

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA

RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO

Relazione specialistica

Analisi di spostamenti superficiali da dati radar satellitari elaborati con tecnica SqueeSAR™

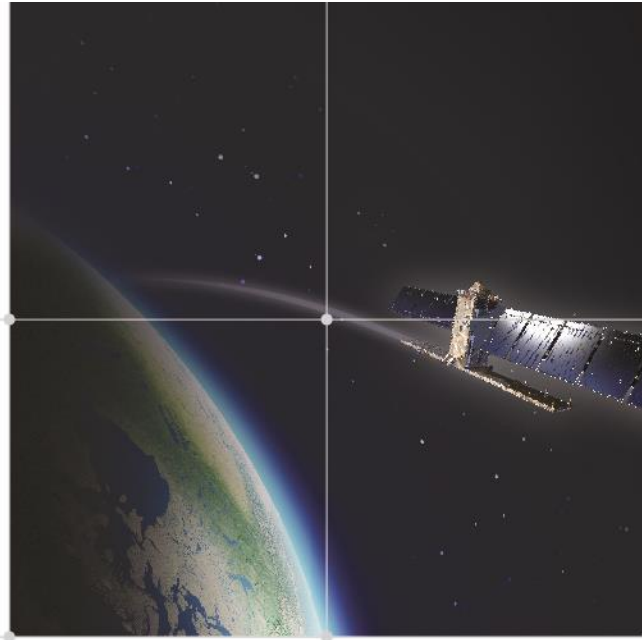
SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

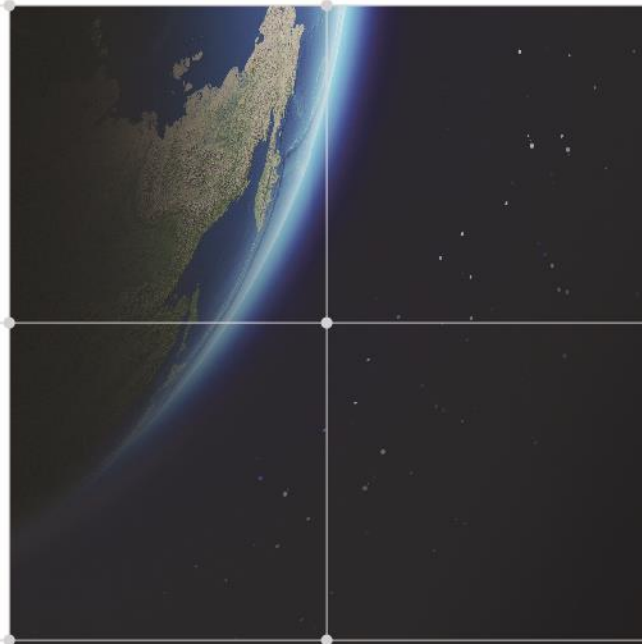
IR0F 00 R 07 RH GN0000 F01 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Uttini <i>A. Uttini</i>	Mar. 2021	G. Quarziesi <i>G. Quarziesi</i>	Mar. 2021	C. Ursuoli <i>C. Ursuoli</i>	Mar. 2021	ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandro Scotti Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19846



# Relazione Tecnica

Analisi SqueeSAR® sulla Tratta Orte-Falconara.



**TRE**  
**ALTAMIRA**  
A CLS Group Company

## Dettagli Progetto

### Cliente

---

**Nome:** Italferr S.p.A.  
**Indirizzo:** Via V.G.Galati, 71  
0155 Roma

### Riferimenti

---

**Nome progetto:** Esecuzione di analisi di dati radar satellitari con tecnica SqueeSAR® per il monitoraggio di spostamenti superficiali nell'area interessata dal Potenziamento infrastrutturale della tratta Orte-Falconara.

**TRE ALTAMIRA Job Order:** JO21-1406

**Numero Contratto Cliente:** Contratto Applicativo Ord. N° 100040408  
A.Q. n° 200001138 del 05.02.2018  
ATTIVAZIONE N° 5  
Commessa: IR13.5T02.A01.E150.G.R01

**Data ordine Cliente:** 20/01/2021

### Preparato da TRE ALTAMIRA

---

**Autori:** Andrea Uttini  
**Verificato da:** Chiara Giannico  
**Approvato da:** Iolanda Iannicella  
**Data:** 29 Marzo 2021  
**Versione:** 2.0

## Sommario esecutivo

Oggetto dello studio è l'analisi con tecnica SqueeSAR® degli spostamenti superficiali che interessano l'area del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica per il raddoppio della linea ferroviaria PM228 – Castelplano, tratta Orte-Falconara.

L'analisi è stata effettuata utilizzando due dataset di immagini SENTINEL-1 acquisite in doppia geometria nel periodo Ottobre 2014 – Febbraio 2021 in riferimento ad una fascia di larghezza pari a 2 km lungo l'asse di progetto della linea con lo scopo di inquadrare lo studio dei movimenti di versante che interessano lo sviluppo dell'opera.

Il dataset di immagini ascendenti conta 312 scene e quello discendente 308, entrambe omogeneamente distribuite nell'arco temporale sopra citato. I risultati ottenuti in singola geometria sono stati combinati per il calcolo della componente verticale ed orizzontale dei moti.

In generale i risultati ottenuti individuano fenomeni di deformazione superficiale di limitata entità sia per estensione areale sia per velocità di deformazione. Vari dissesti riportati nell'inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI), realizzato dall'ISPRA, mostrano deformazioni modeste o nulle fornendo un'informazione quantitativa sul grado di attività dei fenomeni stessi, sebbene svariati settori non siano coperti dal dato interferometrico.

Su richiesta del cliente, è stato dato maggiore risalto ad 11 zone di interesse progettuale per ognuna delle quali è stato fornito il risultato di dettaglio nel corpo della relazione. In generale in tali settori non sono state rilevate deformazioni estese o velocità di movimento particolarmente intense. Le velocità maggiori di deformazione risultano in generale comprese entro i 5-10 mm/anno, sia lungo LOS sia lungo le componenti verticale e Est-Ovest.

## Indice

<b>Sommario esecutivo .....</b>	<b>4</b>
<b>Acronimi e abbreviazioni .....</b>	<b>6</b>
<b>Documenti di riferimento .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Introduzione .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Area di Indagine .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Dati satellitari utilizzati.....</b>	<b>10</b>
<b>4. Analisi effettuate .....</b>	<b>12</b>
<b>5. Risultati .....</b>	<b>14</b>
5.1. Dettaglio 1: Pk 1+300 ÷ Pk 2+700. ....	15
5.2. Dettaglio 2: Pk 4+000 ÷ Pk 6+500. ....	19
5.3. Dettaglio 3: Pk 8+600 ÷ Pk11+000. ....	23
5.4. Dettaglio 4: Pk 11+000 ÷ Pk 14+000. ....	27
<b>6. Dati consegnati .....</b>	<b>31</b>
<b>7. Conclusioni .....</b>	<b>34</b>
<b>Allegati.....</b>	<b>35</b>

## Modifiche al documento

Versione	Data	Sezioni	Descrizione delle modifiche
01.0	25 Marzo 2021	Tutte	Creazione del documento

## Acronimi e abbreviazioni

LOS	Line of Sight – Linea di vista
MP	Measurement Points – Punti di misura
REF	Punto di Riferimento
SAR	Synthetic Aperture Radar – Radar ad apertura sintetica
SNT	Sentinel
TSA	Average Time Series – Serie storica media di spostamento
TS	Time Series – Serie storica di spostamento

## Documenti di riferimento

Data	Titolo
05/02/2018	Contratto Applicativo Ord. N° 100035138 e suoi allegati

## 1. Introduzione

Il presente rapporto ha come oggetto l'elaborazione con tecnica SqueeSAR® di dati radar satellitari acquisiti nell'area interessata dal Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica per il raddoppio della linea ferroviaria PM228 – Castelplanio, tratta Orte-Falconara.

Come previsto dal Contratto Applicativo Ord. N° 100040408, ITALFERR ha richiesto a TRE ALTAMIRA l'analisi di dati radar satellitari allo scopo di inquadrare lo studio dei movimenti di versante che interessano le diverse formazioni geologiche attraversate dalla tratta.

Per questo progetto sono state elaborate immagini a media risoluzione acquisite in doppia geometria nel periodo 2014-2021 dai satelliti SENTINEL-1 (SNT) dell'Agenzia Spaziale Europea. I risultati ottenuti in singola geometria sono stati poi combinati per il calcolo della componente verticale ed orizzontale dei moti.

## 2. Area di Indagine

L'area di indagine comprende una fascia di larghezza pari a 2 km lungo l'asse di progetto tra Fabriano e Castelplanio (Ancona), per un'estensione totale di circa 46 Km<sup>2</sup>.

In particolare, le aree di maggiore interesse segnalate dal Committente sono centrate sul tracciato di progetto come visualizzato in Figura 1 e sono descritte di seguito:

1. Tra progressive 1+300 e 1+400;
2. Tra progressive 2+100 e 2+400;
3. Tra progressive 2+700 e 2+400;
4. Tra progressive 4+200 e 5+500;
5. Tra progressive 6+200 e 6+300;
6. Progressive 8+800;
7. Tra progressive 9+400 e 9+700;
8. Tra progressive 10+400 e 10+700;
9. Tra progressive 11+200 e 11+500;
10. Progressive 12+000;
11. Tra progressive 13+700 e 13+800.



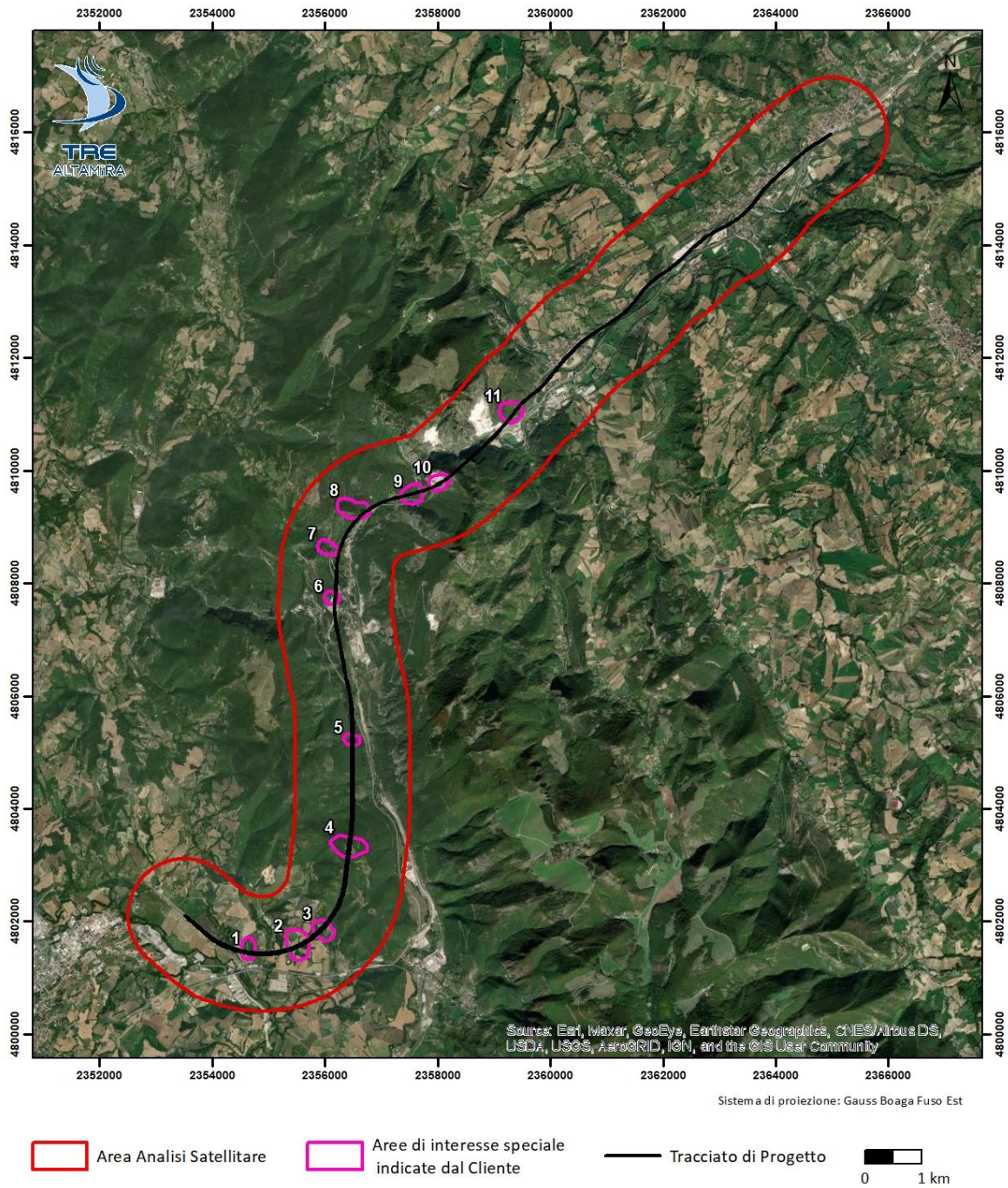


Figura 1: Aree di indagine.

### 3. Dati satellitari utilizzati

Per l'analisi sono stati elaborati due dataset di immagini SNT acquisiti in geometria ascendente e in geometria discendente nel periodo compreso tra Ottobre 2014 e Febbraio 2021 (Tabella 1). La costellazione SENTINEL-1 (SNT) è costituita da due satelliti, SNT-1A (in orbita da Ottobre 2014) e SNT-1B (in orbita da Ottobre 2016), a media risoluzione (5x20m) che operano in banda C ad una lunghezza d'onda di 5.93 cm e con una frequenza di acquisizione che con il lancio di SNT-1B è passata da 12 giorni a 6 giorni.

Tutte le immagini acquisite sono state utilizzate per lo sviluppo dell'analisi, eccetto quelle scartate per ragioni legate al livello di qualità del segnale. La lista dettagliata delle immagini processate si trova nel Rapporto di Elaborazione associato ai risultati.

Satellite	Geometria	Angolo di vista ( $\theta$ )	# Immagini	Periodo di acquisizione
SNT	Track 117 Ascendente	$\sim 43,29^\circ$	312	13/10/2014 – 08/02/2021
SNT	Track 95 Discendente	$\sim 33,29^\circ$	308	12/10/2014 – 19/02/2021

Tabella 1: Immagini elaborate

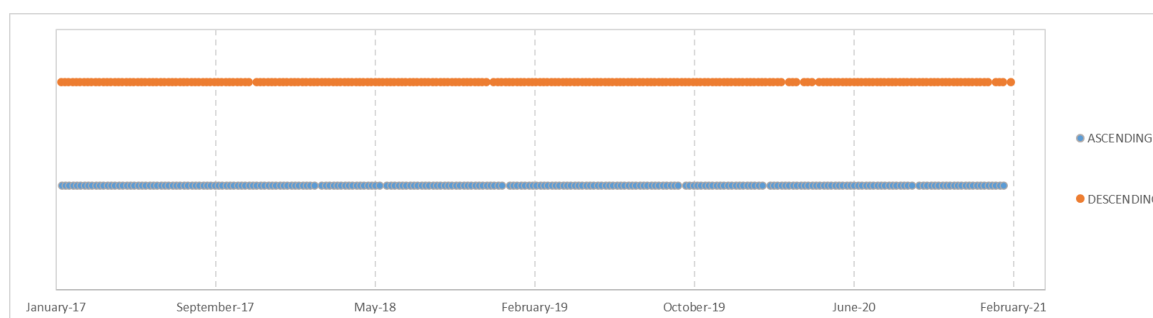


Figura 2: Distribuzione temporale delle immagini elaborate

Si ricorda infine che la geometria di acquisizione è detta discendente quando il satellite acquisisce sull'area muovendosi lungo l'orbita da nord verso sud, ascendente quando il satellite acquisisce sull'area muovendosi lungo l'orbita da sud verso nord. In entrambe le geometrie di acquisizione il satellite acquisisce secondo una linea di vista (LOS- Line of Sight) inclinata verso destra rispetto alla verticale di un angolo  $\theta$  (Figura 3).

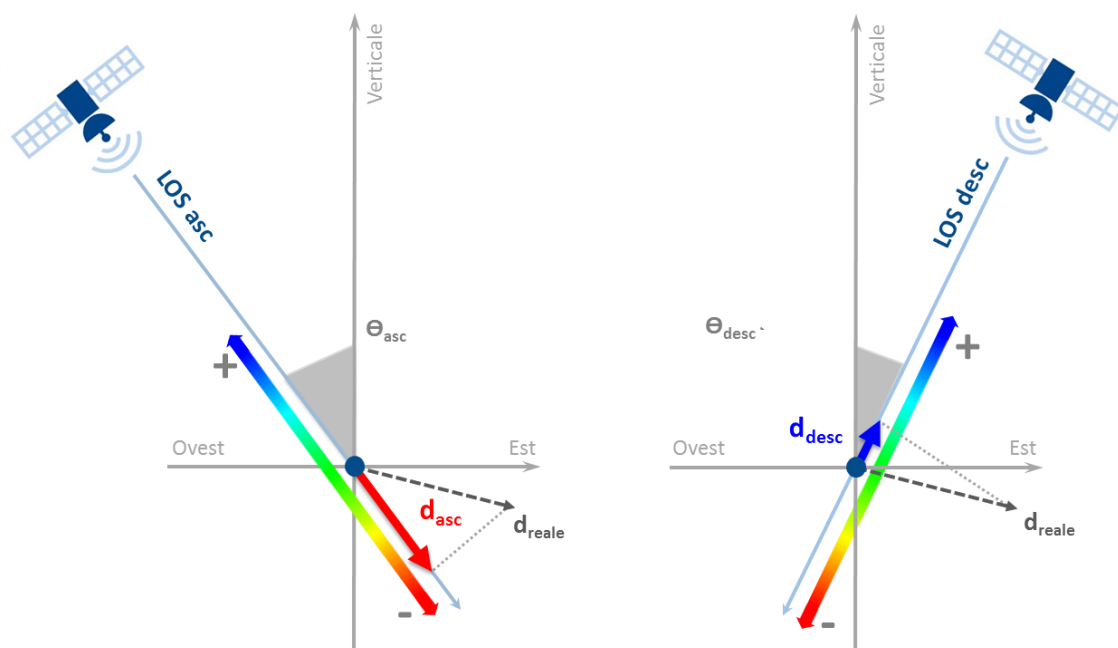


Figura 3: Geometrie di acquisizione del satellite SNT utilizzato per l'analisi. Il satellite acquisisce in geometria ascendente con un angolo di vista di circa  $43^\circ$ , in geometria discendente con un angolo di vista di circa  $33^\circ$ . Di ogni movimento reale ( $d_{reale}$ ) è misurata la sola componente lungo la linea di vista (LOS) del satellite. Si noti che nel caso del movimento reale ipotizzato in figura, le due componenti lungo LOS risultano avere modulo e segno diverso (la componente  $d_{asc}$  è negativa, mentre la componente  $d_{desc}$  è positiva).

## 4. Analisi effettuate

Il presente progetto ha previsto:

- L'analisi con tecnica SqueeSAR® dei due dataset SNT acquisiti
- La combinazione dei risultati ottenuti nelle due diverse geometrie di acquisizione per il calcolo della componente verticale e orizzontale E-O dei movimenti.

L'analisi SqueeSAR® è la più avanzata tra le tecniche interferometriche per il monitoraggio da remoto e ad alta precisione di fenomeni di deformazione della superficie terrestre. Non richiede la materializzazione di punti di misura al suolo poiché l'analisi delle deformazioni superficiali si ottiene mediante la stima degli spostamenti di bersagli radar già presenti al suolo e visibili da satellite, sia puntiformi (*Permanent Scatterers – PS*), sia spazialmente distribuiti (*Distributed Scatterers – DS*). I bersagli puntiformi corrispondono generalmente a parti di edifici, strutture antropiche e rocce esposte. I bersagli distribuiti corrispondono invece a porzioni di terreno poco vegetate dove la risposta radar risulta omogenea seppur ridotta rispetto ai bersagli puntiformi.

La densità dei punti di misura forniti dall'analisi dipende non solo dalla risoluzione del satellite e dal dataset analizzato (numero immagini e periodo coperto) ma anche dalle caratteristiche del terreno. In genere, la densità aumenta con l'aumento della risoluzione del satellite e con la diminuzione della copertura vegetale.

Per ogni punto di misura identificato a terra, SqueeSAR® restituisce la sua localizzazione, la velocità media e le serie storiche di spostamento. Le misure di spostamento ottenute in singola geometria di acquisizione sono monodimensionali e rilevate lungo la linea di vista del sensore (LOS), rappresentano quindi la proiezione del movimento reale lungo tale LOS. Le linee di vista dei satelliti utilizzati nel presente progetto sono riportate in Figura 3. Uno stesso fenomeno, visto da linee di vista diverse, può fornire misure di spostamento differenti.

Come per ogni altra rete geodetica, le misure SqueeSAR® sono di tipo differenziale, riferite ad un punto a terra selezionato come riferimento (REF). Il punto di riferimento viene selezionato in fase di elaborazione su base statistica, tale da avere un'alta "qualità radiometrica" (alta coerenza di fase) ed ottimizzare la precisione delle misure sull'intera area analizzata. La selezione del REF è quindi dataset dipendente. L'esatta localizzazione dei REF selezionati è riportata negli specifici Rapporti di Elaborazione associati ai dati vettoriali.

La qualità delle misure fornite dalle analisi SqueeSAR® dipende principalmente dal dataset analizzato (numero immagini, periodo analizzato e continuità delle acquisizioni). In generale, tante

più immagini vengono elaborate e tanto più lungo è il periodo monitorato, tanto più alta è la qualità delle misure ottenute. I valori di riferimento sono riportati in Tabella 2 e Tabella 3.

I risultati ottenuti dalle due elaborazioni ascendente e discendente sono stati poi combinati per il calcolo delle componenti verticale ed orizzontale dei movimenti.

Data la naturale diversa localizzazione dei bersagli radar osservabili da due diverse LOS, per poter combinare le misure ottenute è necessario ri-campionare i dati in singola geometria su una griglia spaziale comune, con conseguente perdita di risoluzione spaziale. Le misure fornite dalla combinazione dei dati sono quindi da riferire non a specifici bersagli radar a terra ma a ‘pseudo-bersagli’ posizionati al centro della cella di scomposizione.

Per questo sito è stata utilizzata una griglia di campionamento spaziale di 50x50m. Le misure lungo LOS fornite dai punti di misura localizzati dentro la stessa cella sono state mediate e poi combinate per il calcolo della componente verticale ed est-ovest. Informazioni sulle due componenti del moto sono quindi fornite per le sole celle contenenti punti di misura di entrambe le elaborazioni.

L’analisi dei risultati ottenuti dalla scomposizione non può prescindere dall’analisi dei dati di origine. In particolare, la valutazione dei fenomeni e della loro distribuzione areale deve tener conto della dimensione della cella di scomposizione così come della distribuzione e qualità radiometrica dei punti di misura delle elaborazioni originali. Anche per i dati scomposti è fornito comunque un valore di deviazione standard delle misure ottenute.

Si ricorda infine che eventuali moti orizzontali in direzione nord-sud non sono misurabili con questa tecnica. I satelliti SAR compiono infatti orbite lungo la direzione N-S e risultano quindi poco sensibili a movimenti lungo tale direzione.

Spostamento lungo LOS	Velocità media	Singola misura
Precisione ( $1\sigma$ )	<1 mm/anno	< 5 mm

Tabella 2: Valori nominali per un dataset di 30 acquisizioni regolari su un periodo di 2 anni e REF distante meno di 1 Km

Precisione localizzazione ( $1\sigma$ )	Est	Nord	Quota
SNT	$\pm 12$ m	$\pm 8$ m	$\pm 8$ m

Tabella 3: Valori nominali per un dataset di 30 acquisizioni regolari e punto di riferimento distante meno di 1 Km

Per eventuali approfondimenti si rimanda al manuale tecnico (“TRE ALTAMIRA Handbook”) già fornito al Committente.

## 5. Risultati

L'elaborazione ascendente ha consentito di individuare oltre 10.500 punti di misura, quella discendente circa 10.800. Come atteso la densità dei punti risulta maggiore su infrastrutture, centri abitati e versanti con rocce esposte mentre è minore nelle aree agricole e vegetate.

I risultati ottenuti dalle analisi SqueeSAR® sono mostrati nelle mappe in allegato TAVOLA 1 e TAVOLA 2 rispettivamente lungo l'orbita ascendente e discendente. I punti di misura sono visualizzati per velocità media annua nel periodo di riferimento del dataset elaborato. La convenzione segno e colore delle misure di spostamento è indicata in Figura 3.

I valori di deviazione standard della velocità media sono inferiori a 0,4 mm/anno il che evidenzia l'alta qualità delle misure ottenute.

I risultati della combinazione dei dati in singola geometria sono mostrati nelle mappe in allegato TAVOLA 3 e TAVOLA 4, rispettivamente per la componente verticale ed est-ovest, relativi al periodo di sovrapposizione tra i due dataset (Ottobre 2014 – Febbraio 2021). Per convenzione, valori positivi nella componente est-ovest indicano movimenti verso est, negativi verso ovest.

Le misure di spostamento sono riferite al punto di riferimento (REF) scelto in fase di elaborazione. Le coordinate esatte dei REF sono riportate nel Rapporto di Elaborazione allegato ai dati.

In generale i risultati hanno evidenziato vari elementi di interesse, sia nelle aree di maggiore attenzione indicate dal cliente, sia lungo tutto l'asse del tracciato ferroviario in progetto. Nei paragrafi successivi sono presentati in dettaglio i risultati per le seguenti aree di interesse:

- Dettaglio 1: Pk 1+300 ÷ Pk 2+700; aree di interesse 1, 2 e 3.
- Dettaglio 2: Pk 4+000 ÷ Pk 6+500; aree di interesse 4 e 5.
- Dettaglio 3: Pk 8+600 ÷ Pk 11+000; aree di interesse 6, 7 e 8.
- Dettaglio 4: Pk 11+000 ÷ Pk 14+000; aree di interesse 9, 10 e 11.

Con il fine di identificare i settori interessati da potenziali fenomeni di instabilità, alle mappe prodotte nei seguenti paragrafi, è stato inserito sullo sfondo l'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI), realizzato dall'ISPRA.

Altresì, per la presentazione dei risultati nelle aree di Dettaglio 1,2 e 3, è stato scelto di utilizzare i dati ottenuti dalle elaborazioni ascendenti e discendenti, piuttosto dei dati scomposti; questa scelta è stata dettata dal fatto che i dati in singola geometria presentano densità di copertura maggiore e risultano maggiormente informativi nelle aree sopraccitate.

### **5.1. Dettaglio 1: Pk 1+300 ÷ Pk 2+700.**

La Figura 4 mostra la componente ascendente e discendente del moto dell'area di Dettaglio 1 ubicata in corrispondenza della porzione iniziale del tracciato, approssimativamente fino alla PK 3+600. La Figura 5 e la Figura 6 mostrano cinque serie storiche di deformazione media (TSA) dei punti inclusi nelle aree evidenziate in Figura 4. Il nome assegnato ad ogni TSA è formato dal primo numero relativo alla zona di interesse, seguito da una lettera identificativa progressiva, a sua volta seguita dalla lettera A o D ad indicare l'orbita ascendente o discendente.

In corrispondenza della zona di interesse 1,2 e 3 l'inventario IFFI segnala la presenza di fenomeni di colamento lento. Data la diffusa presenza di campi coltivati lungo l'orbita sia ascendente sia discendente, la presenza di punti di misura è minima nelle zone indicate in frana dall'IFFI, quindi non è possibile valutarne lo stato di attività. Tuttavia, attorno alle poche infrastrutture presenti, casolari e strade che per lo più costeggiano le zone in frana, le TSA mostrano andamenti attorno alla stabilità (TSA: 1AA, 2AA, 3AA, 1AD, 3AD; Figura 5 e Figura 6). Tuttavia, localmente (TSA: 1BA, 2BA, 1BD, 2AD; Figura 5 e Figura 6), si osservano punti di misura in movimento con velocità di deformazione comprese entro 1cm/anno lungo LOS.

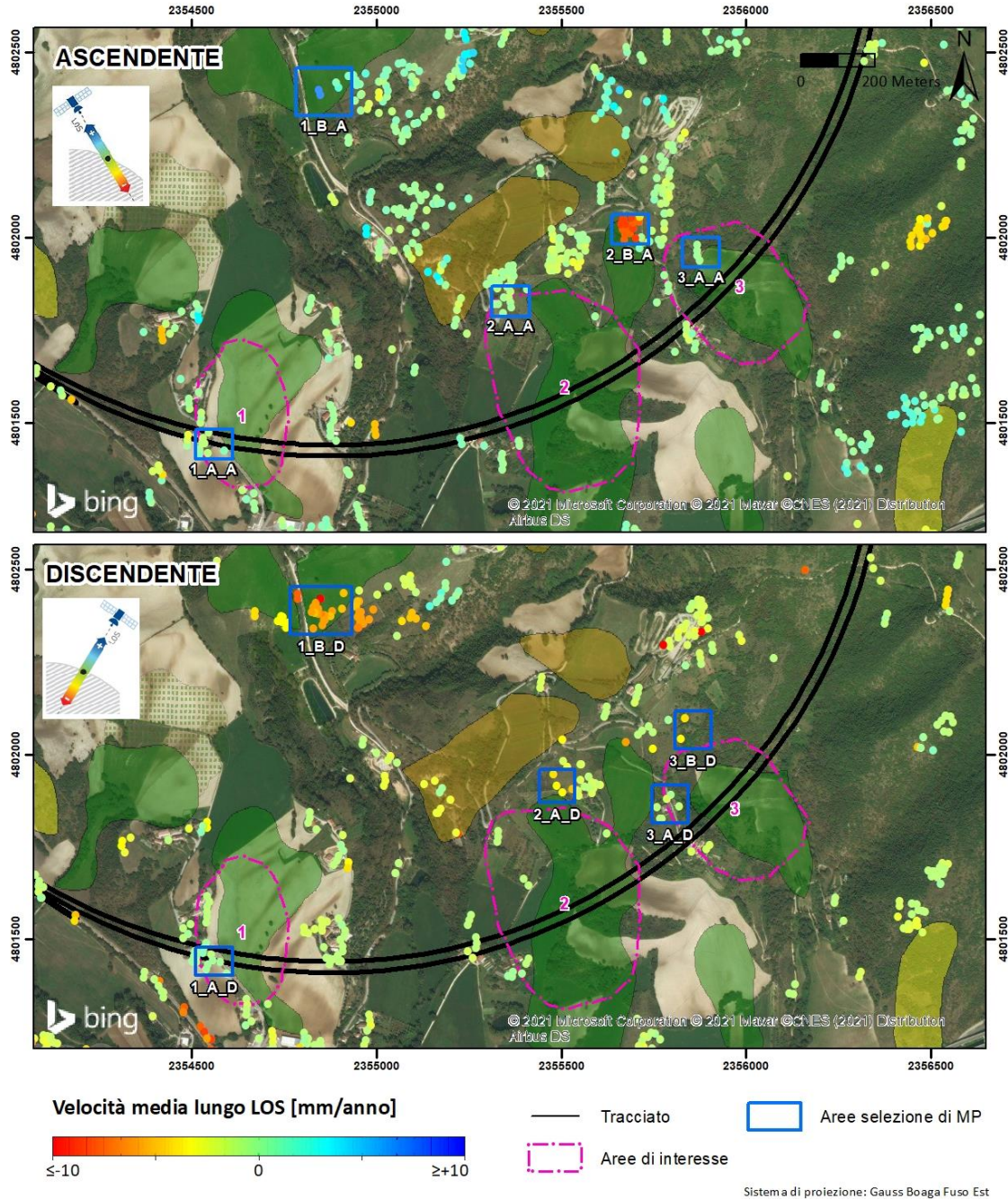


Figura 4: Dettaglio 1 confronto della componente di spostamento ascendente e discendente. Le serie storiche di spostamento dei punti evidenziati sono mostrate in Figura 5 e Figura 6. La figura riporta, poligoni verdi, gialli e arancioni che rispettivamente indicano fenomeni franosi di colamento, scivolamento e complessi, come riportati dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), realizzato dall'ISPRA.



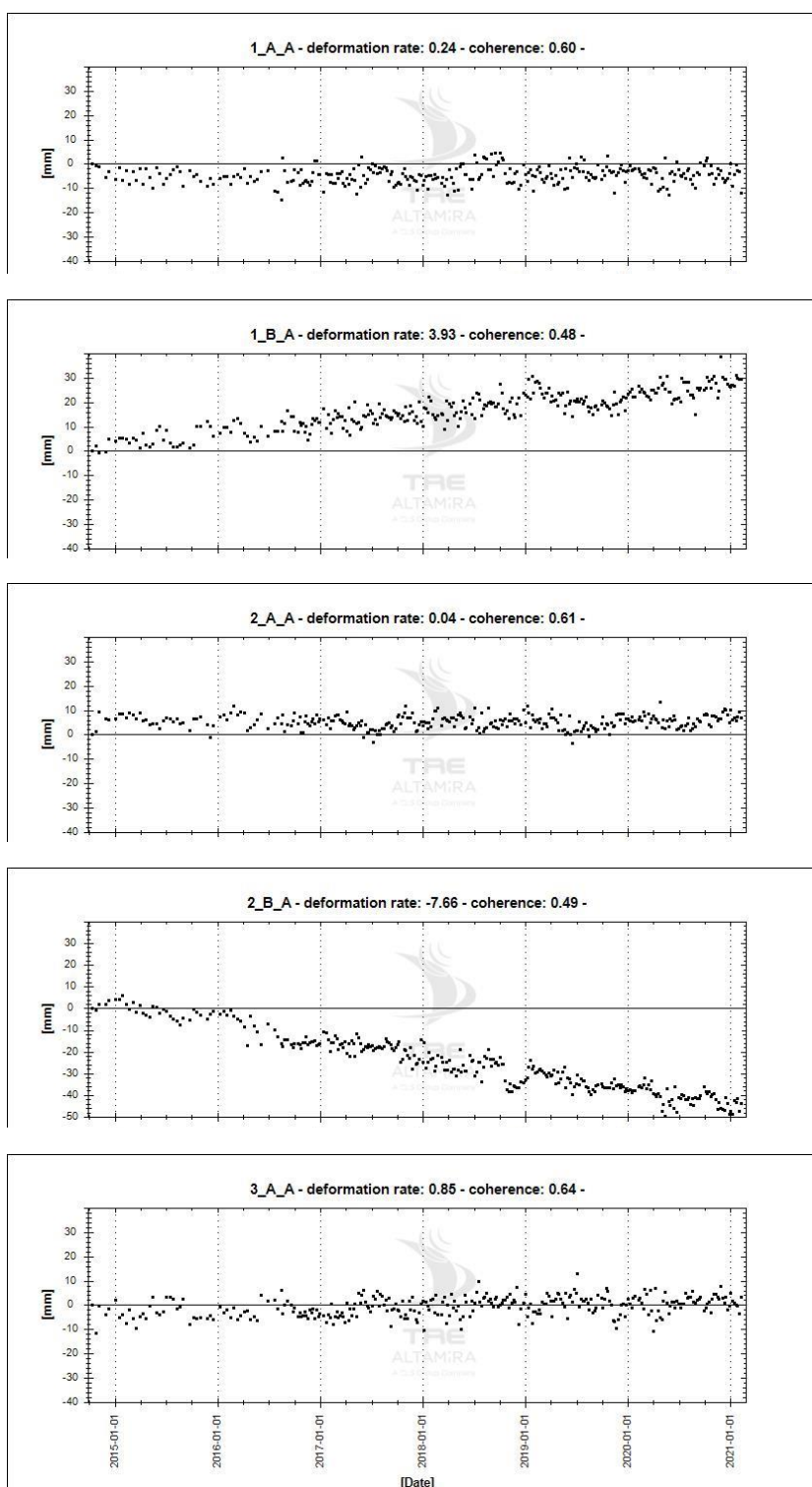


Figura 5: Serie storiche medie di spostamento lungo la componente ascendente dei punti evidenziati in Figura 4.

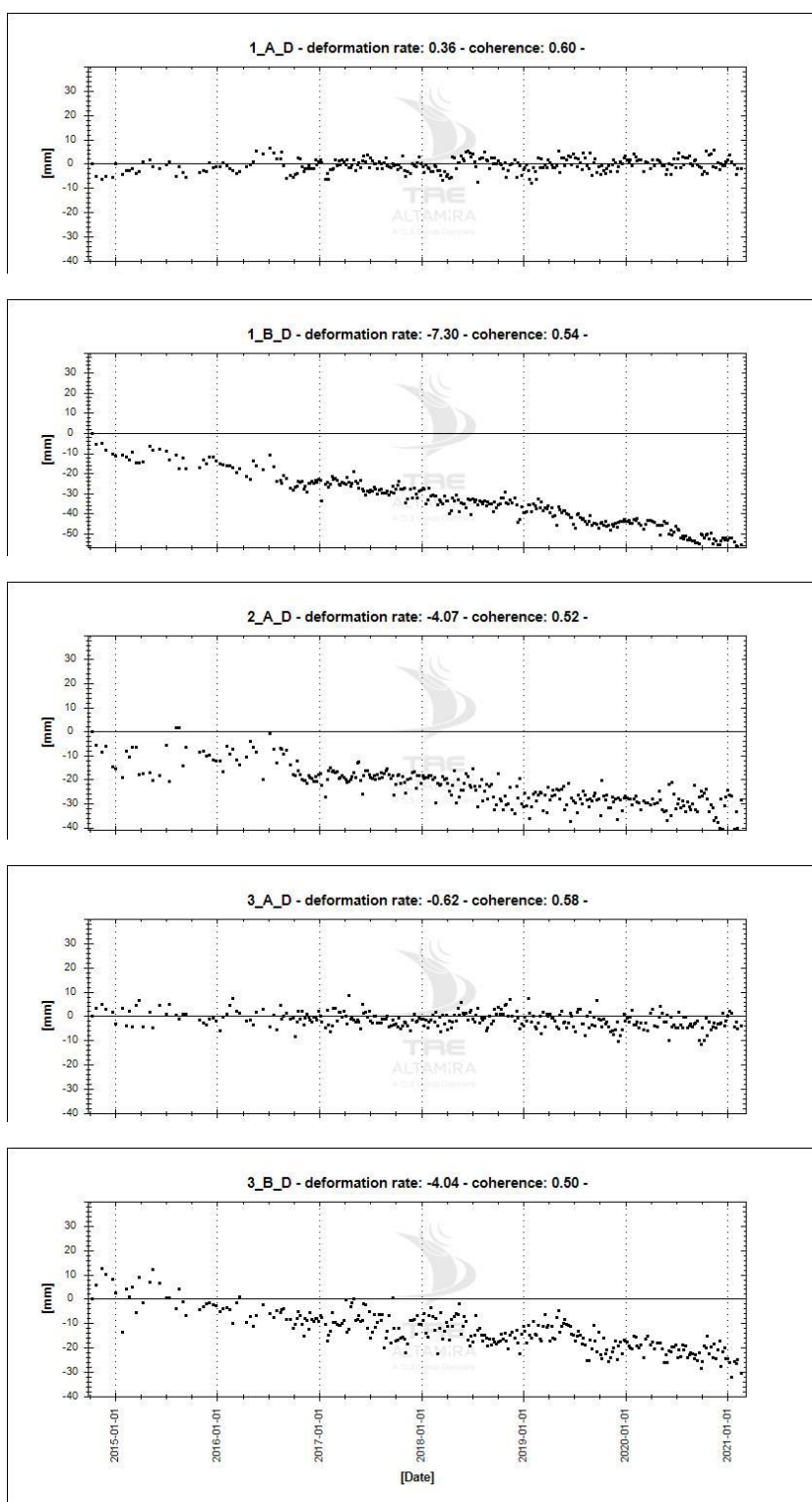


Figura 6: Serie storiche medie di spostamento lungo la componente discendente dei punti evidenziati in Figura 4.

## 5.2. Dettaglio 2: Pk 4+000 ÷ Pk 6+500.

Il dettaglio 2 si concentra tra le PK 4+000 e PK 6+500, dove sono localizzate le zone di interesse n° 4 e n° 5, come segnalato dal Committente. La Figura 7 mostra i risultati SqueeSAR® lungo la componente ascendente e discendente di vari siti dell'area.

In generale i punti di misura individuati nei settori di interesse non mostrano deformazioni superficiali in atto (TSA: 4AA, 5AA, 4AD; Figura 8 e Figura 9), a parte una blanda deformazione individuata nel dato discendente nel settore 5AA, dove tuttavia nessun riflettore supera la velocità di movimento di 5 mm/anno.

Lungo l'intero versante, tra la PK 4+000 e PK 5+500, l'inventario IFFI cartografa svariati scivolamenti rotazionali e/o traslativi. Anche in questo caso i riflettori presenti, prevalentemente sulla strada in costa che taglia l'intero versante, non mostrano TS con movimenti significativi. E' doveroso comunque evidenziare che la densità di punti di misura sul versante è minima.

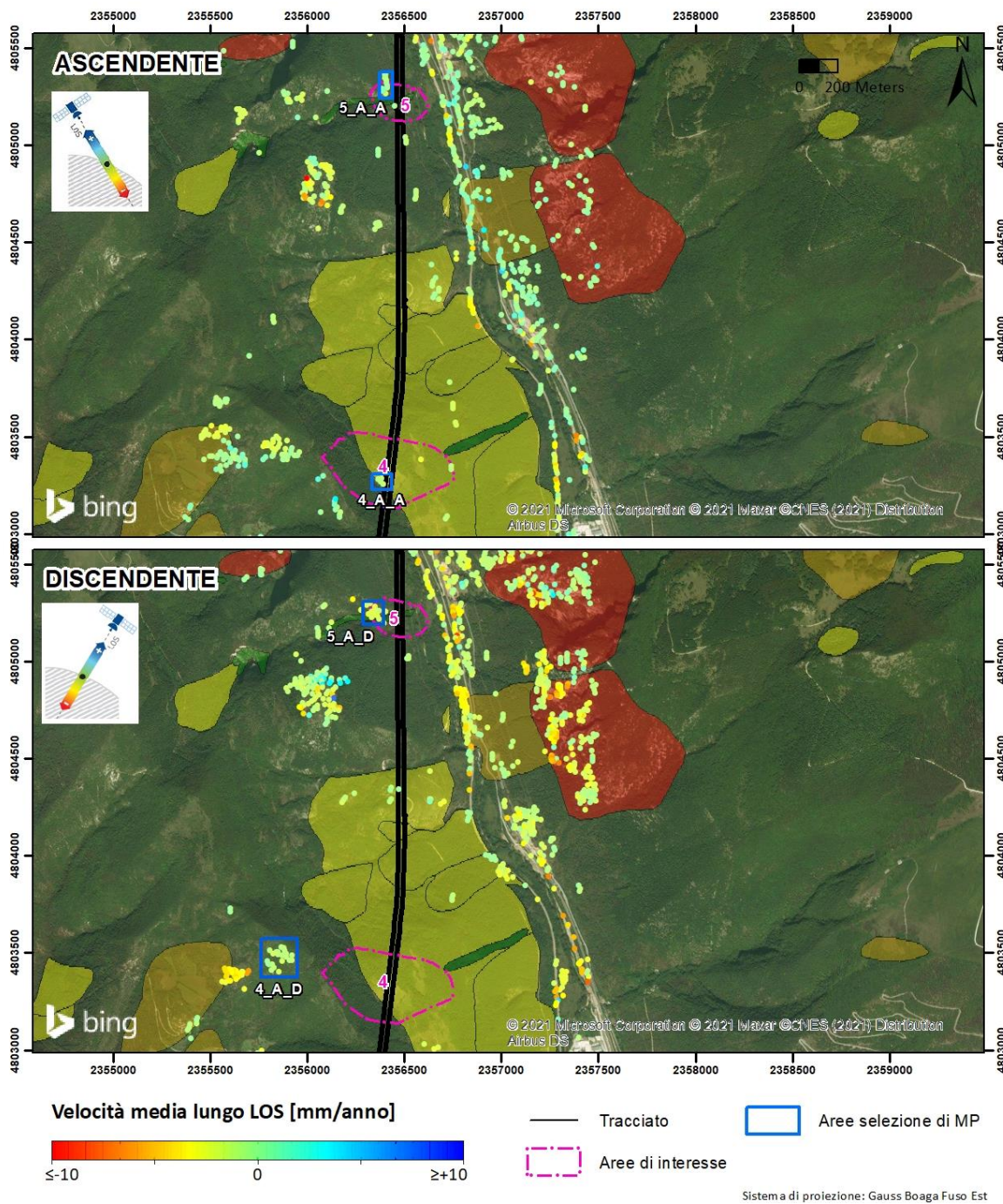


Figura 7: Dettaglio 2 confronto della componente di spostamento ascendente e discendente. Le serie storiche di spostamento dei punti evidenziati sono mostrate in Figura 8 e Figura 9. La figura riporta, poligoni verdi, gialli e arancioni che rispettivamente indicano fenomeni franosi di colamento, scivolamento e complessi come riportati dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), realizzato dall'ISPRA.

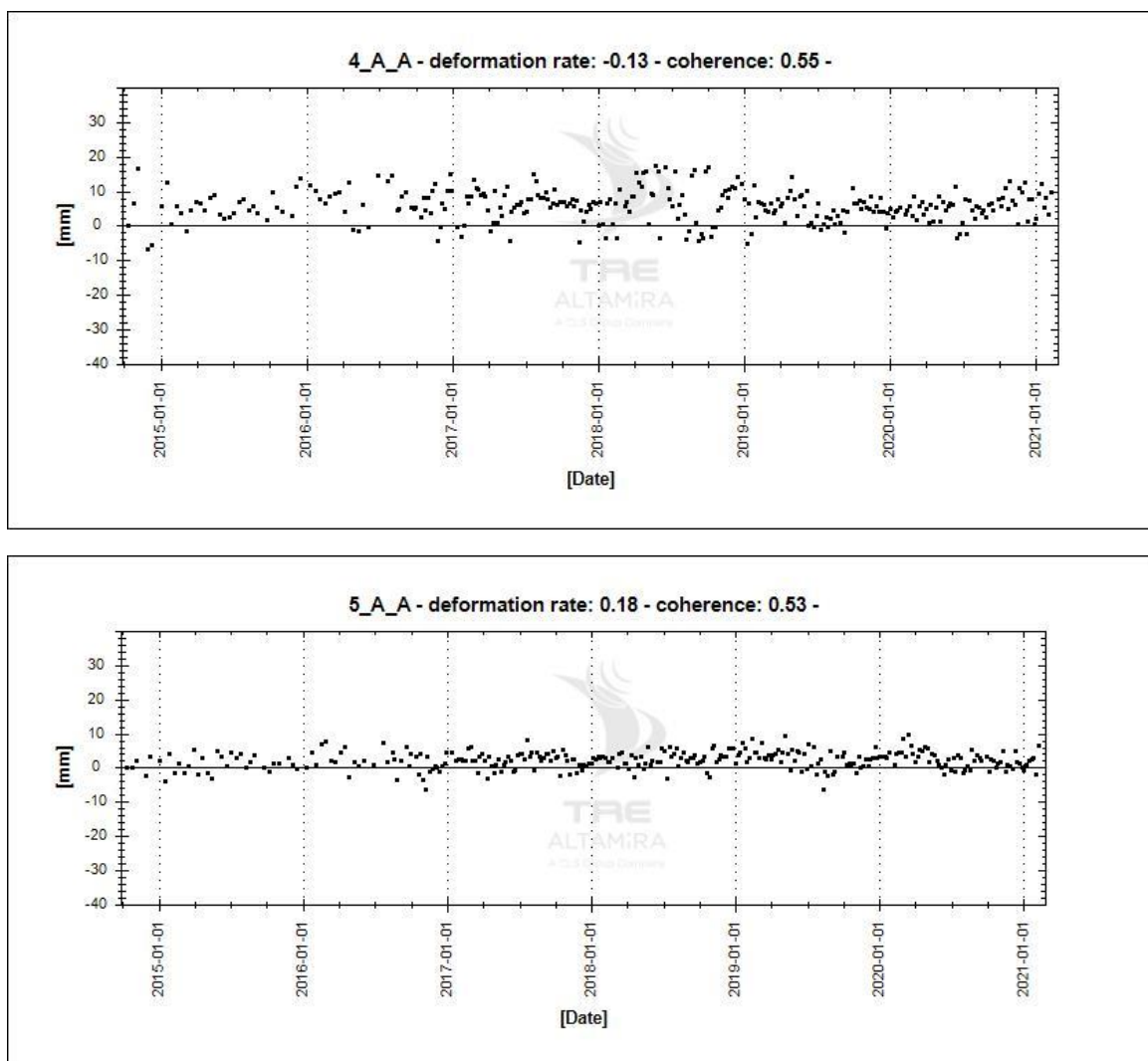


Figura 8: Serie storiche medie di spostamento lungo la componente ascendente dei punti evidenziati in Figura 7.

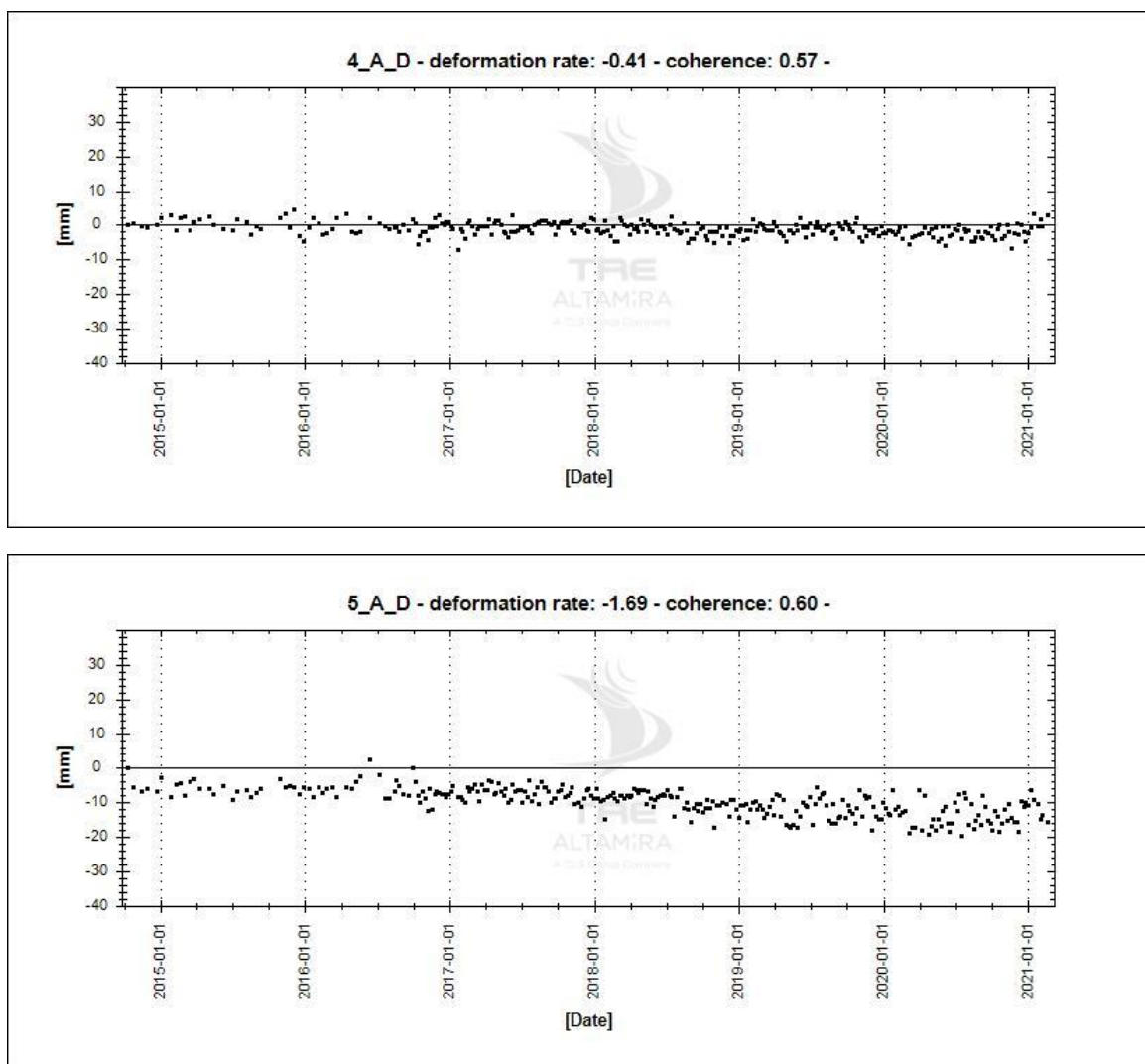


Figura 9: Serie storiche medie di spostamento lungo la componente discendente dei punti evidenziati in Figura 7.

### **5.3. Dettaglio 3: Pk 8+600 ÷ Pk11+000.**

Il dettaglio 3 si concentra sulle aree di interesse 6,7 e 8 tra le PK 8+600 e 11+000. La Figura 10 mostra la componente ascendente e discendente del moto dell'area. La Figura 11 e la Figura 12 mostrano quattro serie storiche di deformazione rappresentative dei siti analizzati.

In corrispondenza dell'area n°6 è previsto l'imbocco in galleria in corrispondenza di un versante con aspetti morfologici da attenzionare secondo quanto segnalato da Italferr. Il versante è esposto in maniera sfavorevole rispetto all'orbita del satellite e pertanto non sono stati individuati numerosi riflettori in corrispondenza della parete del portale, tuttavia i punti più prossimi, rilevati nella porzione più elevata del versante dall'orbita ascendente, non mostrano particolari fenomeni deformativi (TSA 6AA, Figura 11). Al contrario, altri punti, individuati dalla geometria discendente nell'impluvio a circa 150 m ad ovest del portale, mostrano a partire dal 2016 una blanda deformazione attorno ai 5 mm/anno (TSA 6AA, Figura 12).

In corrispondenza delle aree n°7 e n°8 il tracciato passa in due vallecole i cui versanti sono caratterizzati da vari fenomeni di instabilità come indicato dall'IFFI, la densità dei punti di misura in questo settore è elevata. In generale non si registrano movimenti superficiali diffusi, bensì l'area è caratterizzata da lievi movimenti circoscritti. In particolare, in Figura 10 sono evidenziati quattro settori in prossimità del tracciato che mostrano tassi di deformazione distinti, comunque sempre compresi entro 1 cm/anno lungo LOS (TSA: 7AA, 7AD, 8AA, 8AD, 8BA, 8BD).

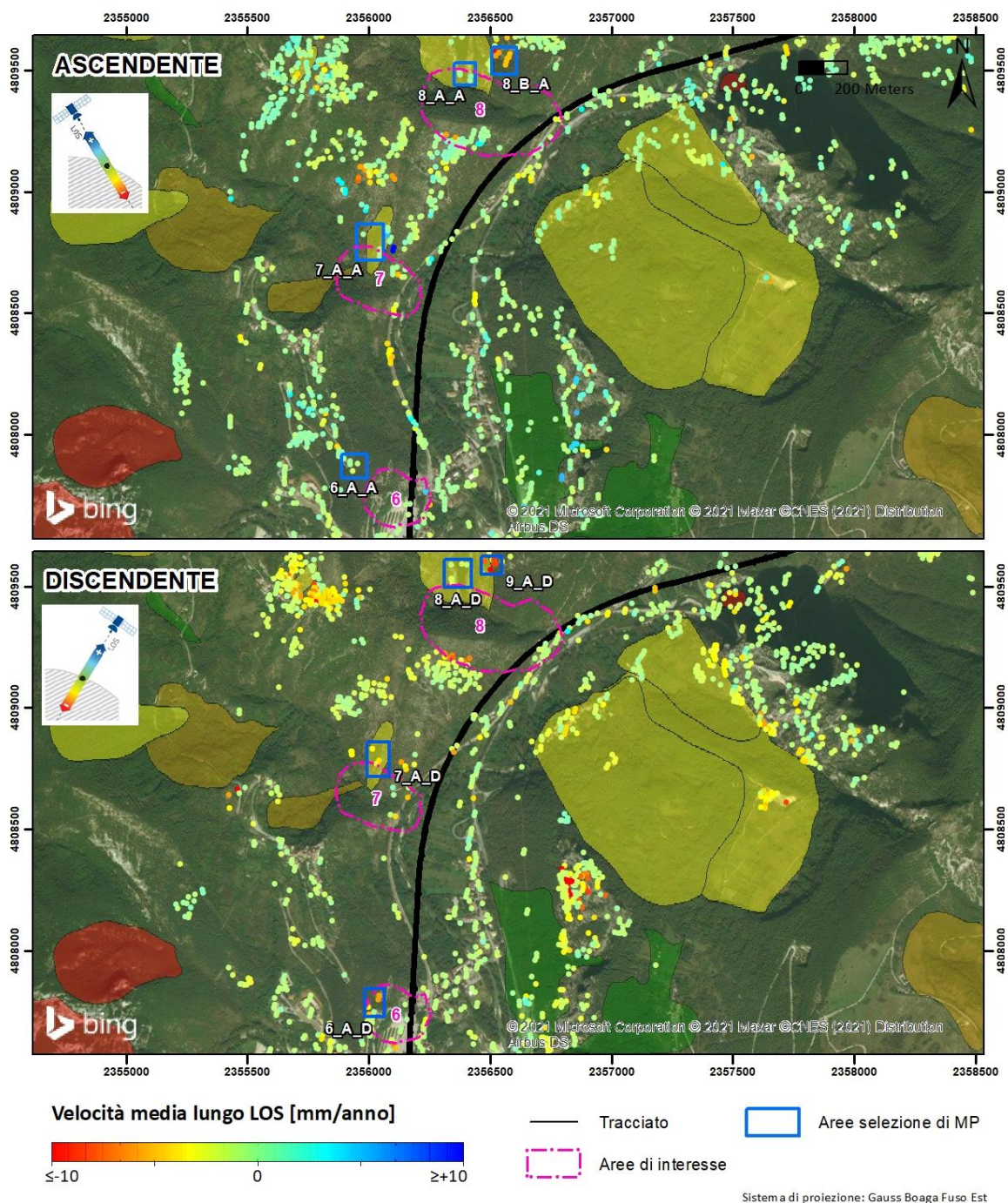


Figura 10: Dettaglio 3 confronto della componente di spostamento ascendente e discendente. Le serie storiche di spostamento dei punti evidenziati sono mostrate in Figura 11 e Figura 12. La figura riporta, poligoni verdi, gialli e arancioni che rispettivamente indicano fenomeni franosi di colamento, scivolamento e complessi come riportati dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), realizzato dall'ISPRA.



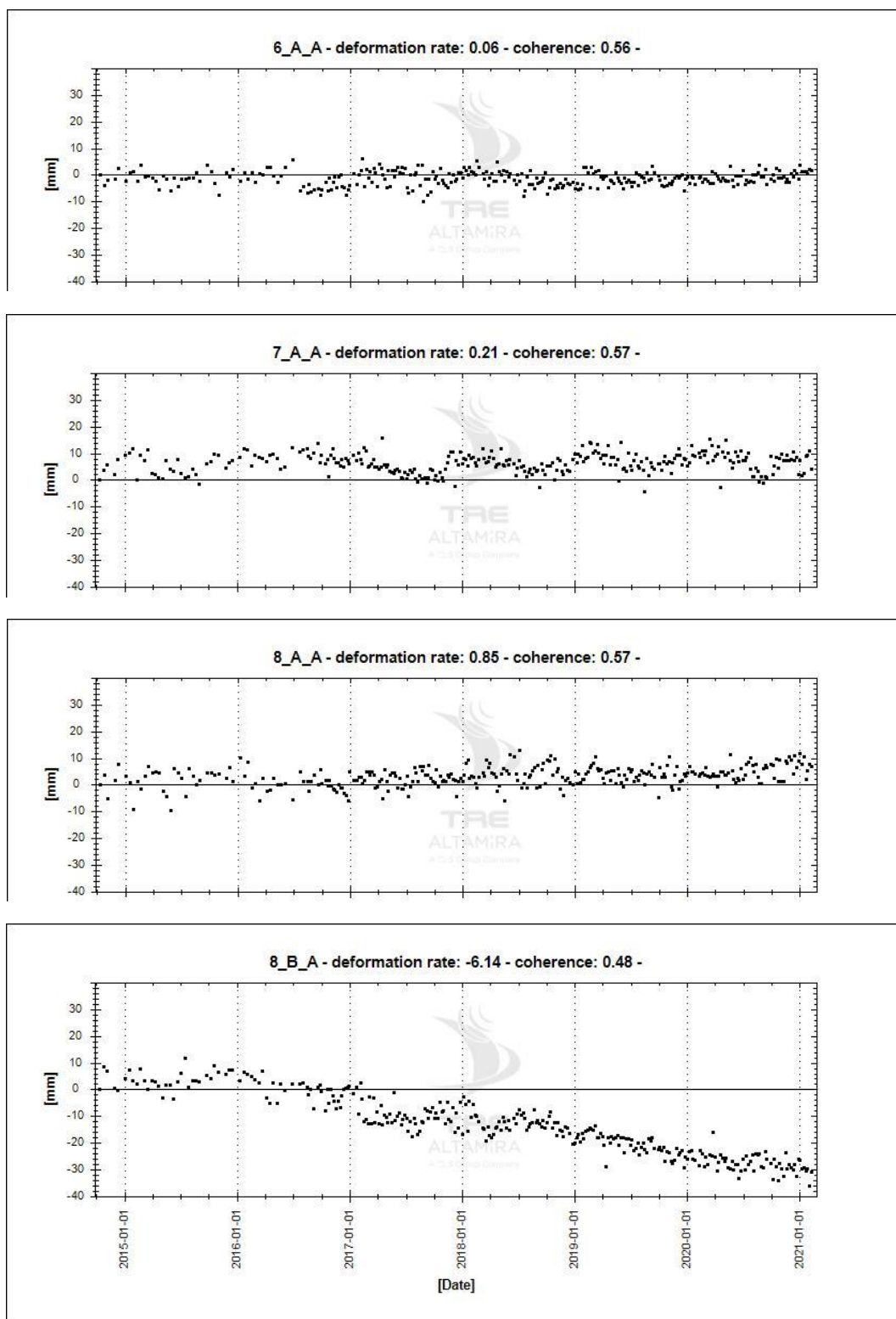


Figura 11: Serie storiche medie di spostamento lungo la componente ascendente dei punti evidenziati in Figura 10.

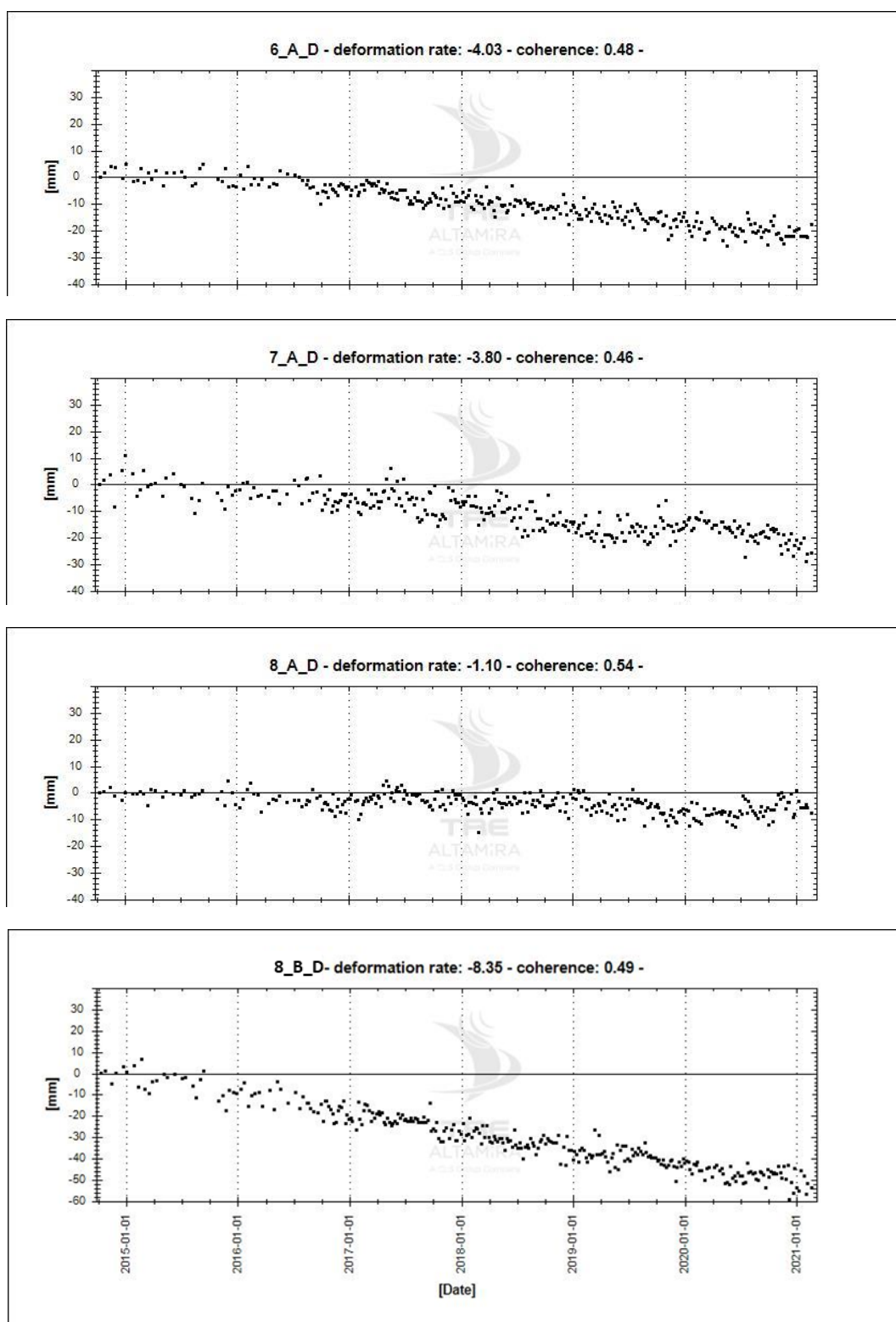


Figura 12: Serie storiche medie di spostamento lungo la componente discendente dei punti evidenziati in Figura 10.

#### **5.4. Dettaglio 4: Pk 11+000 ÷ Pk 14+000.**

Il dettaglio 4 si concentra sulle aree di interesse n° 9-11 tra le PK 11+000 e 14+000. In questa zona sia il dato ascendente che quello discendente ha individuato numerosi punti di misura il che ha permesso di ottenere una buona distribuzione del dato scomposto. La componente verticale ed orizzontale della velocità è stata quindi utilizzata per commentare il dato in questo settore (Figura 13).

In corrispondenza dell'area n°9 il tracciato attraversa un rilievo in galleria. Sul versante dell'imbocco orientale la copertura vegetale non ha permesso l'individuazione di punti di misura, mentre sul versante occidentale si osserva stabilità sia lungo la componente verticale, sia lungo quella orizzontale Est-Ovest, come mostrato dalle TSA della zona 9A2D di Figura 14 e Figura 15.

In corrispondenza dell'area n°10 è previsto un imbocco in un versante occupato da una cava a cielo aperto. Nella porzione centrale del settore di cava si osservano deformazioni molto blande comprese entro i 5 mm/anno sia in abbassamento sia orizzontalmente verso ovest, come mostrato dalle TSA della zona 10A2D di Figura 14 e Figura 15. Nella porzione più elevata dello stesso versante la TSA della zona 10B2D mostra stabilità sia lungo la componente verticale Figura 14, sia lungo quella orizzontale Est-Ovest Figura 15.

Tra la 13+300 e 14+200 (area n° 11), l'inventario IFFI segnala due fenomeni di instabilità, il primo interessato da crolli e ribaltamenti il secondo da un ampio fenomeno franoso complesso. L'unico pseudo-bersaglio 2D che cade all'interno del primo settore mostra velocità di deformazione attorno allo zero (TSA 11A2D Figura 14 e Figura 15). Tuttavia, analizzando anche il dato lungo LOS, si osserva che lungo l'orbita ascendente sono presenti vari MP alla sommità del settore in deformazione che mostrano velocità di deformazione fino a 7 mm/anno. Anche nel secondo settore segnalato nell'IFFI è presente un solo pseudo-bersaglio 2D il quale mostra velocità di deformazione attorno a -5 mm/anno sia verso il basso, sia verso est (TSA 11B2D Figura 14 e Figura 15).

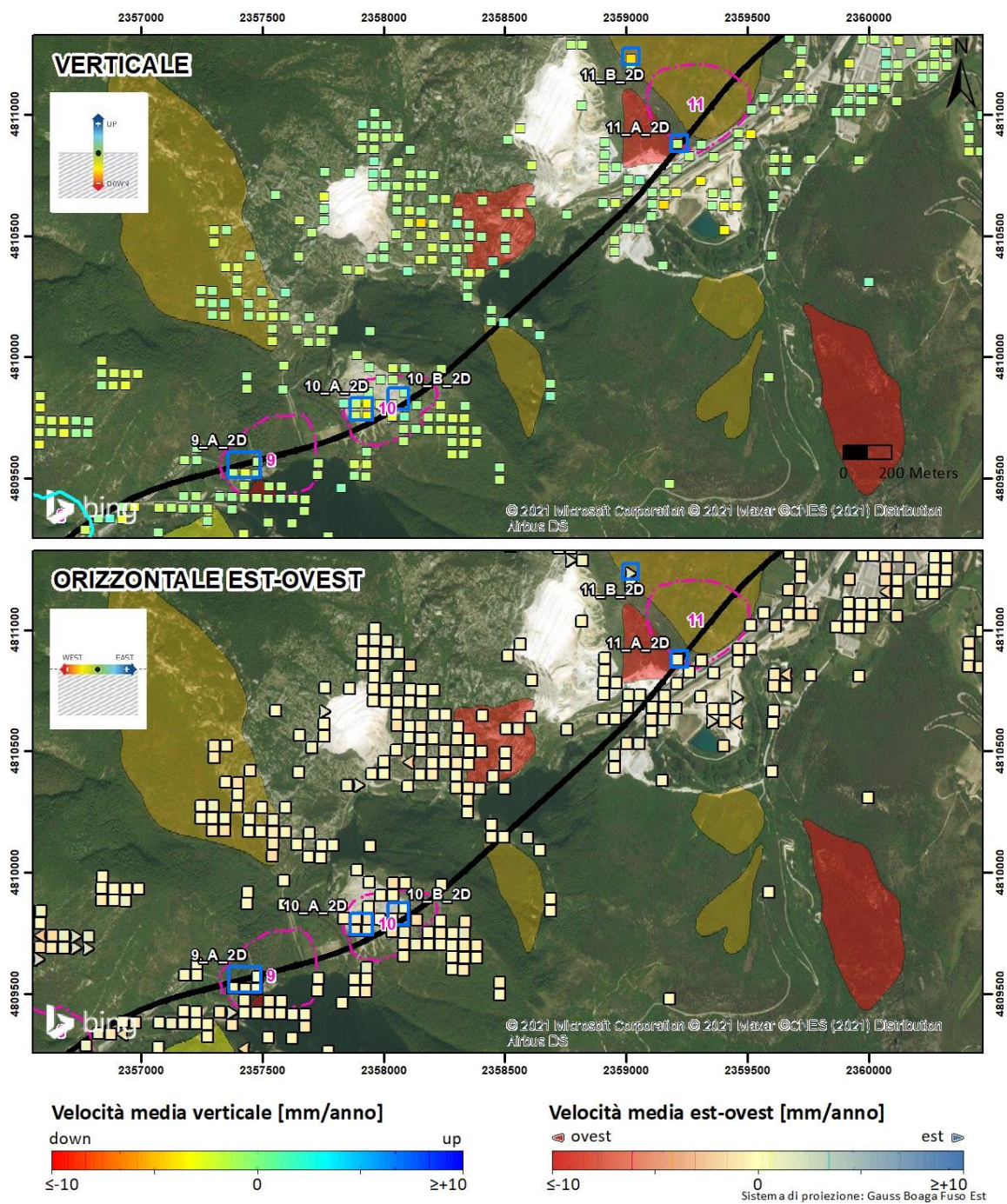


Figura 13: Dettaglio 4 confronto della componente di spostamento verticale ed orizzontale (est-ovest). Le serie storiche di spostamento dei punti evidenziati sono mostrate in Figura 14 e Figura 15. La figura riporta, poligoni verdi, gialli e arancioni che rispettivamente indicano fenomeni franosi di colamento, scivolamento e complessi come riportati dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), realizzato dall'ISPRA.

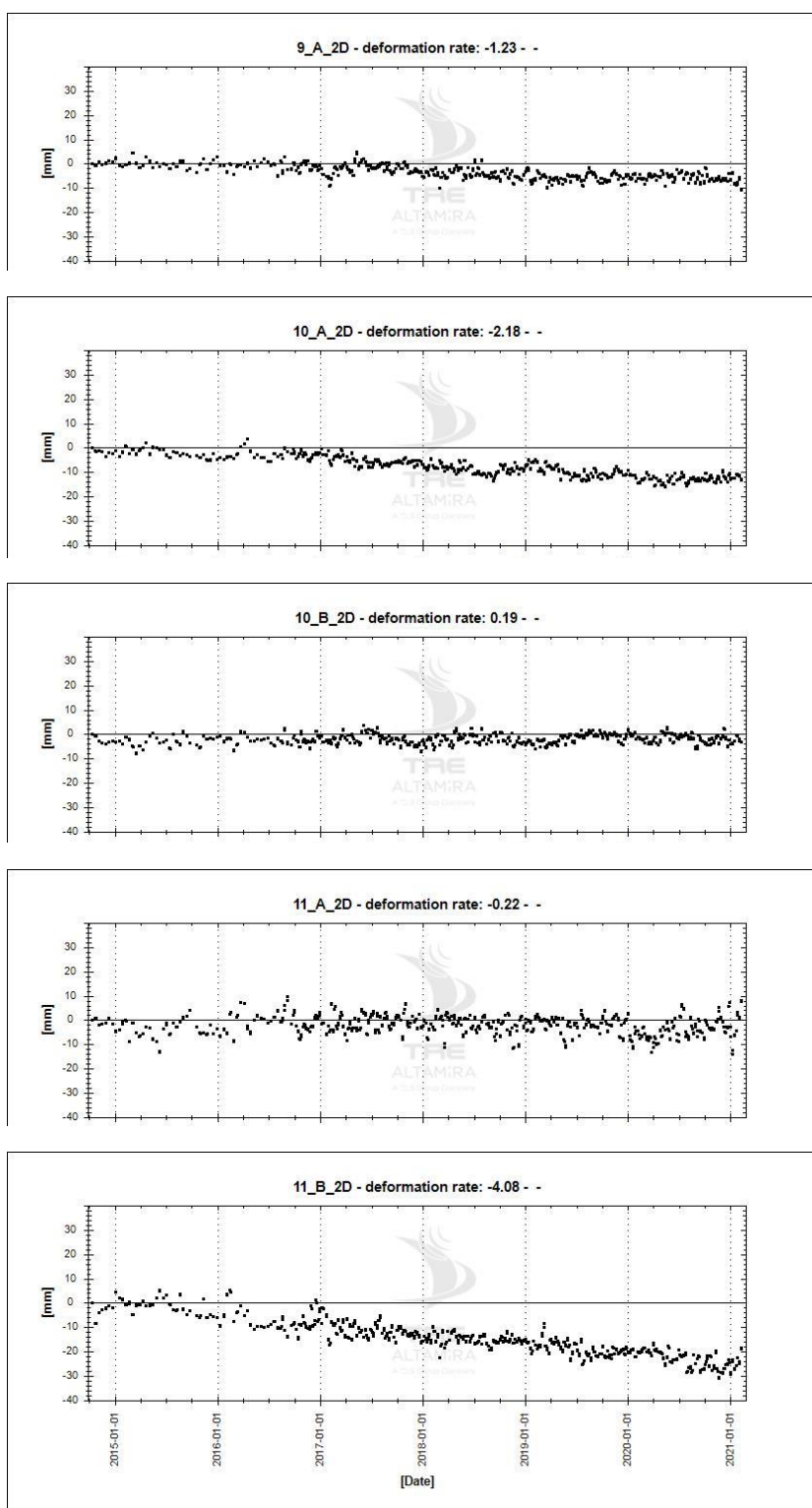


Figura 14: Serie storiche medie di spostamento verticale dei punti evidenziati in Figura 13.

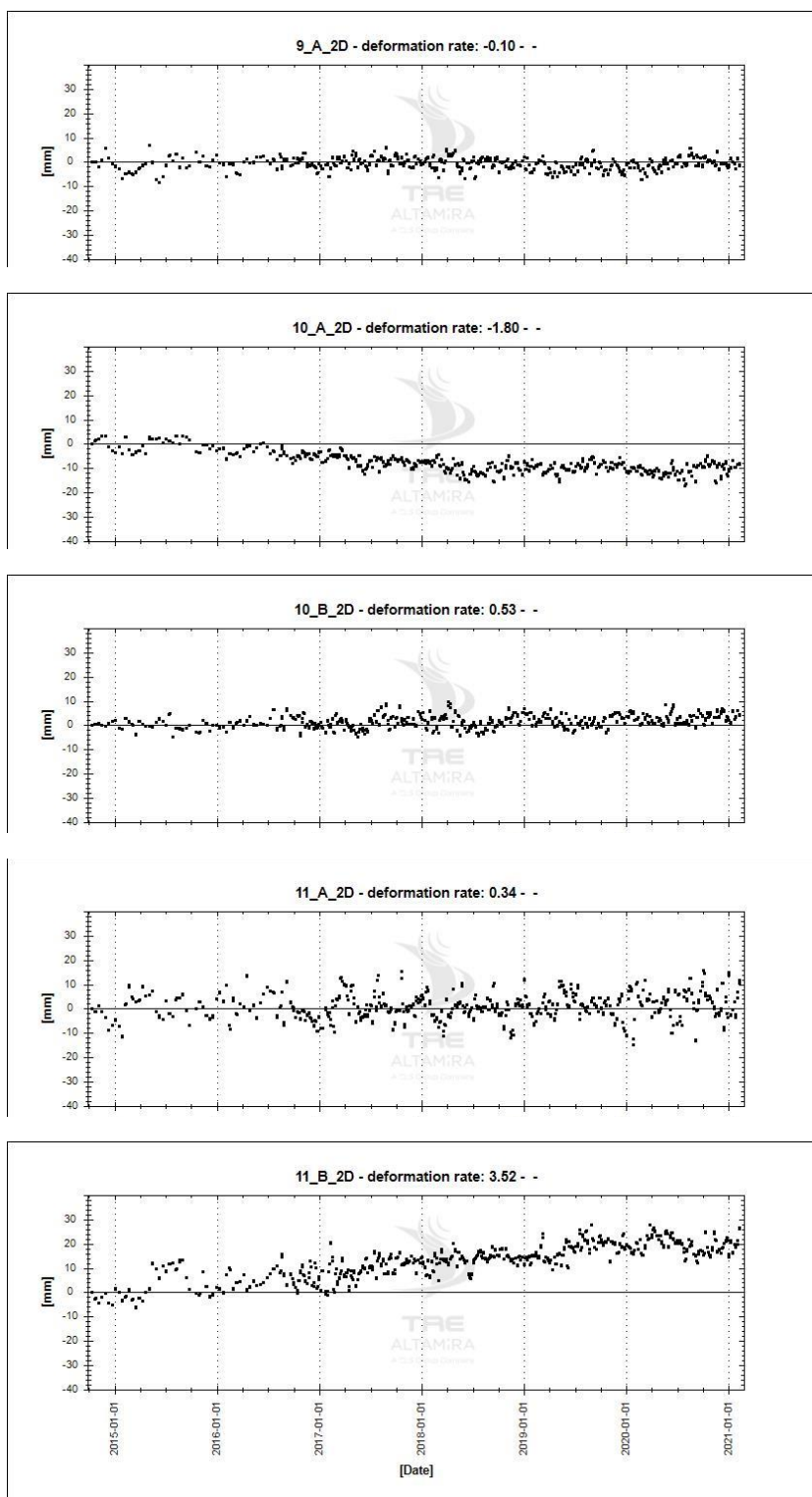


Figura 15: Serie storiche medie di spostamento orizzontale dei punti evidenziati in Figura 13.

## 6. Dati consegnati

Insieme alla presente Relazione Tecnica, sono consegnati i seguenti dati:

- I risultati delle analisi SqueeSAR® in formato shapefile, per ognuno dei dataset elaborati. I dati sono consegnati in coordinate nel sistema di riferimento CGS\_WGS84. La Tabella 4 e la Tabella 5 elencano tutte le informazioni fornite per ogni punto di misura individuato: velocità media, quota, serie storiche (grafici tempo-spostamento) ed i parametri di qualità delle misure ottenute.
- Un Rapporto di Elaborazione ed un file in formato .xml per ogni dataset elaborato, contenenti tutti i metadati tecnici relativi all'analisi SqueeSAR® condotta, alle immagini utilizzate ed ai versori di LOS (*Line Of Sight*, direzione di vista del satellite).
- I risultati ottenuti dalla scomposizione, in formato shapefile. La Tabella 5 riporta le informazioni fornite nel database dei dati scomposti. Ai dati è associato un file .xml contenente i relativi metadati tecnici.

La lista completa dei dati consegnati è presentata in Tabella 6. I dati sono consultabili e scaricabili dal portale geografico (WebGIS) di TRE ALTAMIRA (<https://tremaps5.tre-altamira.com>), accessibile via web previa autenticazione (le credenziali sono state fornite via email).

Campo	Descrizione
<b>CODE</b>	Codice identificativo del punto di misura (MP)
<b>HEIGHT</b>	Quota del punto [m] calcolata rispetto all'ellissoide di riferimento WGS84
<b>H_STDEV</b>	Deviazione standard del parametro quota [m]
<b>VEL</b>	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
<b>V_STDEV</b>	Deviazione standard del parametro velocità media annua [mm/anno]
<b>COHERENCE</b>	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
<b>EFF_AREA</b>	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 <sup>2</sup> ].
<b>Daaammgg</b>	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 4: Campi contenuti nel database associato ai dati in singola geometria

Campo	Descrizione
<b>CODE</b>	Codice identificativo del punto di misura ottenuto dalla scomposizione (combinazione di dati in singola geometria), posizionato al centro della cella di scomposizione.
<b>VEL_V/_E</b>	Velocità media annua di spostamento [mm/anno] verticale/orizzontale est-ovest. Valori positivi indicano spostamenti verso l'alto/spostamenti verso est.
<b>V_STDEV_V/_E</b>	Deviazione standard della velocità media verticale/ orizzontale est-ovest [mm/anno].
<b>Daaammgg</b>	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 5: Campi contenuti nel database associato ai dati scomposti



Analisi	Nome file
<b>Lotto1 -Discendente</b>	FALCONARA_SNT_T117_A_IT3589A1S.shp
	FALCONARA_SNT_T117_A_IT3589A1S.xml
	FALCONARA_SNT_T117_A_IT3589A1S.pdf
<b>Lotto 1 -Ascendente</b>	FALCONARA_SNT_T95_D_IT3589A2S.shp
	FALCONARA_SNT_T95_D_IT3589A2S.xml
	FALCONARA_SNT_T95_D_IT3589A2S.pdf
<b>Scomposizione</b>	ORTE_FALCONARA_SNT_VERT_FEB2021_IT3589A3V.shp
	ORTE_FALCONARA_SNT_VERT_FEB2021_IT3589A3V.xml
	ORTE_FALCONARA_SNT_EAST_FEB2021_IT3589A4E.shp
	ORTE_FALCONARA_SNT_EAST_FEB2021_IT3589A4E.xml
<b>Relazione Tecnica</b>	TRE_ALTAMIRA_RelazioneTecnica_Orte_Falconara.pdf

Tabella 6: Dati Consegnati

## 7. Conclusioni

Le analisi SqueeSAR® hanno fornito informazioni quantitative sugli spostamenti superficiali occorsi tra Ottobre 2014 e Febbraio 2021 utili alla fase progettuale del raddoppio della linea ferroviaria PM228 – Castelplano, tratta Orte-Falconara.

Grazie alla combinazione dei risultati ottenuti in doppia geometria di acquisizione, l'analisi ha fornito anche informazioni sui movimenti nelle due direzioni verticale ed orizzontale est-ovest.

In generale i risultati individuano vari fenomeni di deformazione superficiale di limitata entità sia per stensione areale sia per velocità di deformazione. Vari fenomeni individuati dall'inventario dei dissesti IFFI mostrano deformazioni modeste o nulle fornendo un'informazione quantitativa sul grado di attività dei fenomeni stessi, sebbene svariati settori non sono coperti dal dato interferometrico.

Informazioni specifiche sui siti di interesse progettuale sono state altresì fornite, in generale mostrando solo locali deformazioni comunque comprese entro velocità di 5-10 mm/anno. Questi movimenti ricadono nella tipologia di fenomeni definiti "estremamente lenti" dalla letteratura tecnico-scientifica di riferimento (Cruden,DM, Varnes,D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences).

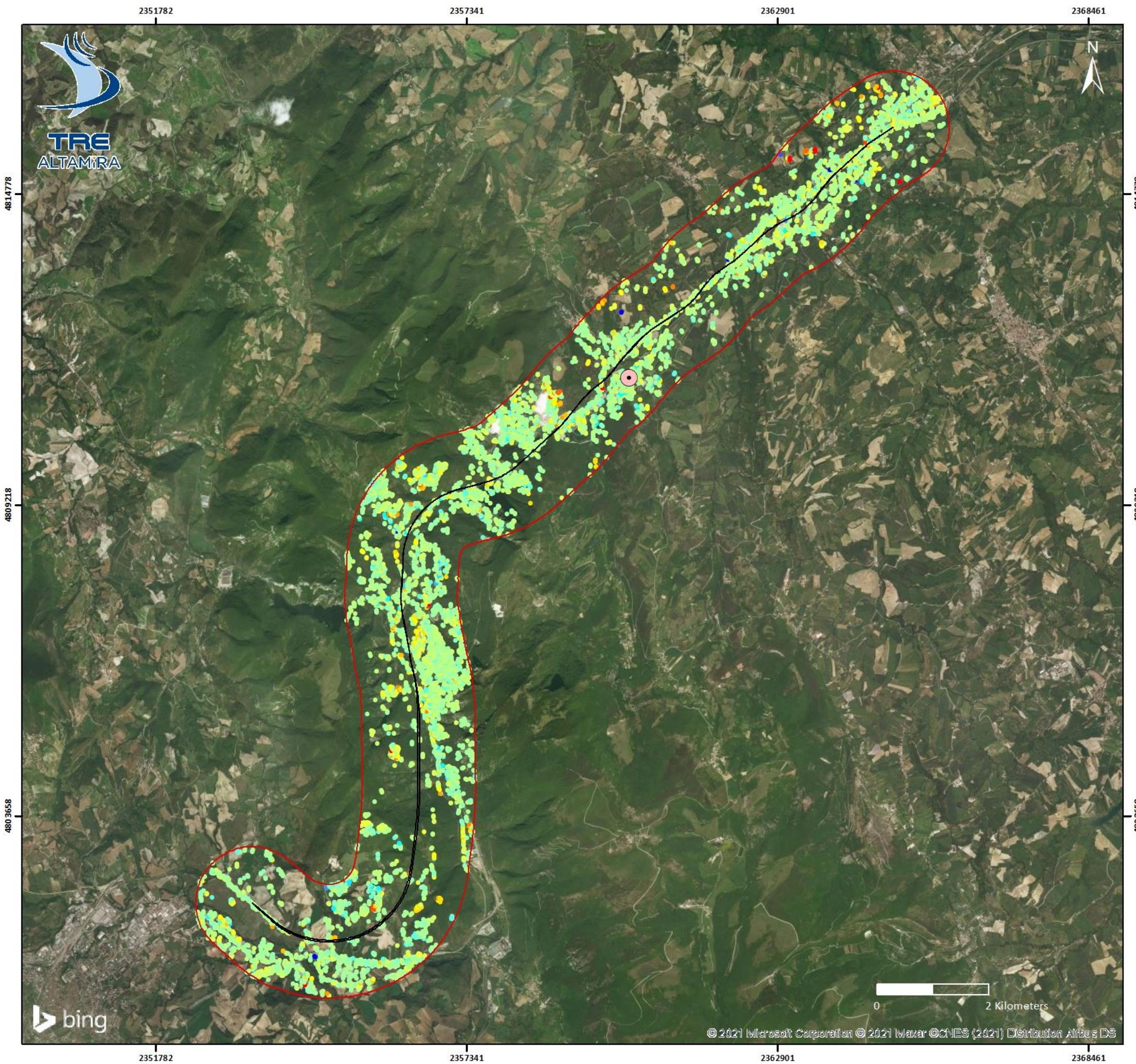
## Allegati

**Tavola 1** – Elaborazione SNT ascendente: velocità media annua

**Tavola 2** – Elaborazione SNT discendente: velocità media annua

**Tavola 3** – Elaborazione SNT stima della componente verticale: velocità media annua

**Tavola 4** – Elaborazione SNT stima della componente orizzontale Est-Ovest: velocità media annua



Analisi SqueeSAR®

**TAVOLA 1**  
**SNT ASCENDENTE**  
**Velocità media**

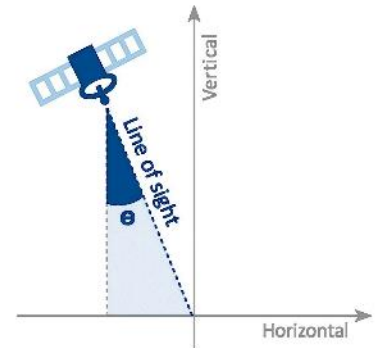
**SITO**  
 Orte-Falconara

**DATI ELABORAZIONE**

Satellite	SNT
Geometria	Ascendente
Track	117
Numero immagini	312
Periodo	13/10/2014 – 08/02/2021

**GEOMETRIA SATELLITE**

$\theta = 43,3^\circ$



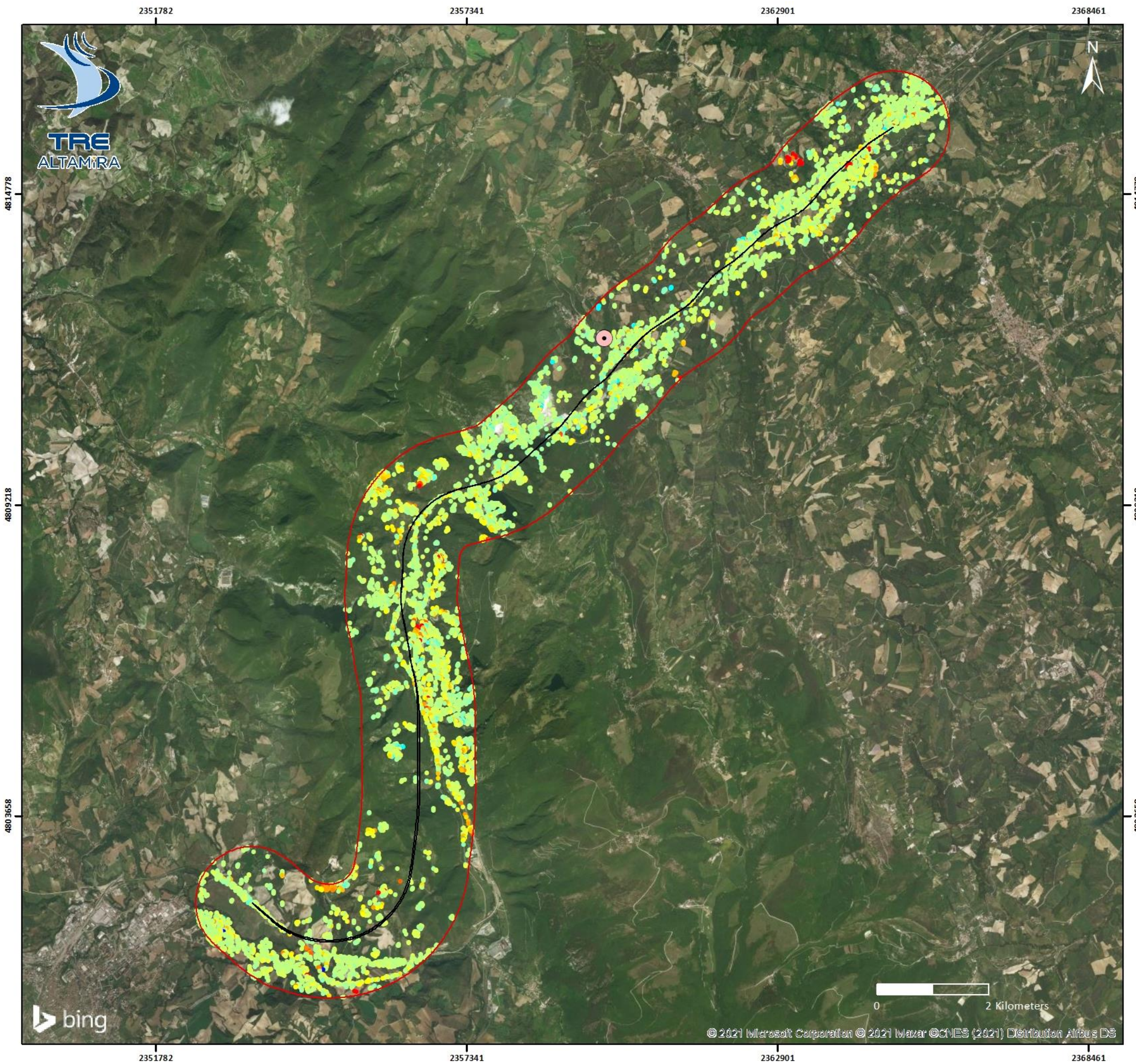
**LEGENDA**

- Area d'indagine
- Tracciato
- Punto di riferimento

Velocità media [mm/anno]  
 lungo la linea di vista del satellite



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps  
 Sistema di riferimento geografico: Gauss Boaga Est  
 © TRE ALTAMIRA 2021



Analisi SqueeSAR®

## TAVOLA 2

### SENTINEL DISCENDETE

### Velocità media

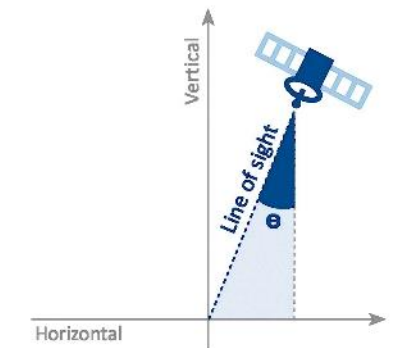
**SITO**  
Orte-Falconara

**DATI ELABORAZIONE**

Satellite	SNT
Geometria	Discendente
Track	95
Numero immagini	308
Periodo	12/10/2014 – 19/02/2021

**GEOMETRIA SATELLITE**

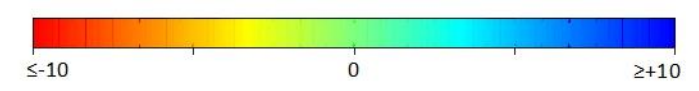
$\theta = 33.3^\circ$



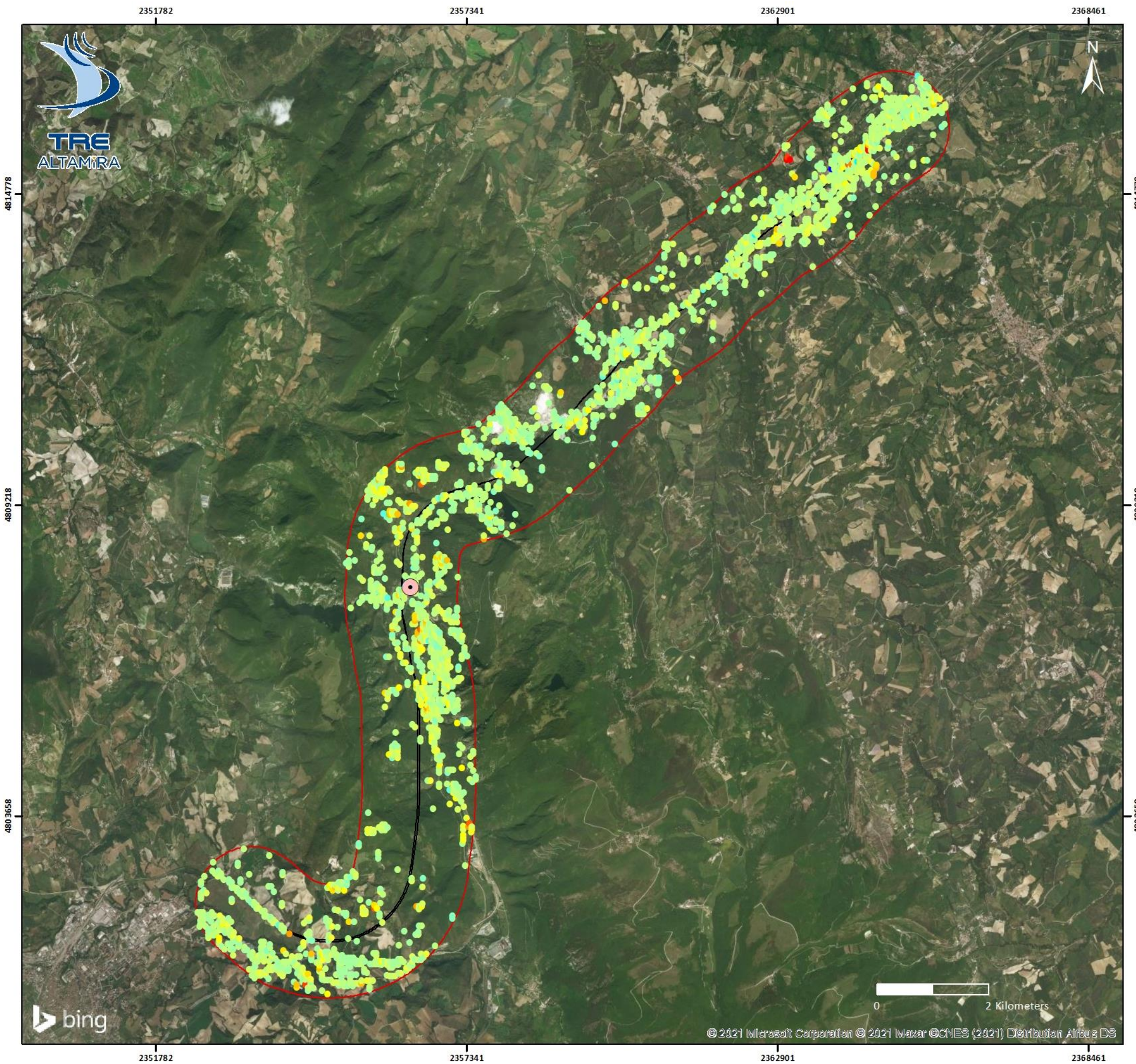
**LEGENDA**

- Area d'indagine
- Tracciato
- Punto di riferimento

Velocità media [mm/anno]



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps  
Sistema di riferimento geografico: Gauss Boaga Est  
© TRE ALTAMIRA 2021



**Analisi SqueeSAR®**

**TAVOLA 3**  
**SENTINEL Verticale**  
**Velocità media**

**SITO**  
 Orte-Falconara

**DATI ELABORAZIONE**

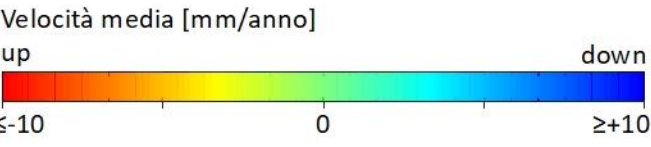
Satellite	SNT
Geometria	Ascendente
Track	117
Numero immagini	312
Periodo	13/10/2014 – 08/02/2021

Satellite	SNT
Geometria	Discendente
Track	95
Numero immagini	308
Periodo	12/10/2014 – 19/02/2021

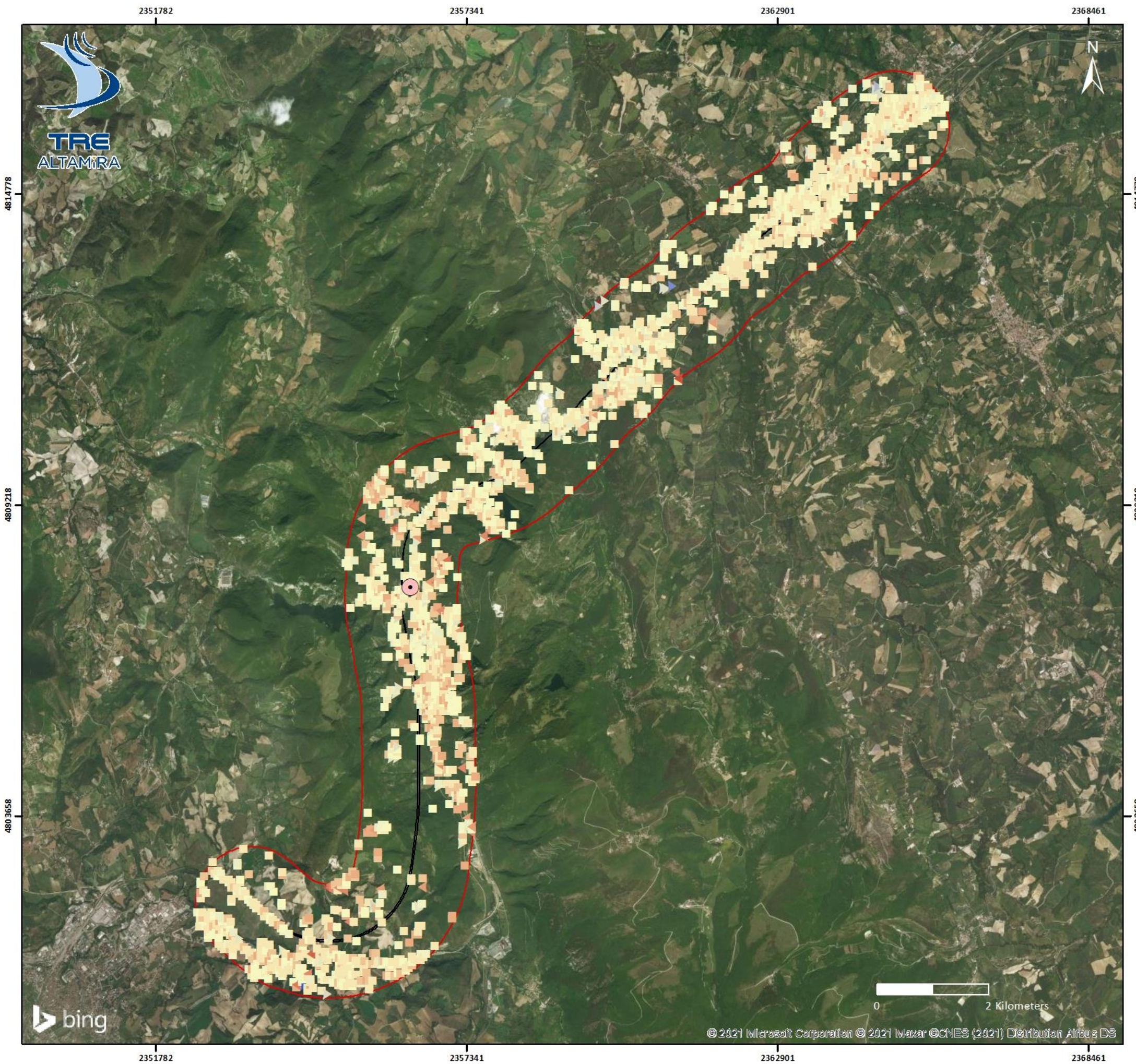
Intervallo temporale della scomposizione	13/10/2014 – 08/02/2021
--	-------------------------

**LEGENDA**

- Area d'indagine
- Tracciato
- Punto di riferimento



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps  
 Sistema di riferimento geografico: Gauss Boaga Est  
 © TRE ALTAMIRA 2021



**Analisi SqueeSAR®**

**TAVOLA 4**  
**SENTINEL Orizzontale E-O**  
**Velocità media**

**SITO**  
 Orte-Falconara

**DATI ELABORAZIONE**

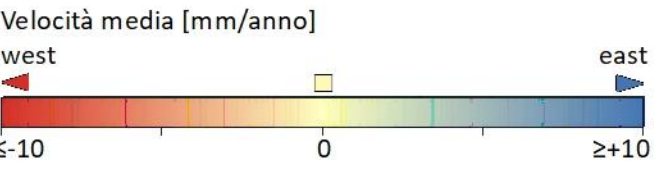
Satellite	SNT
Geometria	Ascendente
Track	117
Numero immagini	312
Periodo	13/10/2014 – 08/02/2021

Satellite	SNT
Geometria	Discendente
Track	95
Numero immagini	308
Periodo	12/10/2014 – 19/02/2021

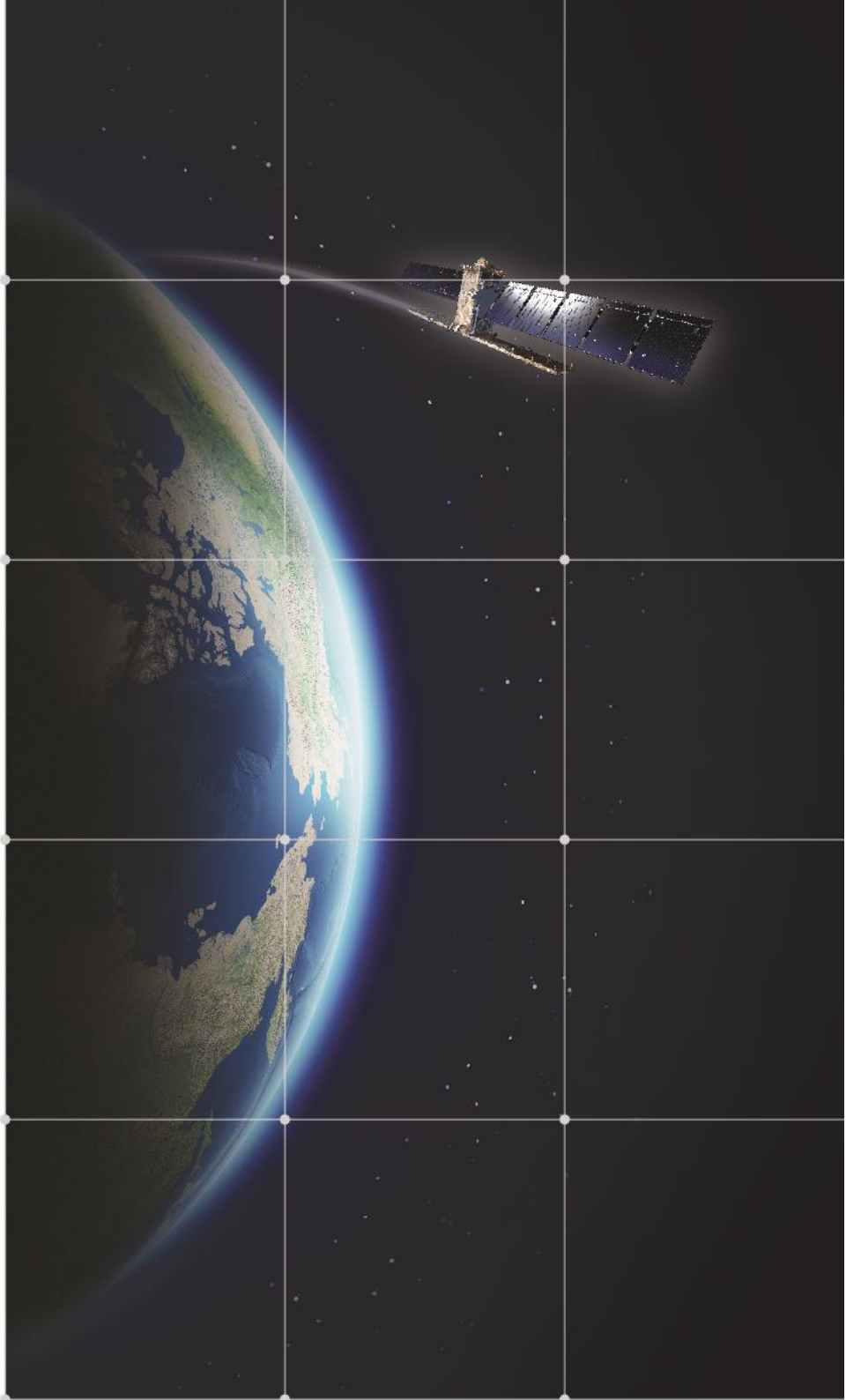
Intervallo temporale della scomposizione	13/10/2014 – 08/02/2021
--	-------------------------

**LEGENDA**

- Area d'indagine
- Tracciato
- Punto di riferimento



Supporto cartografico: Microsoft Bing Maps  
 Sistema di riferimento geografico: Gauss Boaga Est  
 © TRE ALTAMIRA 2021



**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

**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

[tre-altamira.com](http://tre-altamira.com)