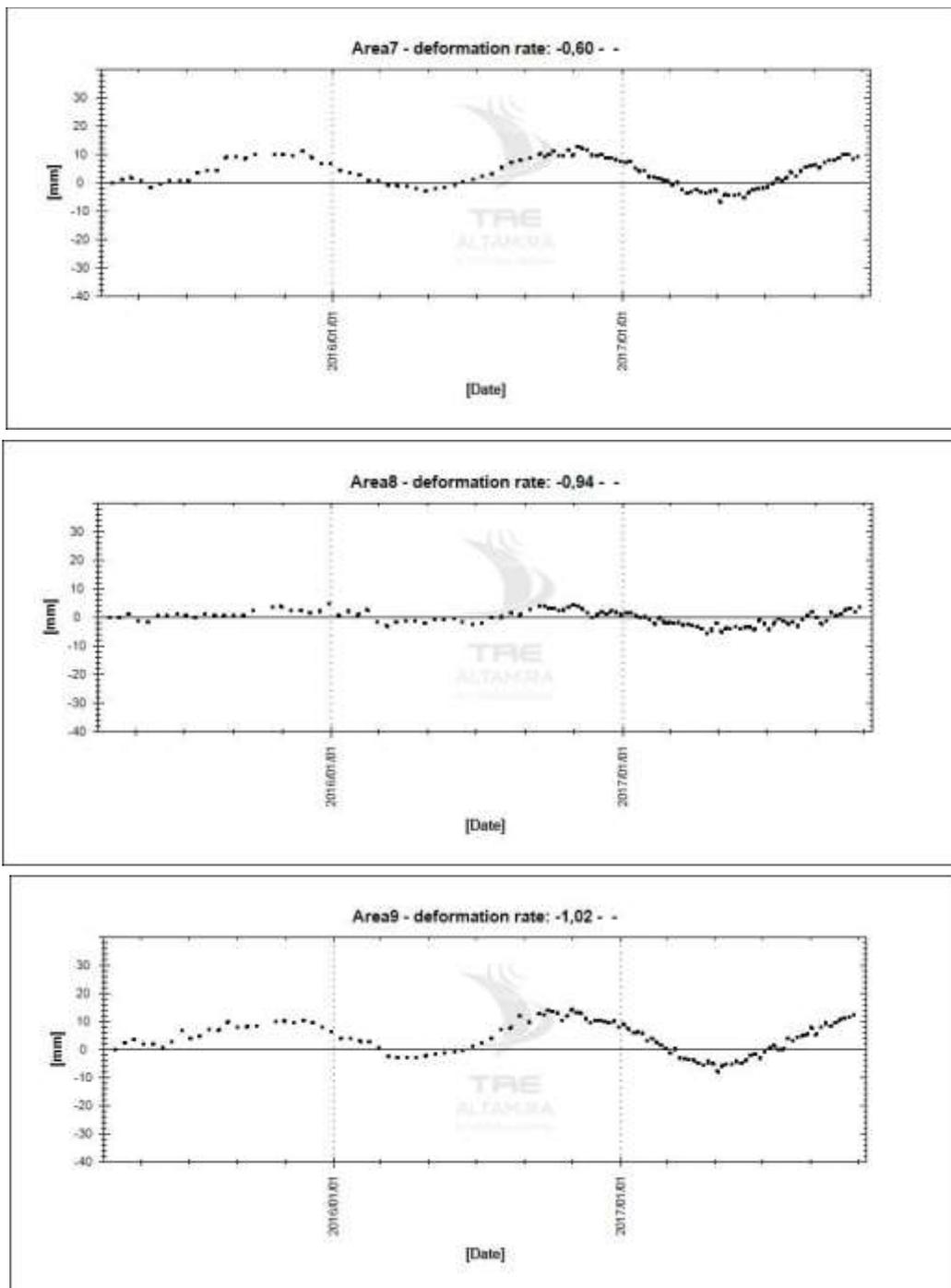


Figura 22: Serie storiche medie (componente verticale) dei punti di misura indicati nei riquadri viola in Figura 20 e Figura 21.



Figura 23: Dettaglio dei risultati della componente orizzontale est-ovest (velocità media) sull'area del Pool C. La serie storica media dei punti compresi nell'area 10 è mostrata in Figura 25.

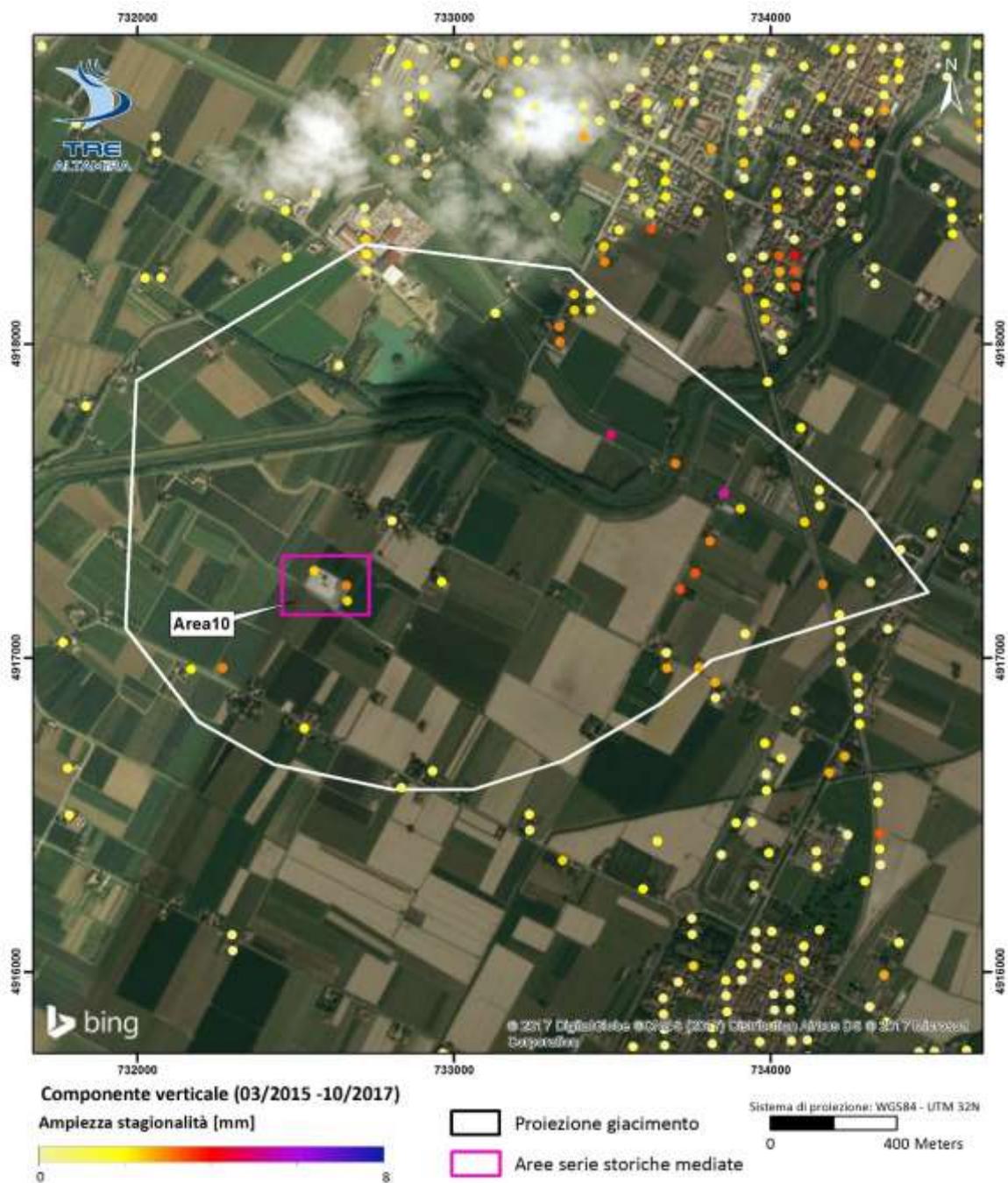


Figura 24: Dettaglio dei risultati della componente orizzontale sull'area del Pool C, visualizzati per ampiezza media della stagionalità. La serie storica media dei punti compresi nell'area 10 è mostrata in Figura 25.

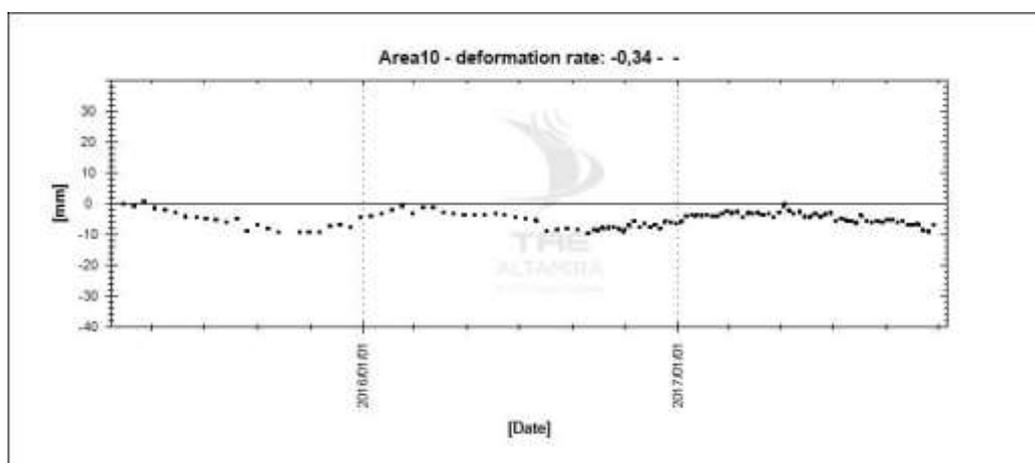


Figura 25: Serie storica media (componente orizzontale) dei punti di misura compresi nell'Area 10 evidenziata in Figura 23 e Figura 24.

3.4.4. Confronto movimenti superficiali e curva di carico-scarico

In questo paragrafo vengono confrontati i volumi di gas movimentati nei giacimenti di San Potito e Cotignola con le deformazioni superficiali misurate.

La Figura 26 mostra la quantità di volumi iniettati ed erogati in ciascun sito di stoccaggio, forniti dal Committente. Il grafico evidenzia che i volumi maggiori sono movimentati in corrispondenza del Pool C, dove si osservano le deformazioni stagionali più elevate.

Nell'area di San Potito (Pool A) è stata confrontata la media delle serie storiche affette da ciclicità stagionale nell'Area 3 con i volumi movimentati (Figura 11 e Figura 27). Il grafico mostra chiaramente come le curve di carico e scarico non siano in fase con le deformazioni cicliche osservate in superficie. La ciclicità riscontrata si ritiene possa essere correlata alle variazioni stagionali della falda acquifera, al pari dell'area posta a Nord della Centrale di Trattamento e Stoccaggio, segnalata in Figura 14.

L'assenza di movimenti superficiali correlabili alle attività di stoccaggio sembra essere in linea anche con i volumi di gas movimentati fino ad oggi, che risultano essere piuttosto contenuti rispetto anche alla adiacente concessione di Cotignola. I dati di spostamento superficiale ottenuti sull'area del giacimento di Cotignola mostrano un comportamento differente.

I movimenti ciclici superficiali riscontrati nel Pool B e C mostrano un'evidente correlazione con i cicli di iniezione ed erogazione effettuati a Cotignola (Figura 28, Figura 29 e Figura 30). Gli spostamenti più consistenti si osservano in corrispondenza del Pool C, dove i volumi movimentati risultano più elevati (Figura 29, Figura 30). La correlazione con la curva di carico scarico è qui evidente anche per la componente orizzontale.

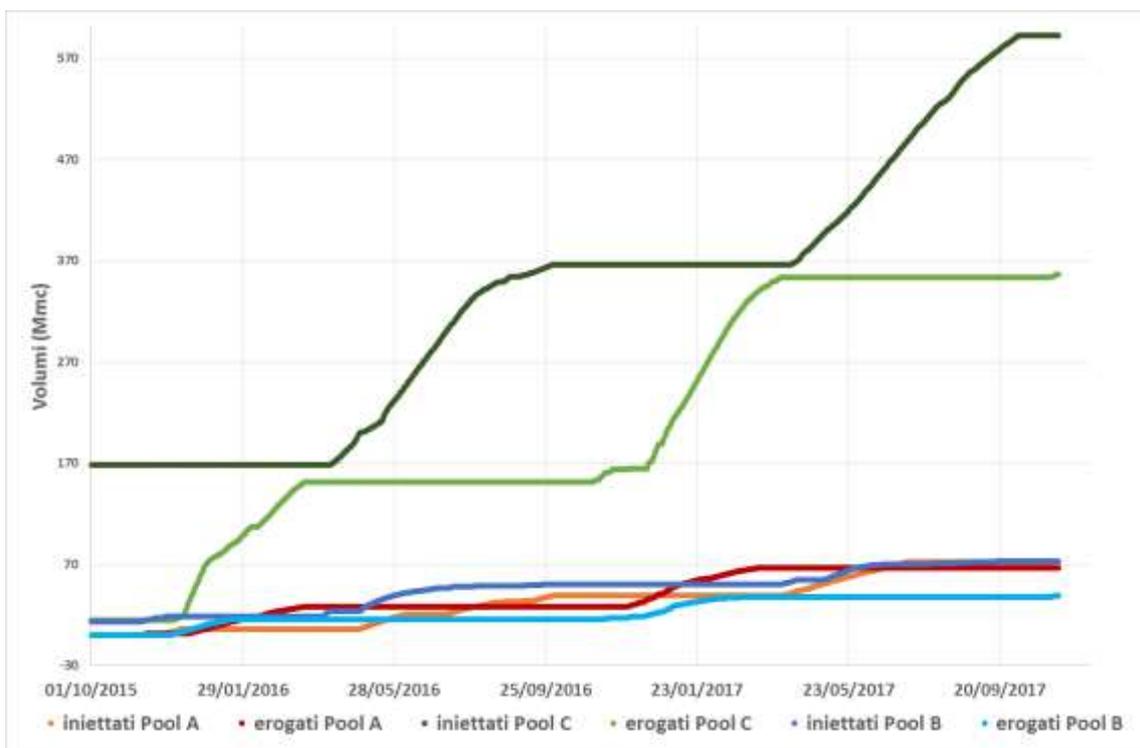


Figura 26: Volumi iniettati ed erogati su San Potito (Cluster A) e Cotignola (Cluster B e C).

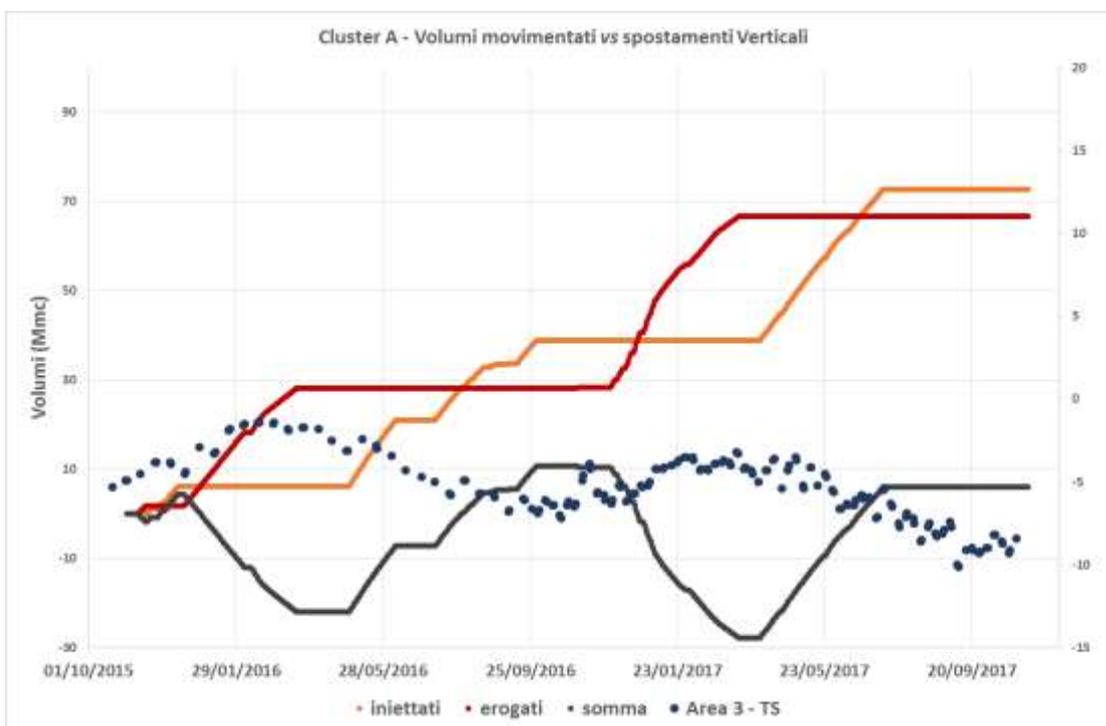


Figura 27: Volumi di gas movimentati per il Pool A e confronto con la serie storica di spostamento media della componente orizzontale sull'Area 3 in Figura 11

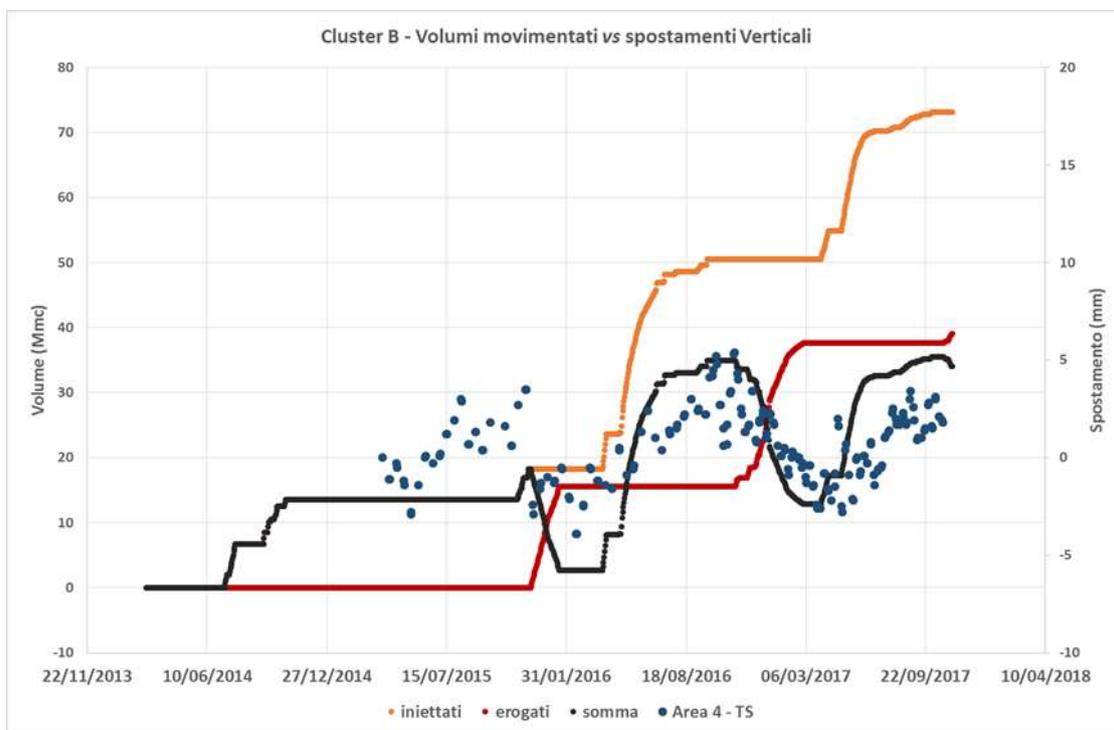


Figura 28: Volumi di gas movimentati per i Cluster B e confronto con la serie storica di spostamento media della componente verticale sull'Area4 per Cluster B di Figura 16

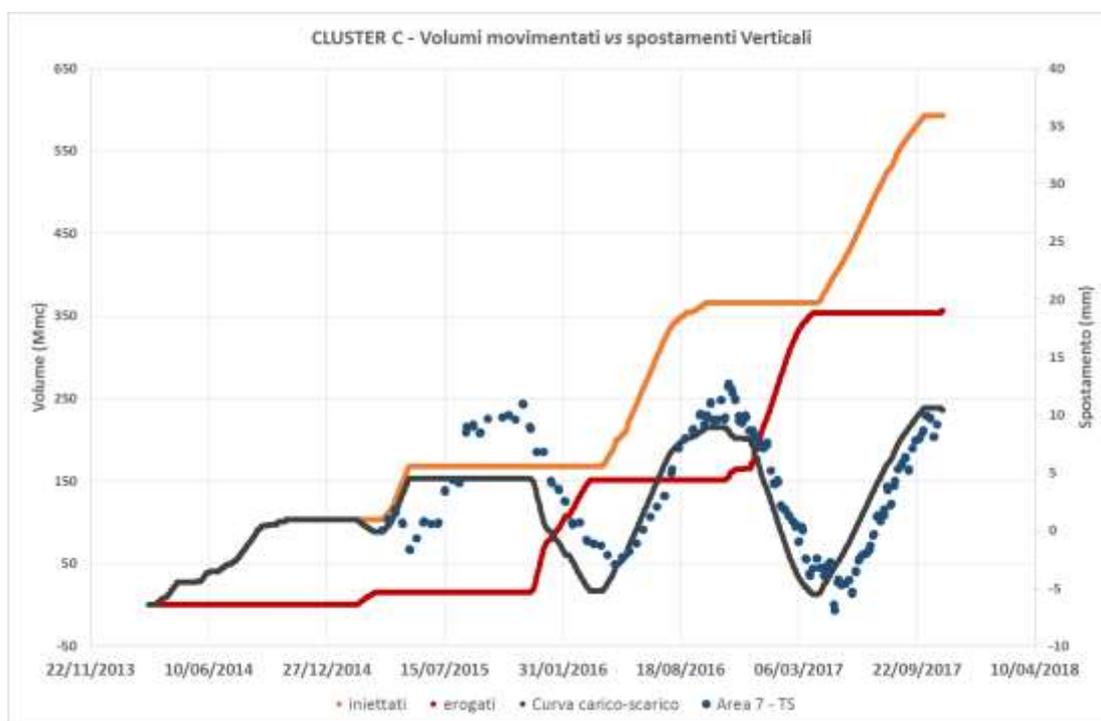


Figura 29: Volumi di gas movimentati per i Cluster C e confronto con la serie storica di spostamento media della componente verticale sull'Area 7 di Figura 20 e Figura 21

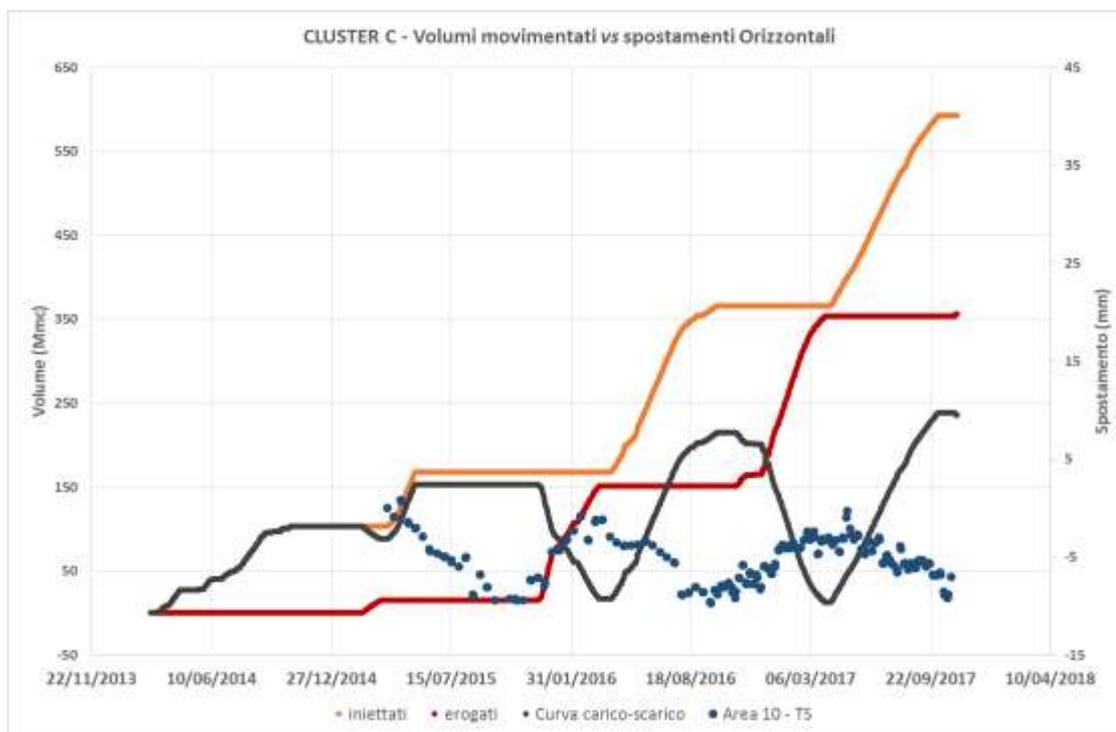


Figura 30: Volumi di gas movimentati per il Cluster C e confronto con la serie storica di spostamento media della componente orizzontale sull'Area 10 (Figura 23 e Figura 24).

4. Dati consegnati

Insieme alla presente Relazione Tecnica vengono consegnati:

- I risultati delle analisi SqueeSAR™ in formato shapefile, visualizzabili in qualsiasi sistema informativo geografico. I file contengono le informazioni di velocità, quota e serie storiche (grafici tempo-spostamento) di tutti i punti di misura individuati nell'analisi (Tabella 5).
- Uno specifico Rapporto di Elaborazione ed un file in formato .xml per ogni elaborazione, contenenti tutti i metadati tecnici relativi all'analisi SqueeSAR™ condotta, alle immagini utilizzate, ai versori di LOS (*Line Of Sight*, direzione di vista del satellite) e al codice e localizzazione del punto di riferimento.
- I risultati ottenuti dalla scomposizione in formato shapefile, uno per ogni componente. In aggiunta, è fornito anche un file in formato .xml, contenenti tutti i metadati tecnici relativi alla scomposizione

Tutti i dati vettoriali sono consegnati nel sistema di proiezione WGS 1984-UTM 32N. La lista completa dei file consegnati è riportata in Tabella 7.

Campo	Descrizione
CODE	Codice identificativo del punto di misura (MP)
HEIGHT	Quota del punto [m] calcolata rispetto all'ellissoide di riferimento WGS84
H_STDEV	Deviazione standard del parametro quota [m]
VEL	Velocità media annua di spostamento [mm/anno] misurata lungo la linea di vista del sistema (LOS). Valori positivi indicano avvicinamento al satellite, valori negativi indicano allontanamento dal satellite
V_STDEV	Deviazione standard del parametro velocità media annua [mm/anno]
SEASON_AMP	Valore medio di semi-ampiezza della stagionalità [mm]
S_AMP_STD	Deviazione standard del parametro semi-ampiezza della stagionalità [mm]
SEASON_PHS	Posizione del valor massimo dell'ampiezza della stagionalità rispetto alla prima acquisizione (fase della stagionalità) [gg].
S_PHS_STD	Deviazione standard del parametro fase della stagionalità [mm]
COHERENCE	Indice di qualità, compreso tra zero (min) e 1 (max), funzione di quanto il modello di spostamento scelto si adatta alla serie storica di spostamento di un MP
EFF_AREA	Parametro che indica la tipologia del punto di misura (0 = PS, > 0 = DS); nel caso dei DS questo campo indica l'estensione dell'area associata a ciascun DS [m ²].
Daaammgg	Serie di colonne contenenti i valori di spostamento cumulato (lungo LOS) per ogni successiva acquisizione. La data dell'acquisizione è espressa in aaammgg. I valori di spostamento sono espressi in [mm].

Tabella 5: Campi contenuti nel database associato al dato vettoriale dia una elaborazione in singola geometria

Campo	Descrizione
CODE	Codice identificativo del punto di misura ottenuto dalla scomposizione (combinazione di dati in singola geometria), posizionato al centro della cella di scomposizione.
VEL_V/_E	Velocità media annua di spostamento [mm/anno] verticale/orizzontale est-ovest. Valori positivi indicano spostamenti verso l'alto/spostamenti verso est.
V_STDEV_V/_E	Deviazione standard della velocità media verticale/ orizzontale est-ovest [mm/anno].
S_AMP_V/_E	Valore medio di semi-ampiezza della stagionalità [mm] per la componente verticale/orizzontale est-ovest

S_PHS_V/E Posizione del valor massimo dell'ampiezza della stagionalità rispetto alla prima acquisizione (fase della stagionalità) [gg] per la componente verticale/ orizzontale est-ovest

Daaammgg Serie di colonne contenenti i valori di spostamento cumulato verticale/orizzontale est-ovest per ogni successiva acquisizione. La data dell'acquisizione è espressa in aaammgg. I valori di spostamento sono espressi in [mm].

Tabella 6: Contenuti del database associato ai risultati della scomposizione.

Analisi	Nome file
Singola Geometria	COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_T117_A_IT401A1S.shp
	Asce COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_T117_A_IT401A1S.xml
	COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_T117_A_IT401A1S.pdf
	Desce COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_T95_D_IT401A2S.shp
	COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_T95_D_IT401A2S.xml
	COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_T95_D_IT401A2S.pdf
Scomposizione	Verticale COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_VERT_IT401A3V.shp
	COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_VERT_IT401A3V.xml
	Est-Ovest COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_EAST_IT401A4E.shp
	COTIGNOLA_SAN_POTITO_SNT_EAST_IT401A4E.xml
Relazione Tecnica	Cotignola_SanPotito_Relazione_Tecnica_UpdateOct2017.pdf
Handbook	TREALTAMIRA_Handbook.pdf

Tabella 7: Elenco dei file consegnati.

5. Conclusioni

L'analisi condotta ha aggiornato ad Ottobre 2017 i dati di monitoraggio satellitare SqueeSAR™ sul sito di stoccaggio di Cotignola e San Potito, con dati provenienti dalla costellazione a media risoluzione SNT. L'analisi ha fornito misure di spostamento in linea con quelle osservate con l'elaborazione di dati ad alta risoluzione fino ad Aprile 2017, seppur caratterizzate da una significativa diminuzione del numero di punti di misura e quindi della densità di informazioni. Con il satellite SNT sono state ottenute densità spaziali di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quanto ottenuto con le precedenti analisi TSX ad alta risoluzione (~81 MP/km² contro 1.150 MP/km²).

Il presente aggiornamento ha evidenziato quanto segue:

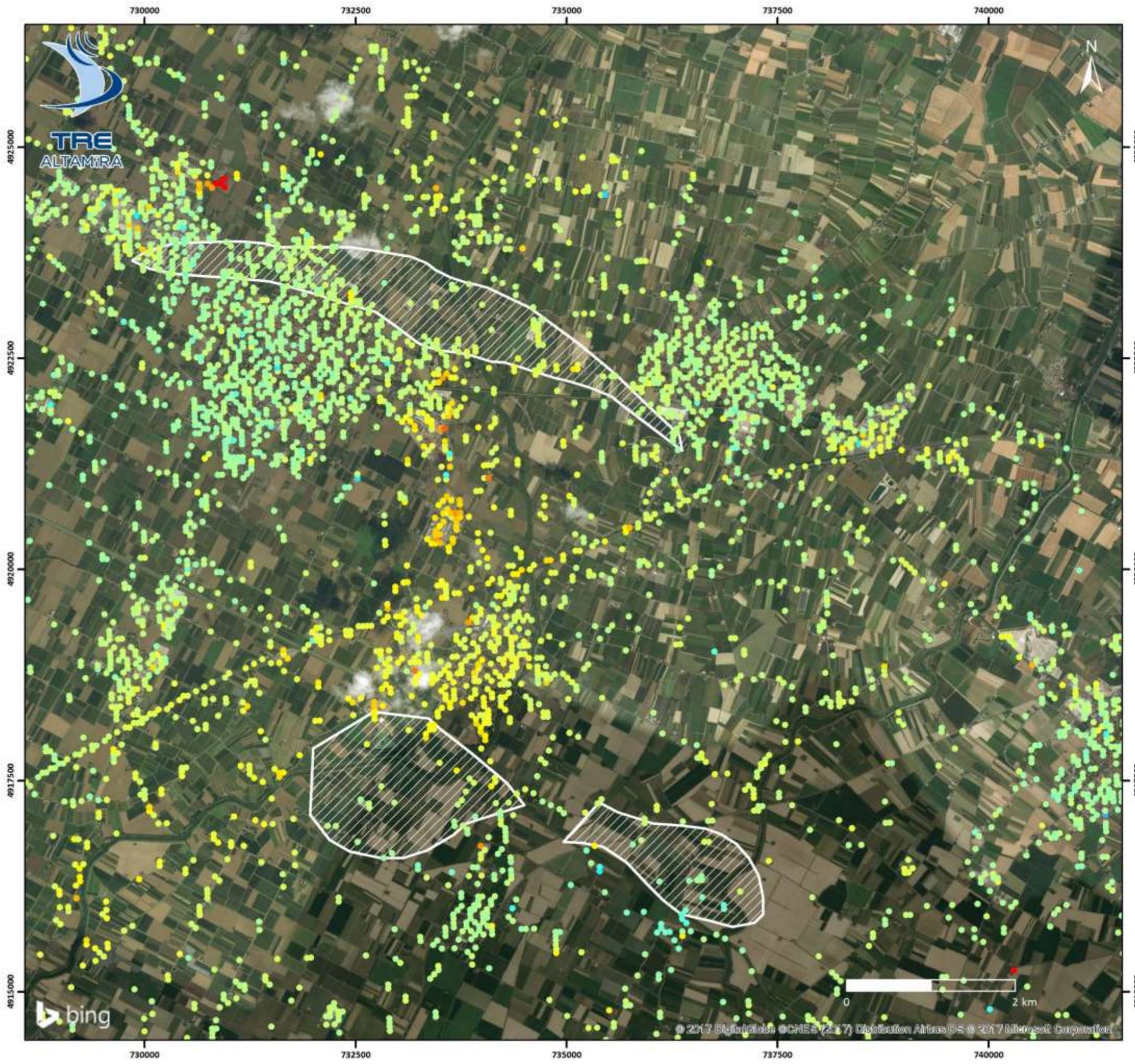
- In corrispondenza del Pool A di San Potito le deformazioni cicliche osservate non sembrano associabili alle operazioni di movimentazione di gas, in accordo con i bassi valori di volume di gas iniettato ed erogato, ad oggi, in questa concessione.
- La permanenza di un trend ciclico nelle serie storiche osservato sia nel Pool B che nel Pool C.
- Nell'area del Pool B l'ampiezza massima della stagionalità misurata per la componente verticale è risultata di circa 12 mm.
- Nell'area del Pool C l'ampiezza massima della stagionalità misurata per la componente verticale ed orizzontale è risultata di circa 14 mm.
- L'andamento dei fenomeni deformativi superficiali nel Pool B e Pool C sono correlati con l'andamento della curva di carico/scarico. In ogni caso i movimenti finora osservati sono di entità comparabile a quelli osservati in altri siti di stoccaggio gas italiani.

Inoltre, nel valutare le deformazioni attese in superficie a seguito dell'immissione /estrazione di gas è importante sottolineare che queste sono da correlarsi non tanto ai volumi di gas movimentato quanto più alle variazioni di pressioni indotte a livello dei pori. La variazione di pressione è proporzionale alla variazione di volume immesso/prodotto (o estratto) ma con fattori di proporzionalità che dipendono principalmente dalla geometria e tipologia del serbatoio così come dalle caratteristiche geomeccaniche del serbatoio e delle rocce di copertura. Come si può desumere dai casi riportati in letteratura (Teatini et al. 2011; Rucci et al. 2011, 2013) la risposta in superficie delle attività di iniezione e/o estrazione di fluidi dal sottosuolo dipende da tutti questi fattori e può variare quindi da caso a caso.

Allegati

Si allegano di seguito le seguenti tavole in formato A3 con i risultati ottenuti dallo studio:

- TAVOLA 1 – Velocità media della componente verticale, ottenuta dalla combinazione delle due geometrie.
- TAVOLA 2 – Velocità media della componente orizzontale E-O, ottenuta dalla combinazione delle due geometrie.
- TAVOLA 3 – Ampiezza della stagionalità per la componente verticale



Analisi SqueeSAR™

TAVOLA 1
SNT Componente verticale
Velocità media

SITO
 Cotignola e S. Potito

DATI ELABORAZIONE

Satellite	Sentinel
Geometria	Ascendente
Track	117
Numero immagini	106
Periodo	30/03/2015 - 27/10/2017

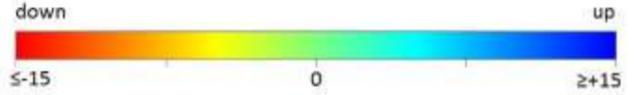
Satellite	Sentinel
Geometria	Discendente
Track	95
Numero immagini	110
Periodo	12/10/2014 - 26/10/2017

Sovrapposizione temporale per la Scomposizione	30/03/2015-26/10/2017
--	-----------------------

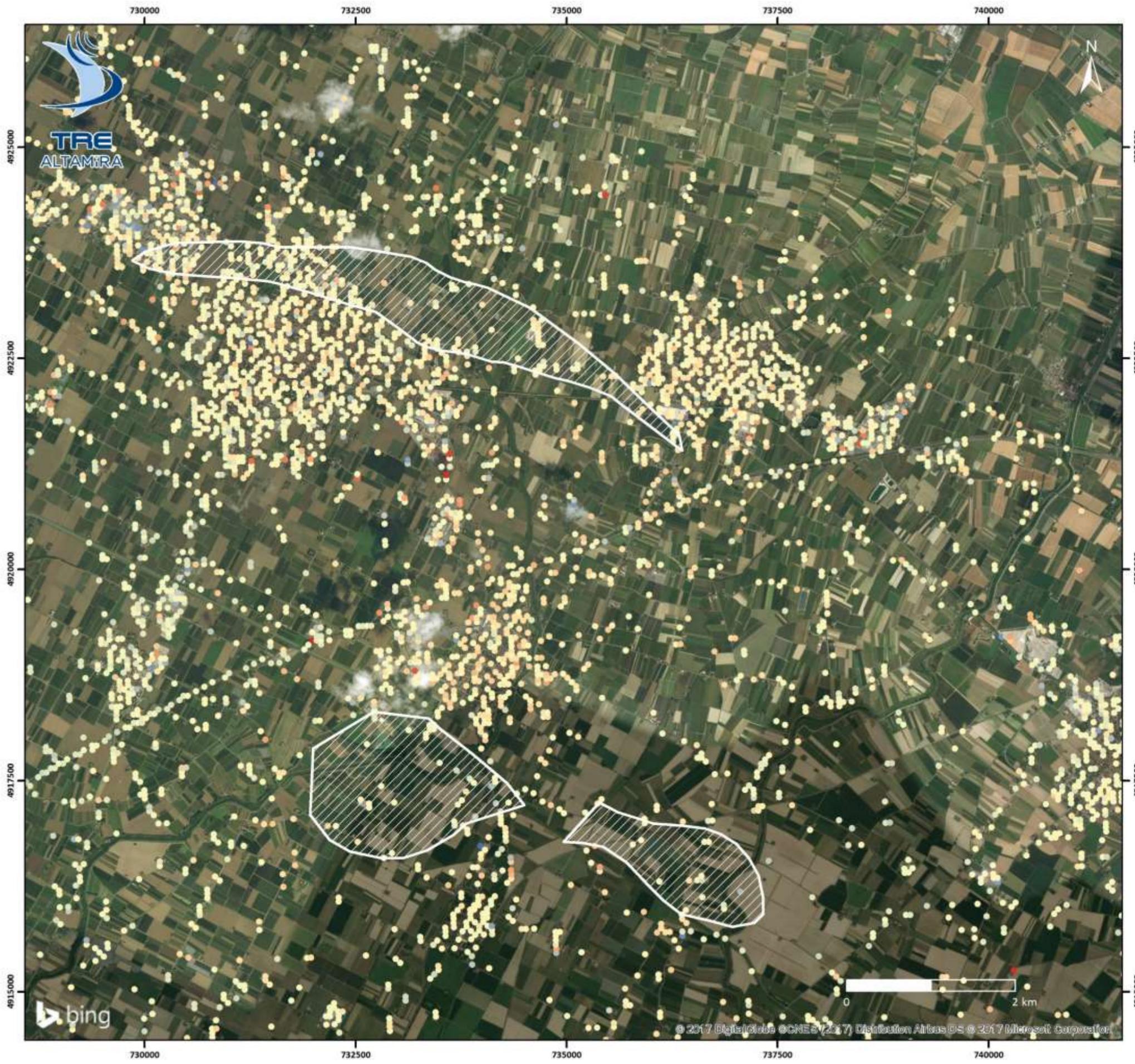
LEGENDA

Limite giacimento proiettato in superficie

Velocità media [mm/anno]
 componente verticale



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps
 Sistema di proiezione: WGS84-UTM32N (ESRI: WGS_1984_UTM_Zone_32N)
 © TRE ALTAMIRA 2017.



Analisi SqueeSAR™

TAVOLA 2
SNT Componente est-ovest
Velocità media

SITO
 Cotignola e S. Potito

DATI ELABORAZIONE

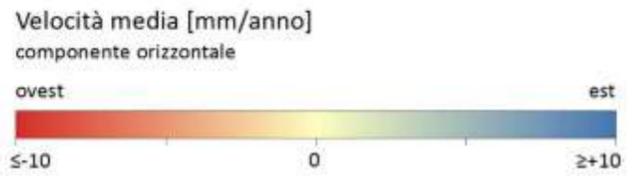
Satellite	Sentinel
Geometria	Ascendente
Track	117
Numero immagini	106
Periodo	30/03/2015 - 27/10/2017

Satellite	Sentinel
Geometria	Discendente
Track	95
Numero immagini	110
Periodo	12/10/2014 - 26/10/2017

Sovrapposizione temporale per la Scomposizione	30/03/2015-26/10/2017
--	-----------------------

LEGENDA

 Limite giacimento proiettato in superficie



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps
 Sistema di proiezione: WGS84-UTM32N (ESRI: WGS_1984_UTM_Zone_32N)
 © TRE ALTAMIRA 2017.

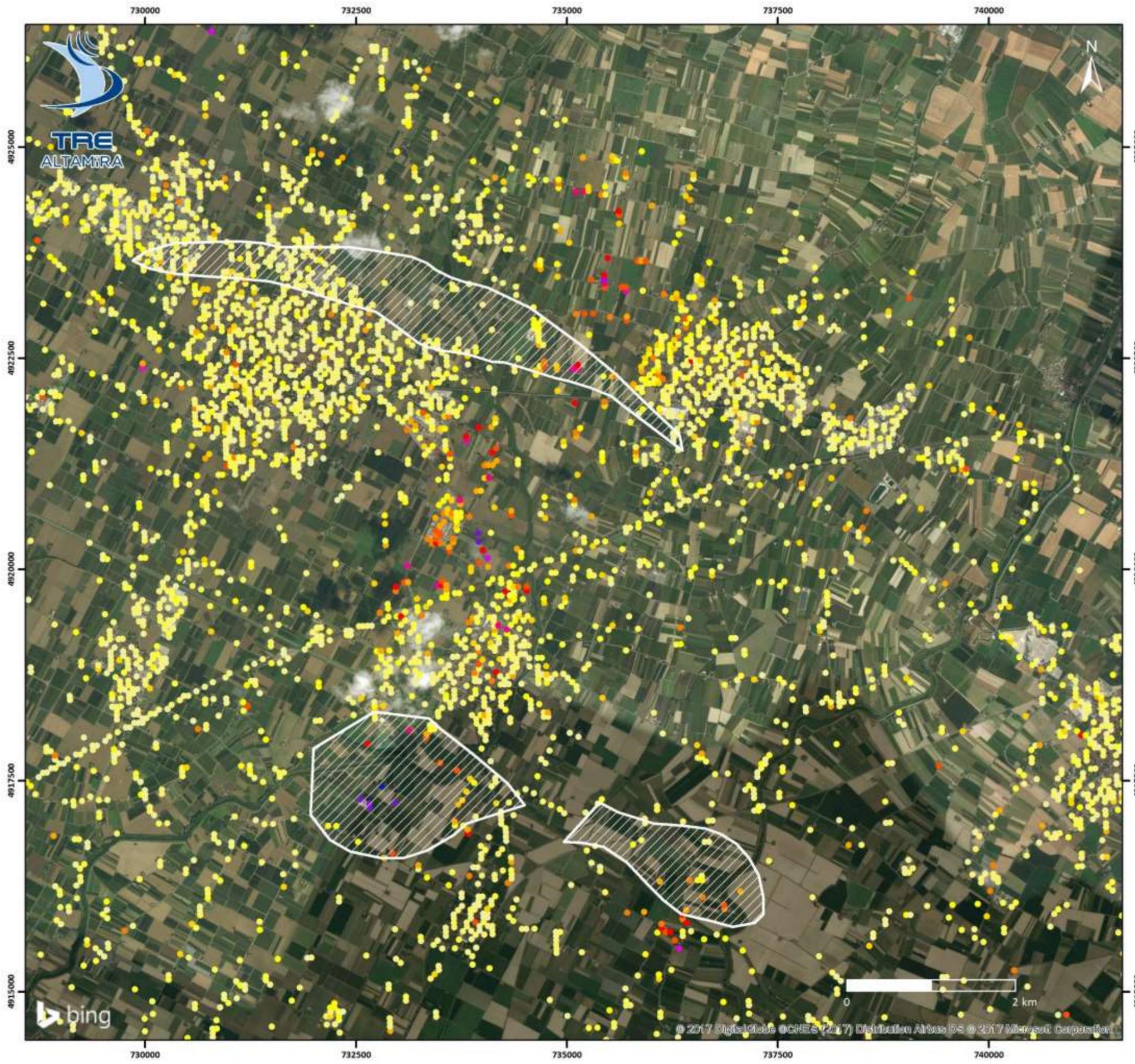


TAVOLA 3

SNT Componente verticale

Ampiezza stagionalità

SITO
Cotignola e S. Potito

DATI ELABORAZIONE

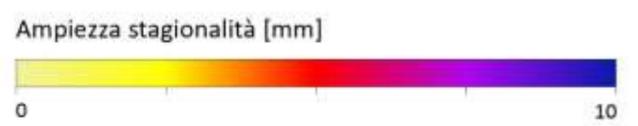
Satellite	Sentinel
Geometria	Ascendente
Track	117
Numero immagini	106
Periodo	30/03/2015 - 27/10/2017

Satellite	Sentinel
Geometria	Discendente
Track	95
Numero immagini	110
Periodo	12/10/2014 - 26/10/2017

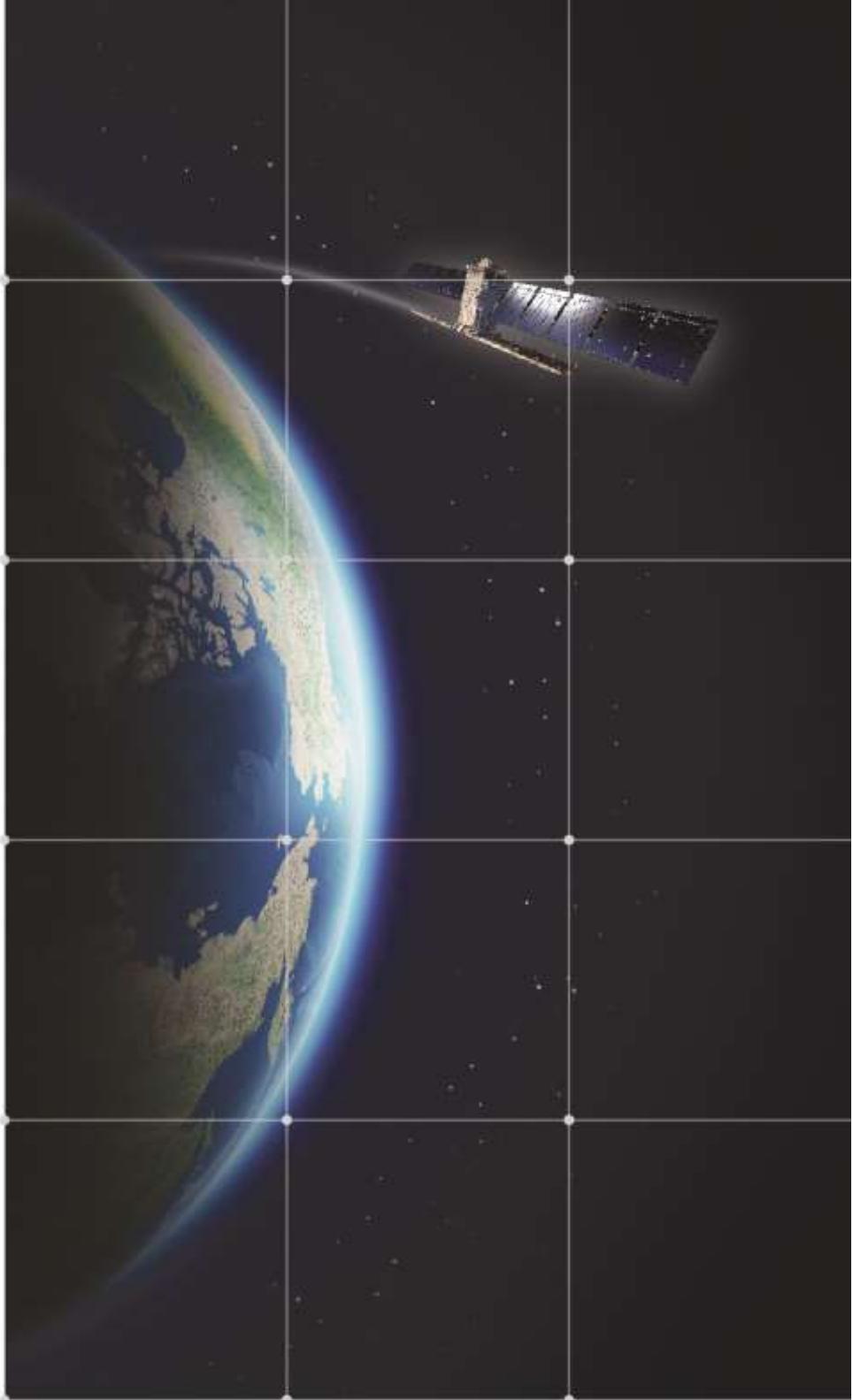
Sovrapposizione temporale per la Scomposizione	30/03/2015-26/10/2017
--	-----------------------

LEGENDA

 Limite giacimento proiettato in superficie



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps
 Sistema di proiezione: WGS84-UTM32N (ESRI: WGS_1984_UTM_Zone_32N)
 © TRE ALTAMIRA 2017



TRE
ALTAMIRA
A CLS Group Company



MILAN

Ripa di Porta Ticinese, 79
20143 Milano - Italy
Tel. +39.02.4343.121
Fax +39.02.4343.1230

tre-altamira.com

BARCELONA

C/ Corsega, 381-387
E-08037 Barcelona Spain
Tel.: +34 93 183 57 50
Fax: +34 93 183 57 59

VANCOUVER

410 - 475 West Georgia Street
Vancouver, BC V6B 4M9 - Canada
Tel. +1.604.331.2512
Fax +1.604.331.2513