



Rapporto periodico n. 1

Monitoring of ground motion through InSAR technique within the gorgoglione concession

TOTAL E&P ITALIA S.p.A.
Tempa Rossa



Document Id.:	pkb011-200-1.2_86	
Approved by:	Sergio Samarelli	19/11/2018
Checked by:	Vincenzo Massimi	19/11/2018

© 2019 Planetek Italia S.r.l.

Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o distribuita in alcuna forma senza esplicita autorizzazione scritta della Planetek Italia S.r.l. - No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means without the express written permission of Planetek Italia S.r.l.

Società certificata in conformità alla norma ISO 9001, ISO 14001, SA 8000 e EMAS III

Template: pkq001-30-2.3

simplifying the complexity of space

Planetek Italia Srl ■ Via Massaua, 12 ■ 70132 Bari ■ Italy
T +39 080 9644200 ■ F +39 080 9644299 ■ info@planetek.it ■ www.planetek.it
Capitale Sociale € 88.000 ■ P.IVA 04555490723 ■ CCIAA 322070 ■ Iscr. Trib. Bari 31420

Indice

SOMMARIO ESECUTIVO.....	3
DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
ACRONIMI	6
INTRODUZIONE.....	7
AREA DI INTERESSE.....	8
L'INTERFEROMETRIA SAR	9
1.1. Aspetti teorici.....	9
1.2. L'algoritmo SPINUA.....	12
CARATTERISTICHE DEI SATELLITI CONSIDERATI.....	16
1.3. Introduzione.....	16
1.4. Costellazione SENTINEL-1.....	16
ELABORAZIONE DEI DATI SAR	18
1.5. Sistema di riferimento	24
MISURE INTERFEROMETRICHE	25
1.6. Sintesi.....	25
1.7. Dettaglio pozzi di produzione e centro oli.....	36
1.8. Dati consegnati.....	49
1.9. Verifica di visibilità dei Corner Reflector installati	50
CONCLUSIONI	68
ALLEGATO A – ELENCO IMMAGINI SENTINEL-1 PROCESSATE	69

Sommario esecutivo

Total E&P Italia ha affidato a Planetek Italia il servizio di monitoraggio interferometrico basato su dati Sentinel-1 sull'area della concessione Gorgoglione (Basilicata) al fine di monitorare in continuo i movimenti superficiali in atto prima dell'inizio delle attività di estrazione e durante le stesse.

Il presente documento rappresenta la relazione tecnica descrittiva della prima fase delle attività di elaborazione interferometrica di dati radar acquisiti dai satelliti Sentinel-1 nel periodo ottobre 2014 – Giugno 2018, in geometria ascendente e discendente, per il monitoraggio dei movimenti superficiali nell'area della concessione Gorgoglione.

In questa prima fase è stata inoltre effettuata un'analisi preliminare per valutare la visibilità satellitare dei primi 8 CR corner reflector installati nel mese di agosto 2018.

L'analisi interferometrica, ha permesso di ottenere una buona densità di punti di misura sull'intera area monitorata, più alta in corrispondenza dei centri abitati e delle infrastrutture rispetto alle zone vegetate e ad uso agricolo. In particolare, nel presente studio sono stati analizzati sia i bersagli radar distribuiti (DS) che puntuali (PS) e l'analisi ha permesso di individuare 637.741 punti di misura. Per ogni punto di misura sono disponibili le seguenti informazioni:

- Serie temporale di spostamento
- Serie temporale di precipitazione
- Dataset ID
- PS ID
- Sensor ID
- Coerenza/Coerenza Normalizzata
- Quota del PS/DS
- Velocità media annua
- Accelerazione

Dall'analisi degli spostamenti all'interno dell'area monitorata e in particolare sulle aree di maggior interesse quali le aree interessate dalle attività di produzione e su alcuni centri abitati si osservano le situazioni riassunte in Tabella 1:

Tabella 1. Situazione movimenti sulle zone di maggior interesse

Zona	Periodo Misure	Disponibilità Misure	Situazione movimenti
Pozzo GG-1	Ottobre 2014 – Giugno 2018	Si	Generale stabilità
Pozzo GG-2		Si	Piazzola stabile ad eccezione della zona a nord ovest che presenta movimenti con velocità media misurati lungo la LOS in orbita Descending compresa tra -7 e -10 mm/anno.
Pozzo TE-1		Si	Piazzola con movimenti medi diffusi misurati lungo la LOS Ascending caratterizzati da una velocità media pari a circa -5 mm/anno.
Pozzo PT-1		Si	Dai punti di misura individuati sulla piazzola in orbita Ascending si evince una situazione di stabilità.
Pozzo TR-1		Si	I punti di misura individuati mostrano una situazione di stabilità.
Pozzo TR-2		Si	I PS presenti sulla piazzola mostrano una situazione di stabilità mentre il piazzale situato ad ovest mostra una velocità media pari a circa -6 mm/anno.
LPG Center		Si	Generale stabilità
Oil Center		Si	Generale stabilità eccetto una piccola zona ad Est che presenta dei movimenti caratterizzati da una velocità media pari a circa -8 mm/anno.
Gorgoglione		Si	La zona sud del centro abitato presenta una velocità media lungo la LOS pari a circa -6 mm/anno.
Stigliano		Si	La zona nord del centro abitato presenta movimenti con velocità medie lungo la LOS Ascending che raggiungono i -40 mm/anno.

Documenti di Riferimento

- [RD1] Hanssen, R., 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- [RD2] F. BOVENGA, A. REFICE, R. NUTRICATO, L. GUERRIERO, M. T. CHIARADIA, "SPINUA: a flexible processing chain for ERS / ENVISAT long term interferometry", Proceedings of ESA-ENVISAT Symposium 2004, 6-10 September, 2004, Salzburg, Austria.
- [RD3] https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook
- [RD4] pkm106-02-1.5 Rheticus Displacement Service Specification

Acronimi

ASI	Agenzia Spaziale Italiana
DEM	Digital Elevation Model
DS	Distributed Scatterers
ESA	Agenzia Spaziale Europea
PS	Persistent Scatterers
SAR	Radar ad Apertura Sintetica

Introduzione

Total E&P Italia ha affidato a Planetek Italia il servizio di monitoraggio interferometrico basato su dati Sentinel-1 sull'area della concessione Gorgoglione (Basilicata) al fine di monitorare in continuo i movimenti superficiali in atto prima dell'inizio delle attività di estrazione e durante le stesse.

Il monitoraggio viene effettuato in accordo alle linee guida del Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per la Sicurezza anche Ambientale delle Attività Minerarie ed Energetiche – Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse del 24/11/2014 “Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche”. In particolare, il monitoraggio interferometrico è effettuato in continuo, con frequenza di aggiornamento semestrale, attraverso il servizio Rheticus® Displacement sviluppato da Planetek Italia.

Il monitoraggio prevede l'elaborazione semestrale delle immagini Sentinel-1 e l'emissione di un rapporto periodico con l'aggiornamento della serie temporale di spostamenti disponibili alla data, ed è articolato come segue:

- Questo primo rapporto periodico, che contiene l'elaborazione iniziale di tutte le immagini Sentinel-1 disponibili dal 2014 fino agli inizi di giugno 2018. Ciò garantisce all' Operatore la continuità dell'attività di monitoraggio tra la fine della precedente fase di definizione di Baseline¹ (Ottobre 2017) e l'inizio delle operazioni di estrazione e produzione. Il rapporto contiene altresì la verifica preliminare di visibilità dei primi 8 Corner Reflector (nel seguito CR) installati nel mese di agosto 2018.
- Un secondo rapporto periodico, con l'aggiornamento dei dati di spostamento che include tutte le immagini Sentinel-1 acquisite nel semestre Giugno - Dicembre 2018. Il report conterrà il consolidamento dell'analisi di visibilità di tutti gli 11 CR complessivamente installati alla data, l'analisi dei dati di spostamento aggiornati e integrati con le prime misure di spostamento relative ai CR e delle stazioni permanenti GNSS.
- Ulteriori rapporti semestrali, da Gennaio 2019 a Gennaio 2021, contenenti i successivi aggiornamenti dei dati di spostamento, fino ad includere tutte le misure acquisite nel biennio 2019-2020. Al termine di ogni elaborazione periodica tutti i dati di spostamento saranno consultabili attraverso la piattaforma Rheticus® Displacement.

In questa prima fase sono stati analizzati dati radar Sentinel-1 sia in orbita ascendente che discendente, coprendo un intervallo temporale compreso tra Ottobre 2014 e Giugno 2018.

Le attività svolte sono le seguenti:

- identificazione dei punti di misura (PS e DS);
- stima delle velocità medie annue di spostamento dei punti individuati;
- stima delle serie storiche di spostamento dei punti di misura;
- analisi combinata delle orbite ascendenti e discendenti per la stima delle componenti orizzontali e verticali dei fenomeni di spostamento;
- verifica di visibilità dei primi 8 CR installati nel mese di agosto.

¹ *Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, Ministero dello sviluppo economico - Direzione Generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche - Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, 24 Novembre 2014.*

Area di interesse

L'oggetto dello studio è la valutazione di eventuali movimenti superficiali in atto prima dell'inizio delle attività di estrazione sull'area di interesse che si estende ben oltre il dominio di rilevazione esterno rispetto alla concessione Gorgoglione per un totale di circa 1.250 km² (vedi Figura 1).

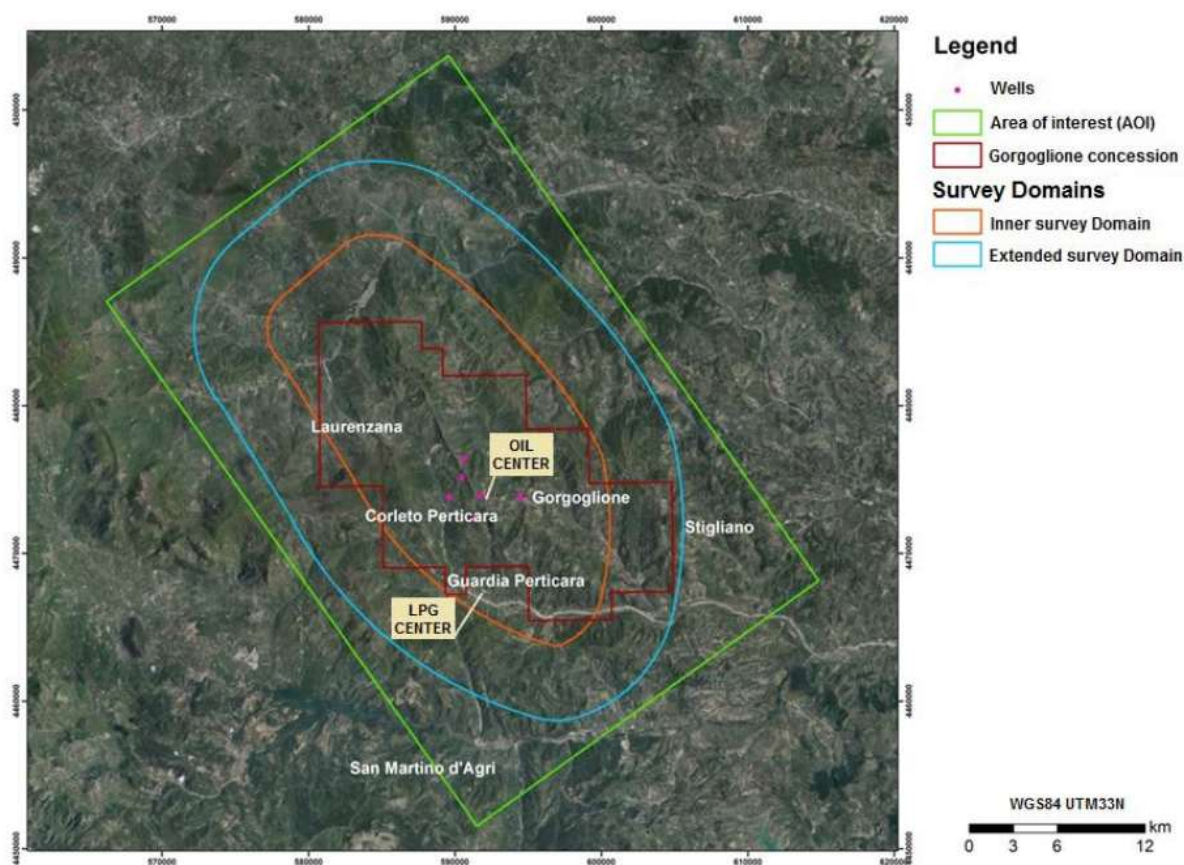


Figura 1. Area di interesse, Domini di rilevazione, Concessione Gorgoglione.

Per completezza si riportano le definizioni di Dominio Interno (perimetro arancione in Figura 1) ed Esterno (perimetro azzurro in Figura 1):

Dominio interno di rilevazione (DI) - Definisce il volume all'interno del quale si ritiene che possano verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all'attività svolta. Esso rappresenta il volume di riferimento per il quale saranno identificati, monitorati e analizzati con la massima sensibilità i fenomeni di sismicità e deformazione del suolo.

- **Dominio esteso di rilevazione (DE)** – È il volume circostante il dominio interno di rilevazione che comprende una porzione maggiore di crosta terrestre, al fine di definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Per tutte le attività si suggerisce che esso si estenda oltre il dominio interno di rilevazione per una fascia di ampiezza compresa tra 5-10 km, tenendo conto delle dimensioni del giacimento e della tipologia di attività.

L'interferometria SAR

1.1. Aspetti teorici

Il remote sensing ha compiuto una sensibile evoluzione nell'ultimo trentennio grazie all'utilizzo di sensori attivi che emettono impulsi radar nel campo delle microonde e ricevono la radiazione retrodiffusa dai bersagli al suolo. Tale sviluppo si è potuto attuare in particolare modo grazie all'avvento di una classe di sistemi radar specificamente mirata al *radar imaging*, meglio noti come Synthetic Aperture Radar (SAR).

I sistemi SAR si basano sul principio secondo cui un'antenna artificialmente lunga può essere sintetizzata a partire da una antenna molto più corta in movimento, combinando l'informazione di più impulsi di ritorno ricevuti dall'antenna. Ciò è reso possibile grazie all'utilizzo di radar coerenti in quanto questi sono in grado di recuperare dagli echi radar ricevuti sia l'informazione di ampiezza che quella di fase producendo un aumento della risoluzione in azimuth (direzione di volo) fino a tre ordini di grandezza.

Un sistema SAR lavora nella porzione di spettro elettromagnetico delle microonde, comunemente in banda L [lunghezza d'onda = 23.5cm], C [5.6cm], X [3cm] o K [1cm]. Le microonde hanno lunghezze d'onda diversi milioni di volte più grandi di quelle nel campo del visibile e quindi, a differenza della luce, riescono con facilità a penetrare la nebbia, le nuvole e altri ostacoli atmosferici oltre a fornire immagini radar della Terra sia di giorno che di notte (si veda a tal proposito la Figura 2).

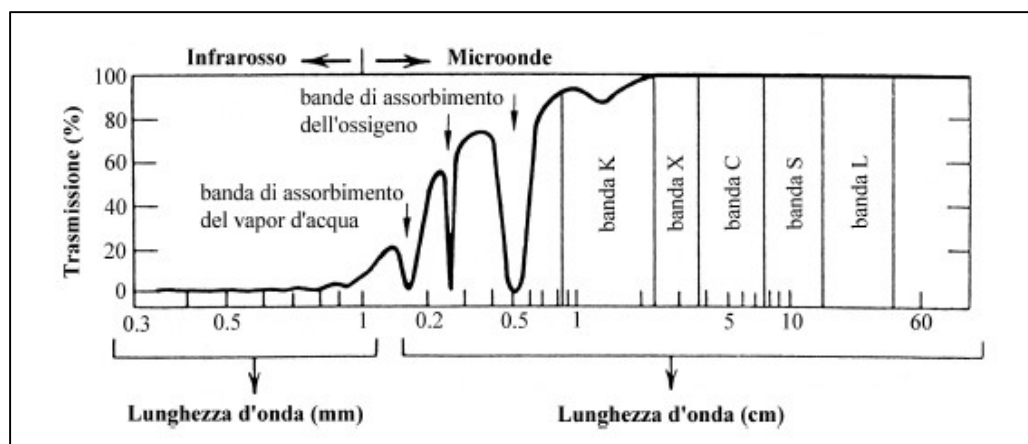


Figura 2: Coefficiente di trasmissione attraverso l'atmosfera terrestre.

L'interferometria SAR (Figura 3 seguente) consiste nella combinazione coerente (combinazione dei segnali di fase) di due distinte immagini SAR acquisite da posizioni angolari leggermente differenti.

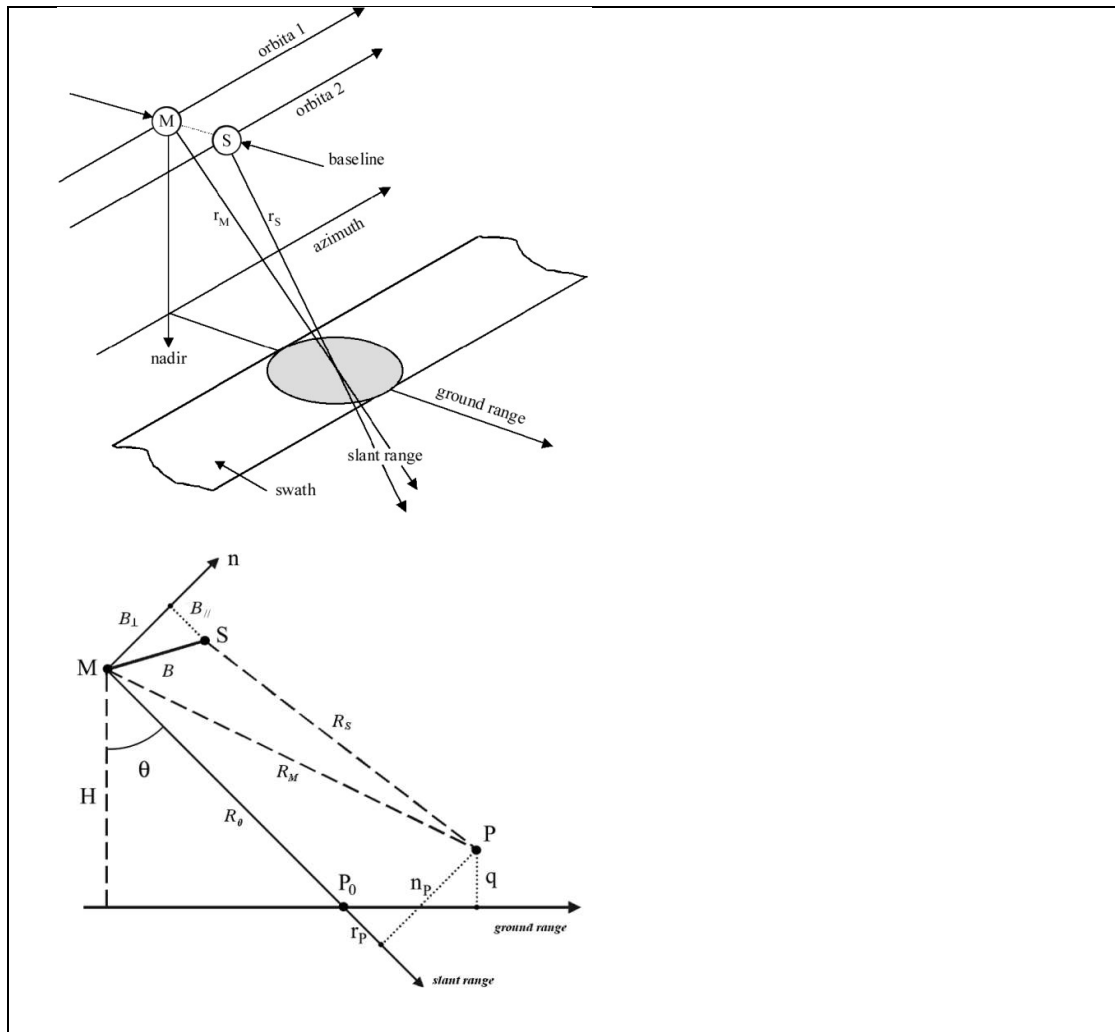


Figura 3: Geometria di acquisizione interferometrica mediante passaggio ripetuto di uno stesso sensore sull'area di interesse.

In ogni coppia interferometrica una delle due immagini è utilizzata come riferimento geometrico e per questo viene indicata come immagine Master (M), mentre l'altra è ricampionata sulla immagine Master affinché pixel omologhi delle due immagini corrispondano alla medesima cella di risoluzione a terra ed è definita immagine Slave (S). L'operazione di allineamento dell'immagine Slave sulla immagine Master prende il nome di coregistrazione.

L'intervallo temporale tra i due passaggi del satellite dallo stesso punto viene definita baseline temporale (B_T), invece con il termine baseline geometrica (B) si indica la distanza che intercorre tra le differenti posizioni del sensore tra passaggi successivi, come mostrato in Figura 3. La baseline geometrica è generalmente scomposta nelle componenti normale e parallela alla direzione di puntamento del sensore (Line of Sight, LOS), dette rispettivamente baseline normale B_{\perp} e parallela B_{\parallel} .

La fase interferometrica è quindi pari alla differenza di fase pixel a pixel tra acquisizione Master e Slave e, attraverso opportuni passaggi matematici, è possibile ricavare la seguente espressione:

$$\Delta\varphi_{\text{int}}^D = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp} q}{R_0 \sin\theta} + \frac{4\pi}{\lambda} d.$$

Dove, P è il generico pixel corrispondente ad un punto o ad un'area del terreno, $\Delta\phi_{int}^D$ è la fase interferometrica privata del contributo di fase relativo al suolo piatto, d è l'eventuale spostamento del generico pixel P e q è la sua quota.

A partire da questa relazione, si possono distinguere due tecniche differenti: InSAR (Interferometria SAR) e DInSAR (Interferometria Differenziale SAR). La prima punta alla elaborazione della fase interferometrica per l'estrazione del primo termine e cioè quello relativo alla quota con l'obiettivo di generare una mappa topografica dell'area di interesse (si veda esempio di Figura 4:). La seconda tecnica punta invece alla estrazione del secondo termine della fase interferometrica (detto fase interferometrica differenziale) con l'obiettivo di generare una mappa di spostamento dell'area in osservazione. In Figura 5 si riporta a titolo di esempio l'interferogramma differenziale ottenuto combinando una coppia di immagini acquisite sull'area di L'Aquila durante il sisma dell'Aprile 2009. In particolare, una immagine è stata acquisita pochi giorni prima dell'evento e l'altra è stata acquisita pochi giorni dopo il medesimo evento. Le frange dell'interferogramma oltre ad indicare l'estensione dell'area interessata dal sisma, indicano anche l'entità dello spostamento: nel caso specifico una frangia equivale allo spostamento del terreno di 1.56 cm lungo la direzione di vista del satellite.

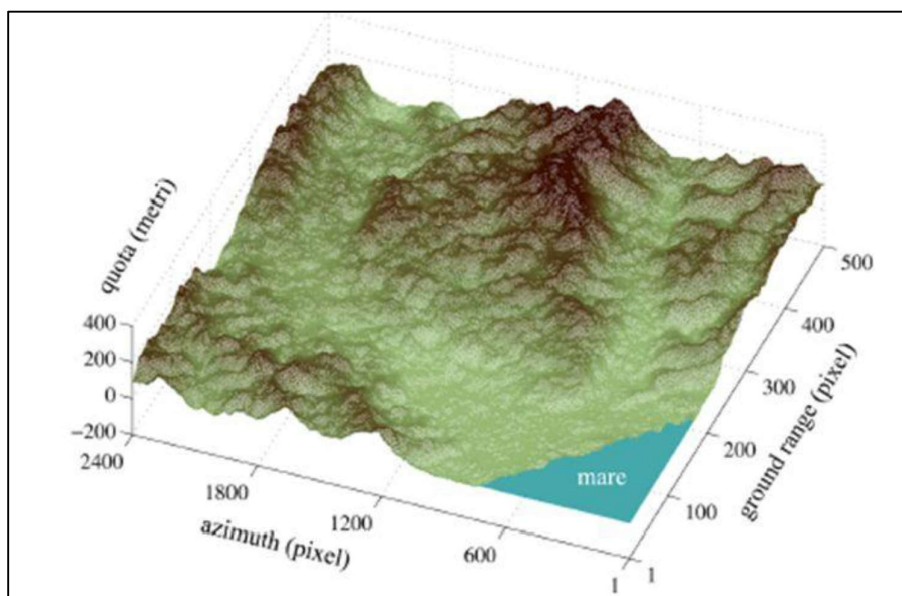


Figura 4: Esempio di DEM (Digital Elevation Model) ottenuto con sistemi SAR.

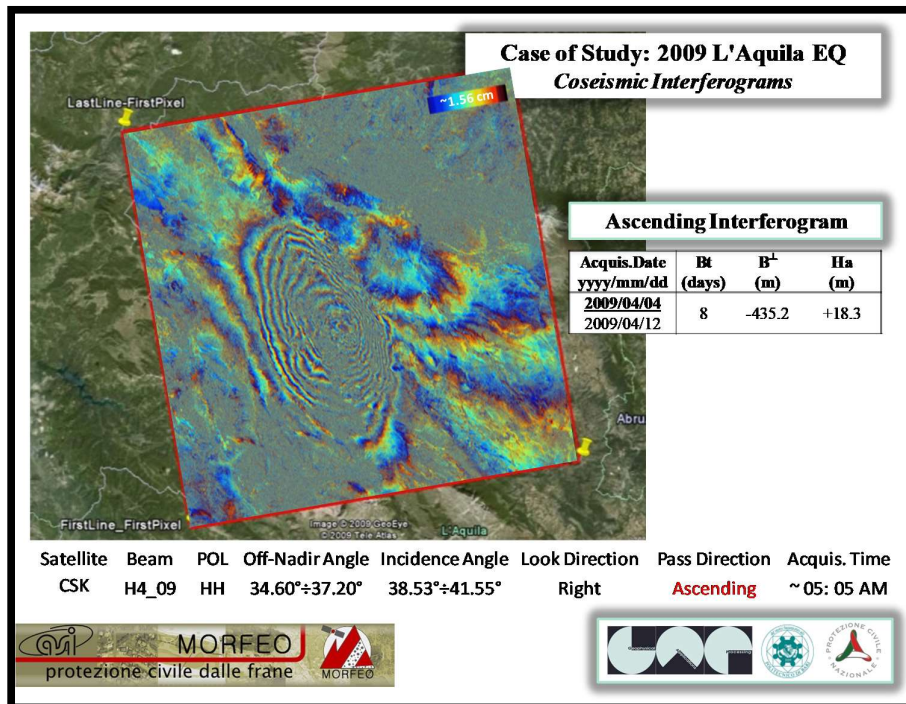


Figura 5: Esempio di fase interferometrica differenziale impiegata per la misura di spostamenti del terreno. La fase interferometrica è stata sovrapposta ad una immagine ottica dell'area di L'Aquila.

Maggiori dettagli sulle tecniche interferometriche sono disponibili in [RD1].

1.2. L'algoritmo SPINUA

Nella Figura 5, illustrata nel paragrafo precedente, si osserva la presenza di aree con diversa qualità delle frange. Ciò è dovuto a condizioni di rumore che variano sull'immagine e che dipendono anche (ma non solo) dalla distanza tra le orbite relative alle due acquisizioni SAR.

In particolare quando le orbite di Master e Slave hanno una elevata baseline perpendicolare, il rumore può raggiungere livelli che rendono l'interferogramma inutilizzabile.

La qualità delle frange interferometriche dipende dalla correlazione tra le due immagini SAR. La correlazione può essere stimata in termini di coerenza interferometrica γ . Tale parametro misura localmente il grado di correlazione tra Master e Slave ed è quindi in grado di valutare quantitativamente la qualità delle frange interferometriche. In particolare, è il coefficiente di cross-correlazione tra coppie di immagini SAR (Master e Slave) ed è stimato su piccole finestre dopo che i termini deterministici di fase sono stati compensati. La coerenza locale può assumere valori compresi tra 0 e 1; $\gamma \approx 0$ implica che in quell'area l'interferogramma è gravemente affetto dal rumore ed è ciò che si verifica in genere nelle zone molto vegetate o su grandi specchi di acqua che appariranno molto scuri nelle mappe di coerenza; al contrario, $\gamma \approx 1$ indica la quasi completa assenza di rumore e tali zone presenteranno una ottima qualità delle frange interferometriche.

È interessante osservare che ripetendo più acquisizioni nel tempo sulla stessa area è possibile operare un monitoraggio continuo degli spostamenti del terreno. Tuttavia, questa opportunità è generalmente limitata dal fatto che la coerenza tende a degradare rapidamente quando si usano immagini Slave molto distanti temporalmente dalla immagine Master (nota: la coerenza degrada anche con l'aumentare del valore di baseline perpendicolare).

In questo contesto si innestano le tecniche Multi-temporali SAR basate sulla identificazione di bersagli coerenti al suolo la cui riflettività risulta essere sufficientemente indipendente sia dalla baseline temporale che da quella geometrica. In particolare si distinguono i persistent scatterers (PS) associati ad un singolo pixel della immagine radar e i distributed scatterers (DS) che invece

sono associati ad un gruppo di pixel della immagine radar. Il ricorso all'impiego di gruppi di pixel nel caso dei DS è dettato dalla necessità di operare medie spaziali tra pixel adiacenti della stessa natura al fine di abbattere la presenza del rumore. Nel caso dei PS invece il bersaglio all'interno del singolo pixel risulta sufficientemente dominante rispetto al rumore e pertanto non risulta necessario doverne migliorare ulteriormente la qualità della risposta di fase; ciò permette inoltre di preservare la massima risoluzione spaziale del bersaglio stesso. Nel caso dei DS invece le operazioni di media spaziale introducono una inevitabile perdita di risoluzione spaziale rispetto alla risoluzione nativa della immagine radar.

In sintesi i PS ed i DS rappresentano punti (PS) o aree (DS) ad elevata stabilità di fase (o equivalentemente ad alta coerenza), grazie ai quali è possibile monitorare una zona (in cui essi sono presenti) anche per un lungo periodo di tempo e sfruttando tutto il set di immagini a disposizione, senza porre limiti a eventuali baseline geometriche o temporali elevate.

Le misure PS/DS sono sempre riferite ad un punto di riferimento scelto per ogni dataset tenendo conto delle caratteristiche radiometriche al fine di garantire un'alta coerenza ovvero un'ottimizzazione della precisione delle misure.

Attraverso l'utilizzo del satellite Sentinel-1, considerato l'attuale tempo di rivisita di 6 giorni e l'elevato numero di immagini ad oggi disponibili, è possibile ottenere un livello di precisione millimetrica sui valori di velocità media di spostamento.

Tra le diverse tecniche basate sui PS e sui DS, si menziona la tecnica SPINUA sviluppata da GAP in collaborazione con il Dipartimento di Fisica di Bari ed il CNR-ISSIA di Bari il cui diagramma a blocchi è illustrato nella Figura 6.

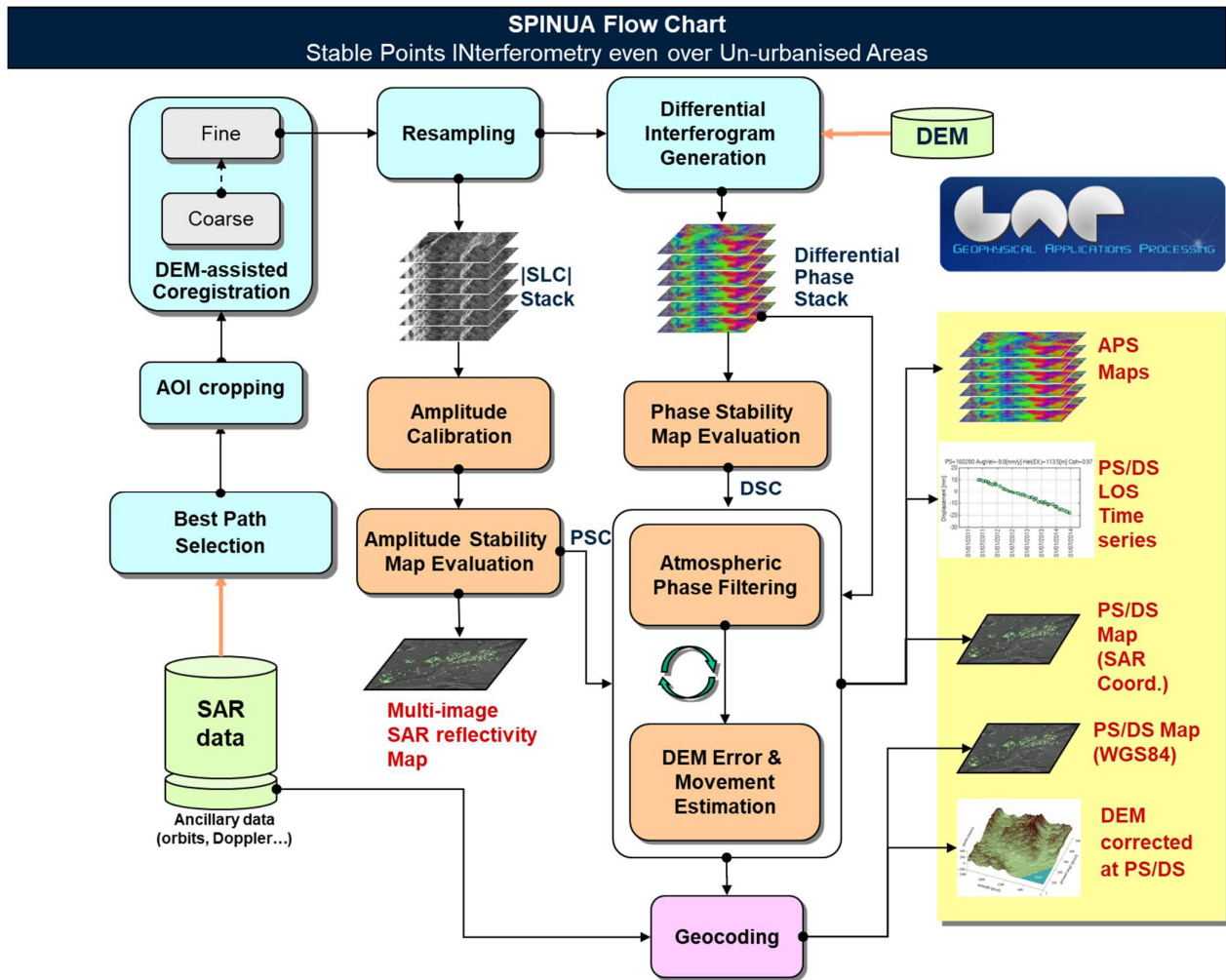


Figura 6: Flow chart di SPINUA

Nel diagramma a blocchi si possono individuare 6 passi principali:

- il primo passo consiste nella generazione di due set di dati: lo stack di SLC ricampionate sulla geometria della acquisizione Master e lo stack di interferogrammi differenziali ottenuti tra le immagini Slave e la acquisizione Master (Blocchi “|SLC| Stack” e “Differential Interferogram Generation” di Figura 6).
- Il secondo passo consiste nell’impiego dello stack di SLC ricampionate per estrarre la posizione dei Persistent Scatterers Candidati (Blocco “Phase Stability Map Evaluation” di Figura 6).
- Il terzo passo consiste nell’impiego dello stack di SLC ricampionate per estrarre la posizione dei Distributed Scatterers Candidati (Blocco “Amplitude Stability Map Evaluation” di Figura 6).
- Il quarto passo impiega la mappa di Persistent Scatterers Candidati e/o la mappa di Distributed Scatterers Candidati per stimare e rimuovere gli artefatti atmosferici presenti nello stack degli interferogrammi differenziali (Blocco “Atmospheric Phase Filtering” di Figura 6).
- Il quinto passo effettua la stima della quota e dello spostamento per tutti i punti dello stack di interferogrammi differenziali corretti dagli artefatti atmosferici (Blocco “DEM Error & movement Estimation” di Figura 6).
- Il sesto passo seleziona i pixel (PS) o i gruppi di pixel (DS) che mostrano una elevata coerenza temporale e per ognuno di essi restituisce nei formati testo, shapefile e kml la posizione

(Blocchi “Geocoding” e “DEM corrected at PS/DS” di Figura 6), le informazioni di spostamento (velocità medie e trend di spostamento - Blocchi “PS/DS” di Figura 6) e uno o più parametri relativi alla precisione delle stime effettuate.

Maggiori dettagli sono disponibili nel lavoro [RD2].

La Figura 7 mostra infine un esempio di applicazione dell’algoritmo SPINUA per il monitoraggio di una frana attraversata da un’autostrada.

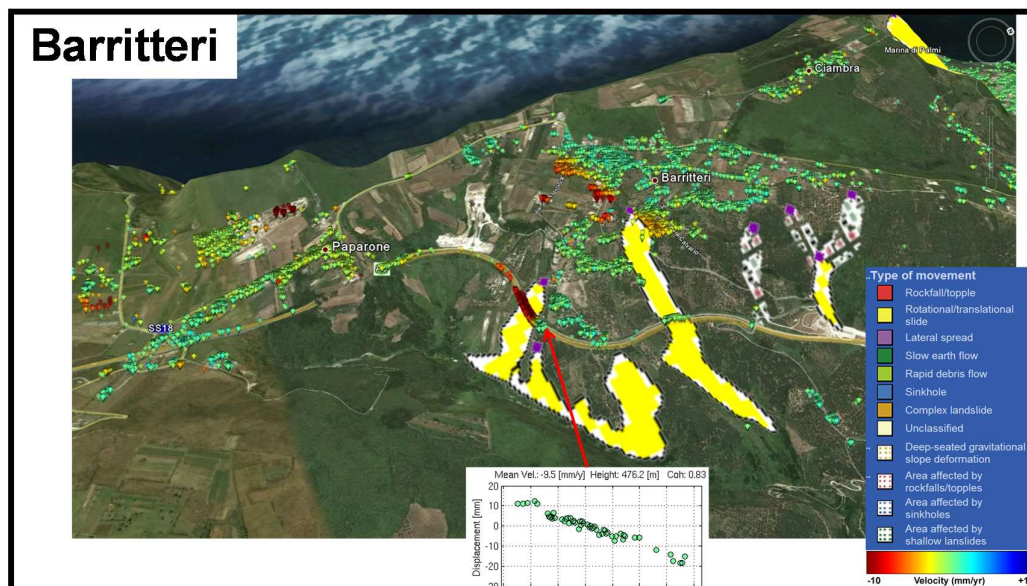


Figura 7: la figura mostra una mappa prodotta da SPINUA con presenza di punti in movimento lungo il viadotto “Giambarelli” nei pressi del paese di Barritteri. Gli spostamenti sono dovuti alla instabilità del versante come riportato dall’inventario delle frane italiane del progetto IFFI.

Caratteristiche dei satelliti considerati

1.3. Introduzione

Per il presente lavoro di monitoraggio sono stati elaborati dati SAR acquisiti dalla costellazione Sentinel-1 dell'Agenzia Spaziale Europea.

Maggiori dettagli sono forniti nel paragrafo seguente.

1.4. Costellazione SENTINEL-1

SENTINEL-1 è una costellazione di due satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea nell'ambito del programma Copernicus. Nello specifico, SENTINEL-1 A è stato lanciato il 3 Aprile 2014 e SENTINEL-1 B è stato lanciato il 25 Aprile 2016.

Su ciascun satellite vi è un radar ad apertura sintetica operante in banda C in grado di fornire immagini di giorno, di notte e in tutte le condizioni atmosferiche.

La costellazione SENTINEL-1 è in grado di offrire bassi tempi di rivisita (fino ad una 1 immagine ogni 6 giorni nel caso di applicazioni interferometriche), una elevata copertura geografica e la rapida diffusione dei dati per supportare applicazioni operative nei settori del monitoraggio marino, del monitoraggio del territorio e dei servizi di emergenza.

Uno degli obiettivi principali della missione è quello di fornire continuità alle precedenti missioni SAR in banda C dell'ESA (ERS-1/2 ed ENVISAT).

Lo strumento SAR a bordo di SENTINEL-1 permette di acquisire dati in quattro modalità (si veda figura 9):

- Strip Map Mode: 80 km Swath, 5 × 5 m² spatial resolution.
- Interferometric Wide Swath: 250 km Swath, 5 × 20 m² spatial resolution.
- Extra-Wide Swath Mode: 400 km Swath, 25 × 100 m² spatial resolution.
- Wave-Mode: 20 km × 20 km, 5 × 20 m² spatial resolution.

La Interferometric Wide Swath rappresenta la modalità operativa principale di SENTINEL-1 e offre uno swath largo 250 km con risoluzioni geometriche (20 m) e radiometriche adatte alla maggior parte delle applicazioni. Questa modalità rappresenta quella adottata per il presente lavoro.

Maggiori dettagli su SENTINEL-1 sono reperibili in [RD3].

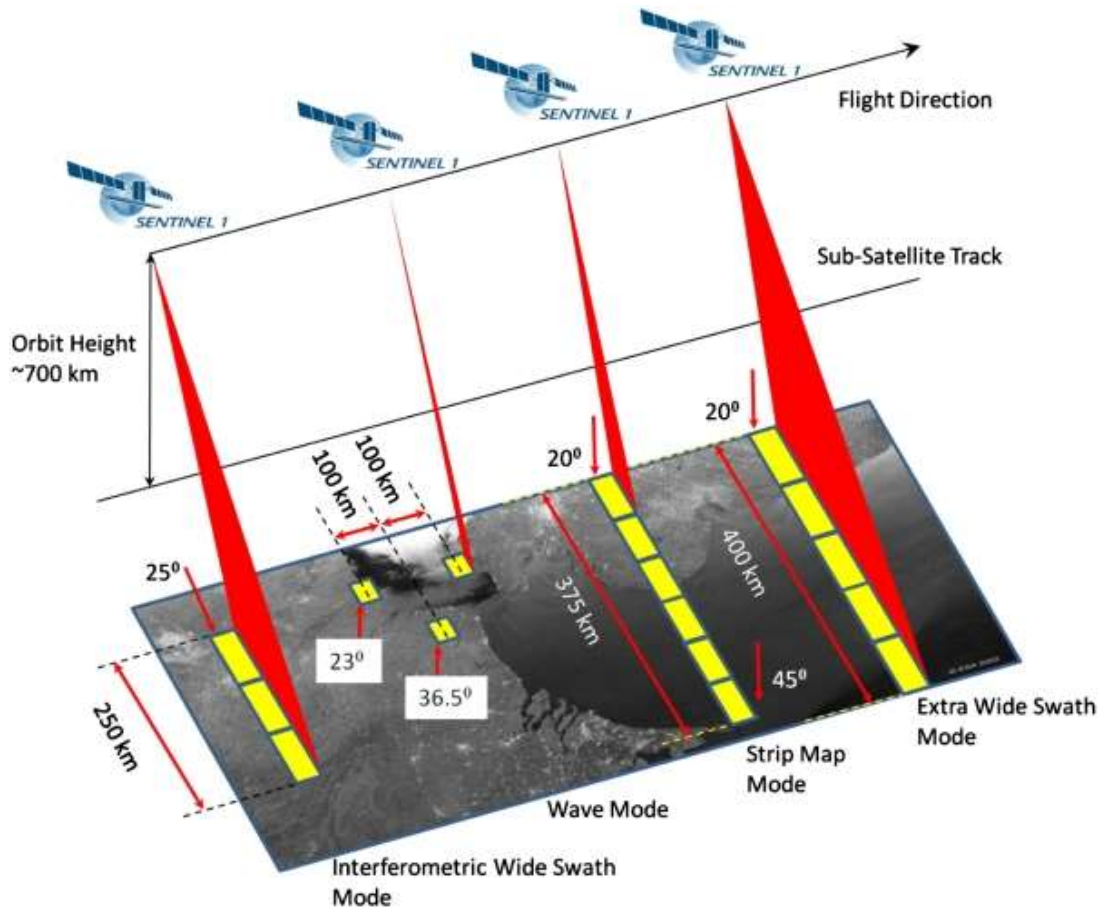


Figura 8: Modalità di acquisizione della costellazione SENTINEL-1 [Fonte: ESA].

Elaborazione dei dati SAR

Il lavoro di elaborazione di ciascun data-set disponibile sull'area di studio si compone di diverse fasi illustrate nel diagramma a blocchi della Figura 9 seguente.

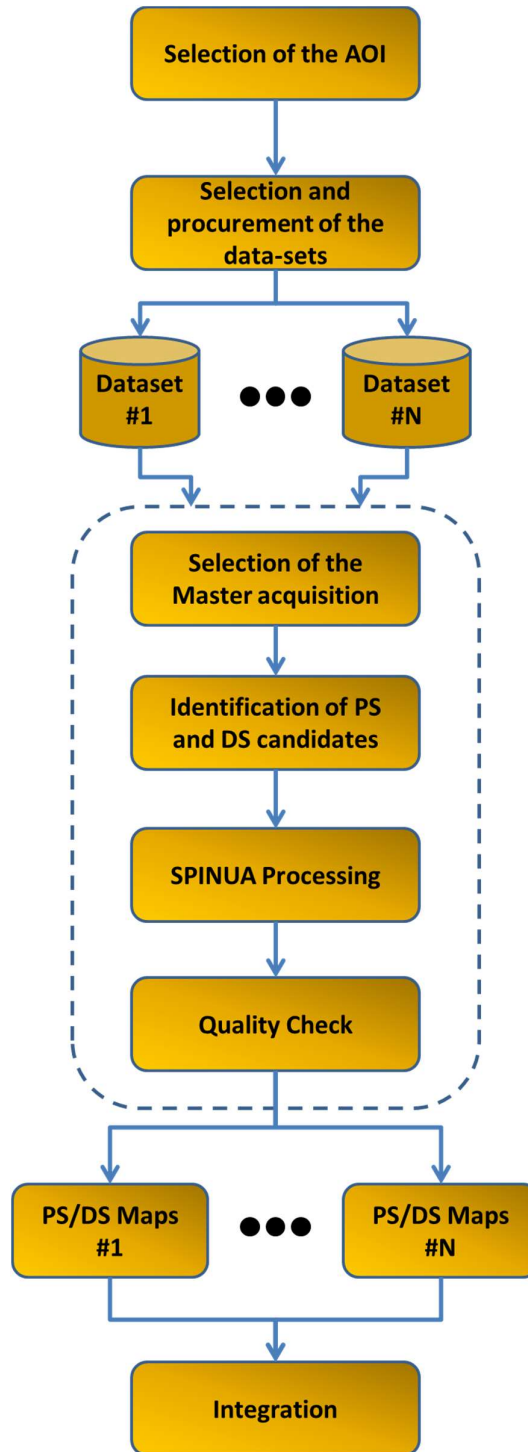


Figura 9: Fasi principali della elaborazione dei dati SAR sull'area di studio.

La prima fase (Blocco “Selection of the AOI” di Figura 9) ha previsto la definizione dell’area di interesse su cui applicare la tecnica di monitoraggio degli spostamenti del terreno. L’obiettivo dello studio è la valutazione dei fenomeni di spostamento in atto all’interno sull’area della concessione Gorgoglione come evidenziato in Figura 10.

Nella seconda fase (Blocco “Selection and procurement of the data-sets” di Figura 9) è stata condotta una analisi sui cataloghi dati dell’ESA per verificare la disponibilità di dataset Sentinel-1 acquisiti in modalità interferometrica nel periodo di interesse (Ottobre 2014 – Giugno 2018).

In particolare, come illustrato nella figura seguente, sono stati individuati 2 stack interferometrici acquisiti da Sentinel-1 con 159 passaggi ascendenti e 153 passaggi discendenti per un totale di 312 scene.

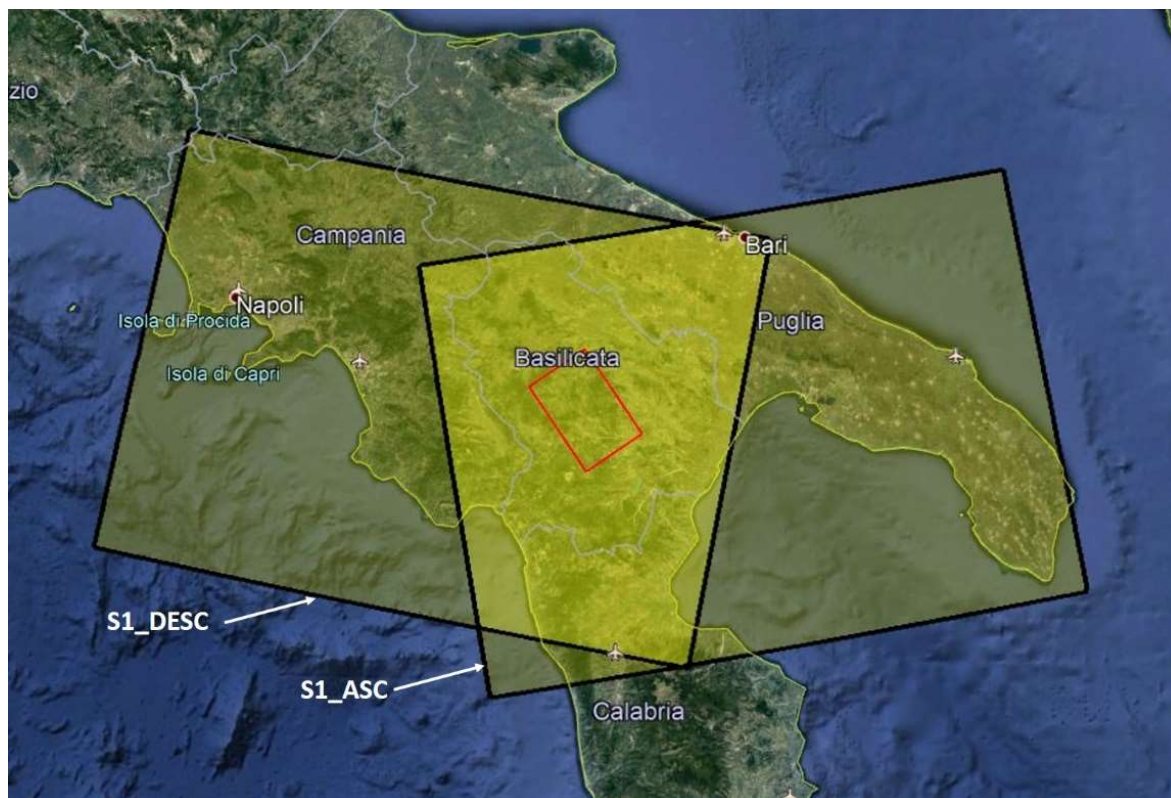


Figura 10: Distribuzione e copertura dei 2 data-set Sentinel-1 Ascending e Descending oggetto della elaborazione sull’area di interesse (Poligono in Rosso).

Successivamente (Blocco “Selection of the Master acquisition” di Figura 9), a partire dalle acquisizioni disponibili è stata selezionata per ciascuno stack l’immagine da assumere come riferimento temporale e geometrico del processing. Tale immagine è denominata immagine Master. La scelta della immagine Master è stata effettuata selezionando per ciascun data-set una immagine con posizione centrale rispetto al periodo coperto e rispetto ai valori di baseline perpendicolare.

In particolare, sono state effettuate le scelte indicate nelle tabelle seguenti.

Tabella 2 - Date delle immagini master selezionate per ciascun data-set.

ID Dataset interferometrico	Costellazione	Passaggio	Data Master	Numero immagini nel periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018
S1_ASC	Sentinel-1	Ascendente	2 Gennaio 2017	159
S1_DESC	Sentinel-1	Discendente	9 Ottobre 2016	153

La Figura 11 mostra il numero e la distribuzione delle immagini Sentinel-1 processate nell'intervallo temporale che va da Ottobre 2014 a Giugno 2018, sia in configurazione ascendente che discendente.

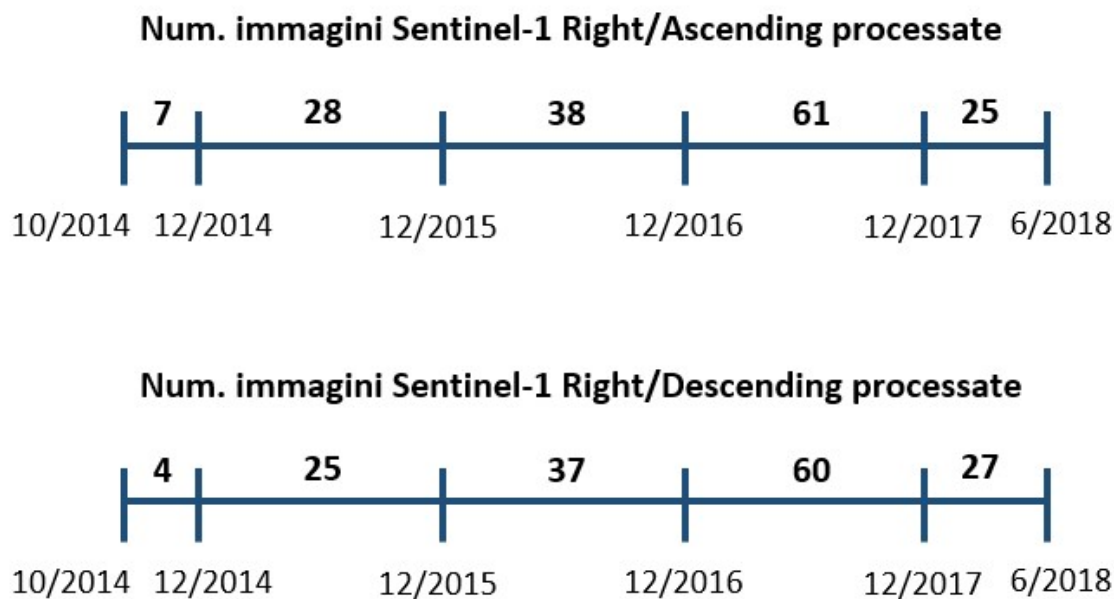


Figura 11: Numero immagini Sentinel-1 Right/Ascending e Right/Descending

Si osserva che il monitoraggio tramite immagini Sentinel-1 in modalità Right/Ascending copre l'intervallo temporale **ottobre 2014 - maggio 2018** (dal 15/10/2014 al 27/05/2018) con un totale di 159 acquisizioni.

L'annualità con il maggior numero di acquisizioni ascending risulta essere il 2017 con un numero di acquisizioni pari a 61. La frequenza delle acquisizioni è stata raddoppiata dal 22/09/16 grazie all'entrata in funzione di un secondo satellite Sentinel (Sentinel-1B), rendendo possibile un'acquisizione ogni 6 giorni.

Le acquisizioni Sentinel-1 in modalità Right-Descending coprono l'intervallo temporale **ottobre 2014 - maggio 2018** (dal 14/10/2014 al 07/06/2018) con un totale di 153 acquisizioni.

L'annualità con il maggior numero di acquisizioni risulta essere il 2017, con un numero di acquisizioni pari a 60. La frequenza delle acquisizioni descending è stata raddoppiata dal 21/09/16 rendendo possibile il processamento di un'immagine ogni 6 giorni.

È stato successivamente eseguito il primo passo dell'elaborazione SPINUA (Blocco "Identification of PS and Candidates" di Figura 9) che ha consentito l'individuazione dei PS e dei DS candidati sull'intera area di studio.

A partire dalla mappa dei PS e dei DS candidati è stato quindi applicato l'algoritmo SPINUA per la rimozione degli artefatti atmosferici e per la produzione delle **mappe degli spostamenti** sull'area di interesse (Blocco "SPINUA Processing" di Figura 9) indicate dai blocchi "PS/DS Maps" di Figura 9.

Prima della conversione nel formato shapefile, tali mappe (assieme ai prodotti intermedi generati da SPINUA) sono state verificate attraverso ispezione visiva e procedure specifiche di quality check (Blocco "Quality Check" di Figura 9).

Infine (Blocco “Integration” di Figura 9) tali mappe sono state integrate al fine di combinare le viste ascendenti e discendenti.

È importante precisare che le misure di spostamento ottenute con la elaborazione SAR sono proiettate lungo la linea di vista del satellite. In particolare, valori positivi degli spostamenti indicano punti in avvicinamento al satellite mentre valori negativi indicano punti in allontanamento dal satellite. Nel caso dei data-set ascendenti il satellite osserva la scena da Sud-Ovest verso Nord-Est mentre nel caso dei data-set discendenti il satellite osserva la scena da Sud-Est verso Nord-Ovest. Ne deriva che nel caso di spostamenti perfettamente verticali entrambe le geometrie di acquisizione misurano lo stesso segno di velocità, mentre nel caso di spostamenti affetti anche da componenti orizzontali, le due geometrie di acquisizione possono registrare velocità di spostamento di segno opposto. Maggiori dettagli sono forniti nelle due figure seguenti.

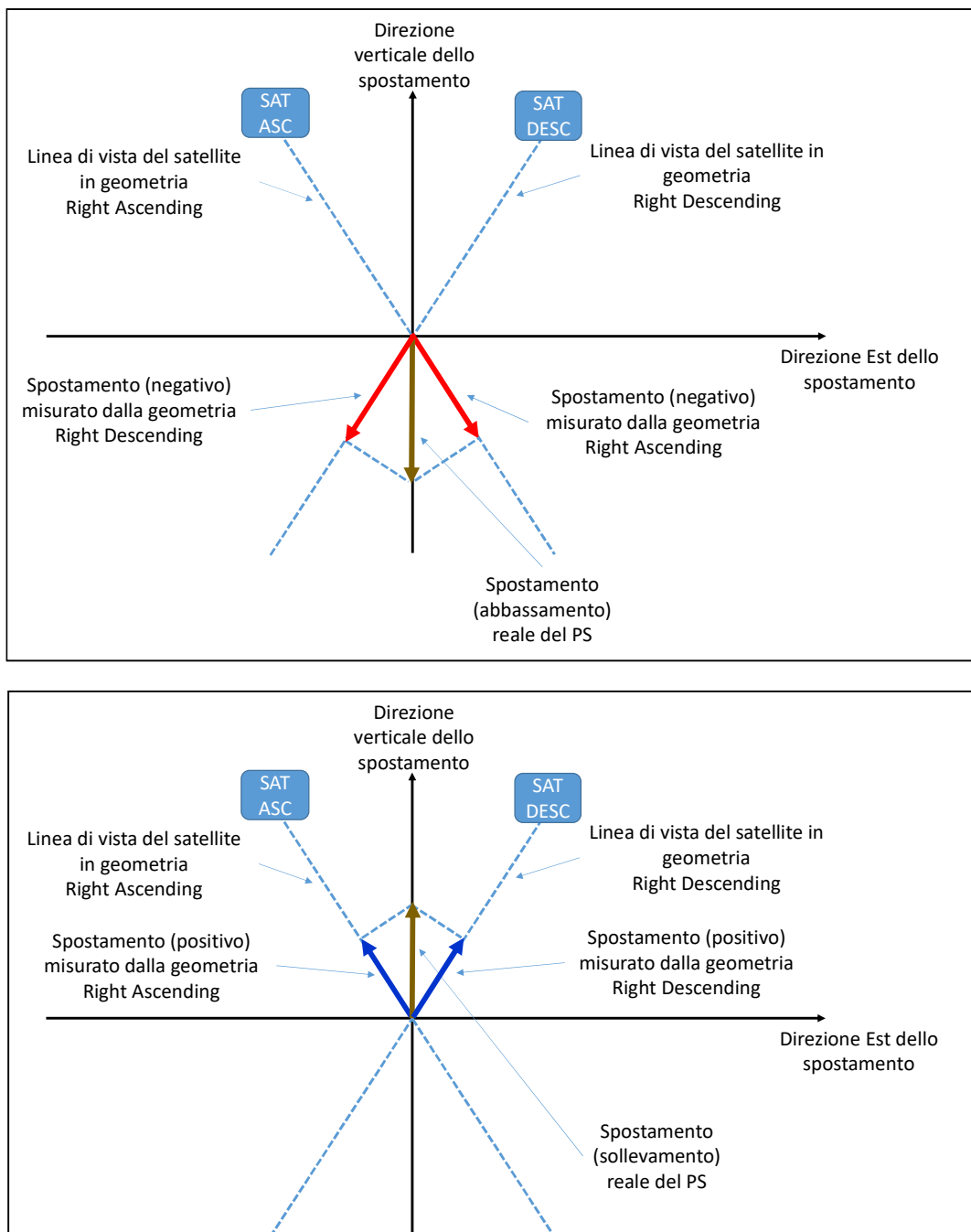


Figura 12: In alto: esempio di abbassamento verticale del terreno rappresentato dal vettore di colore marrone. I vettori di colore rosso rappresentano la proiezione dello spostamento reale sulle direzioni di vista dei satelliti in geometria ascendente e discendente. Si osserva che l'abbassamento si traduce in un allontanamento del PS dal satellite sia nella geometria ascendente sia nella geometria discendente e pertanto le misure di spostamento risultano entrambe con velocità negativa (vettori di colore rosso). Nel caso della figura in basso si ha un sollevamento e la situazione si inverte, poiché entrambe le geometrie misurano spostamenti con velocità positive (vettori di colore blu).

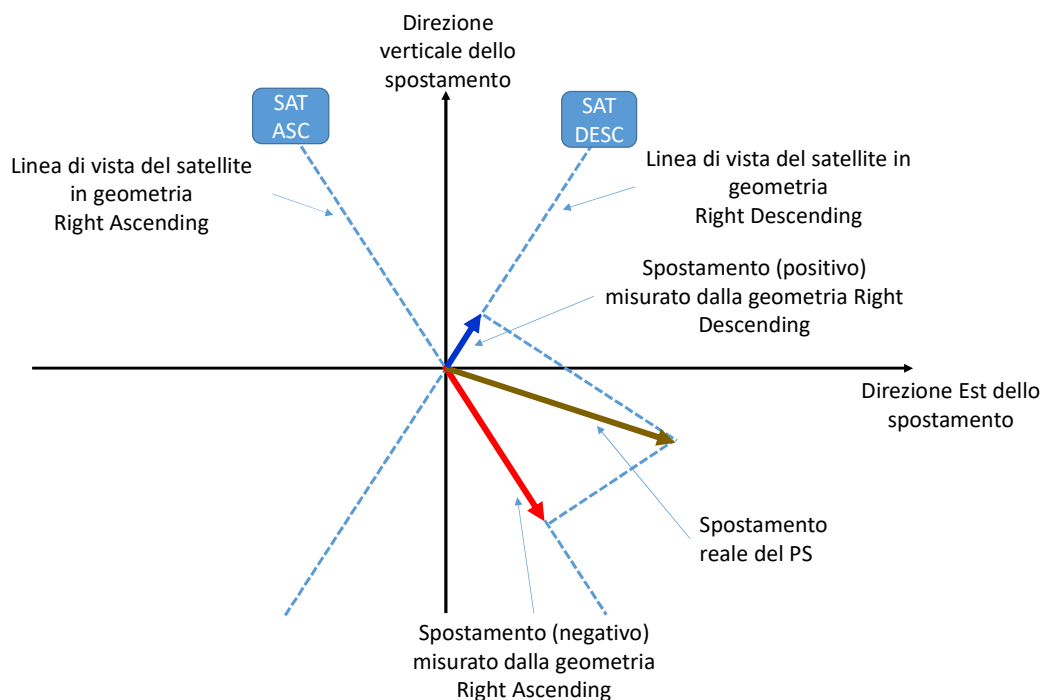


Figura 13: esempio di spostamento del terreno (vettore di colore marrone) con presenza di una componente orizzontale oltre che verticale. Il vettore di colore rosso rappresenta la proiezione dello spostamento lungo la direzione di vista della geometria ascendente. Il colore rosso indica uno spostamento negativo ossia in allontanamento dal satellite. Al contrario, il vettore di colore blu rappresenta la proiezione dello spostamento lungo la direzione di vista della geometria discendente e indica uno spostamento positivo, ossia in avvicinamento al satellite.

Si osserva infine che la disponibilità di entrambe le viste (ascendente e discendente) permette inoltre di mitigare i tipici effetti di distorsione prospettica tipici di aree con orografia pronunciata come descritto nella figura seguente.



Figura 14: Immagini di intensità SAR riprese in modalità ascendente (in alto) e in modalità discendente (in basso) proiettate su Google Earth nei pressi di un caso di esempio non oggetto del presente contratto (denominato dissesto F7).

Sono evidenti gli effetti di distorsione prospettica introdotti dalla geometria di acquisizione SAR; ne deriva sia l'importanza della selezione di idonee geometrie di acquisizione nel caso di analisi di instabilità di versanti sia la complementarità delle due viste. Nello specifico, per i versanti esposti ad Est la geometria più idonea è quella di tipo Right/Ascending mentre per i versanti esposti ad Ovest la geometria più idonea è quella di tipo Right/Descending.

1.5. Sistema di riferimento

Il sistema di riferimento utilizzato è il WGS84.

Misure interferometriche

1.6. Sintesi

Lo studio ha riguardato il monitoraggio dell'area della concessione Gorgoglione (Operatore Total E&P Italia) con particolare riferimento alle zone di estrazione. In particolare, in questa prima fase, sono stati elaborati 2 dataset Sentinel-1 (ascending e descending) sul seguente periodo:

- Monitoraggio Ottobre 2014 – Giugno 2018 sull'intera area di studio;

Il monitoraggio ha permesso di evidenziare la situazione di stabilità/movimenti sui piazzali dei pozzi di estrazione e sull'intera area di interesse con particolare attenzione ai centri abitati in modo da evidenziare l'eventuale presenza di fenomeni di subsidenza e/o frane precedenti rispetto all'inizio delle attività di estrazione.

L'analisi interferometrica, ha permesso di ottenere una buona densità di punti di misura sull'intera area monitorata, più alta in corrispondenza dei centri abitati e delle infrastrutture rispetto alle zone vegetate e ad uso agricolo. In particolare, nel presente studio sono stati analizzati sia i bersagli radar distribuiti (DS) che puntuali (PS) e l'analisi ha permesso di individuare 393.156 punti di misura dal dataset ascendente e 244.585 punti di misura dal dataset discendente. Ogni punto di misura è identificato tramite il PS ID ed il relativo dataset di appartenenza e tramite la piattaforma Rheticus® Displacement è possibile analizzare la relativa serie storica di spostamento, velocità media, accelerazione, coerenza, posizione e quota, unitamente ai dati di precipitazione sull'area.

In **Figura 15** e **Figura 16** sono riportate le mappe con la velocità media annua (mm/anno) misurata lungo la linea di vista del satellite (LOS) nel periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 ottenuta dall'analisi dei dataset Sentinel-1 ascending e descending rispettivamente sull'intera area di interesse.

La scala di colore utilizzata per tematizzare le velocità identifica con i colori arancione e rosso allontanamenti dal sensore lungo la direzione di LOS (valori negativi), con il verde i punti stabili e in blu gli avvicinamenti al sensore (valori positivi) sempre lungo la linea di vista del satellite (LOS). Il valore di deviazione standard delle velocità medie, considerando solo i PS aventi coerenza superiore a 0.56 e 0.62 per il dataset Ascending e Descending rispettivamente, non eccedono il valore di 1 mm/anno.

In **Figura 17** e **Figura 18** sono riportate le mappe con le componenti della velocità media (mm/anno) rispettivamente Verticale ed Orizzontale (Est-Ovest) ottenute dalla combinazione delle misure Ascending e Descending. I valori di deviazione standard non eccedono il valore di 1 mm/anno sia per la componente orizzontale (Est-Ovest) che Verticale.

L'analisi dei risultati ha messo in evidenza alcuni fenomeni di spostamento in atto su alcuni centri abitati come descritto di seguito:

- **Gorgoglione:** La zona sud del centro abitato presenta una velocità media lungo le LOS pari a circa -6 mm/anno nel periodo Ottobre 2014-Giugno 2018 come evidenziato in Figura 19 e Figura 20.
- **Stigliano:** La zona nord del centro abitato presenta movimenti che raggiungono velocità medie pari -40 mm/anno lungo la LOS ascending e -11.5 mm/anno in orbita Descending nel periodo Ottobre 2014 - Giugno 2018 come evidenziato in Figura 21 e Figura 22. La zona Sud-Ovest presenta velocità medie sullo stesso periodo pari a -6 mm/anno in geometria Descending mentre risulta mediamente stabile per la geometria Ascending.

Dall'analisi delle componenti orizzontali e verticali, sulla zona nord si evince uno spostamento medio in direzione Est pari a 28 mm/anno e una componente di abbassamento verticale medio pari a -22 mm/anno sullo stesso periodo mentre la

zona sud-ovest presenta uno spostamento medio in direzione Ovest pari a -4 mm/anno e una componente di abbassamento verticale pari a -3.5 mm/anno come evidenziato in Figura 23.

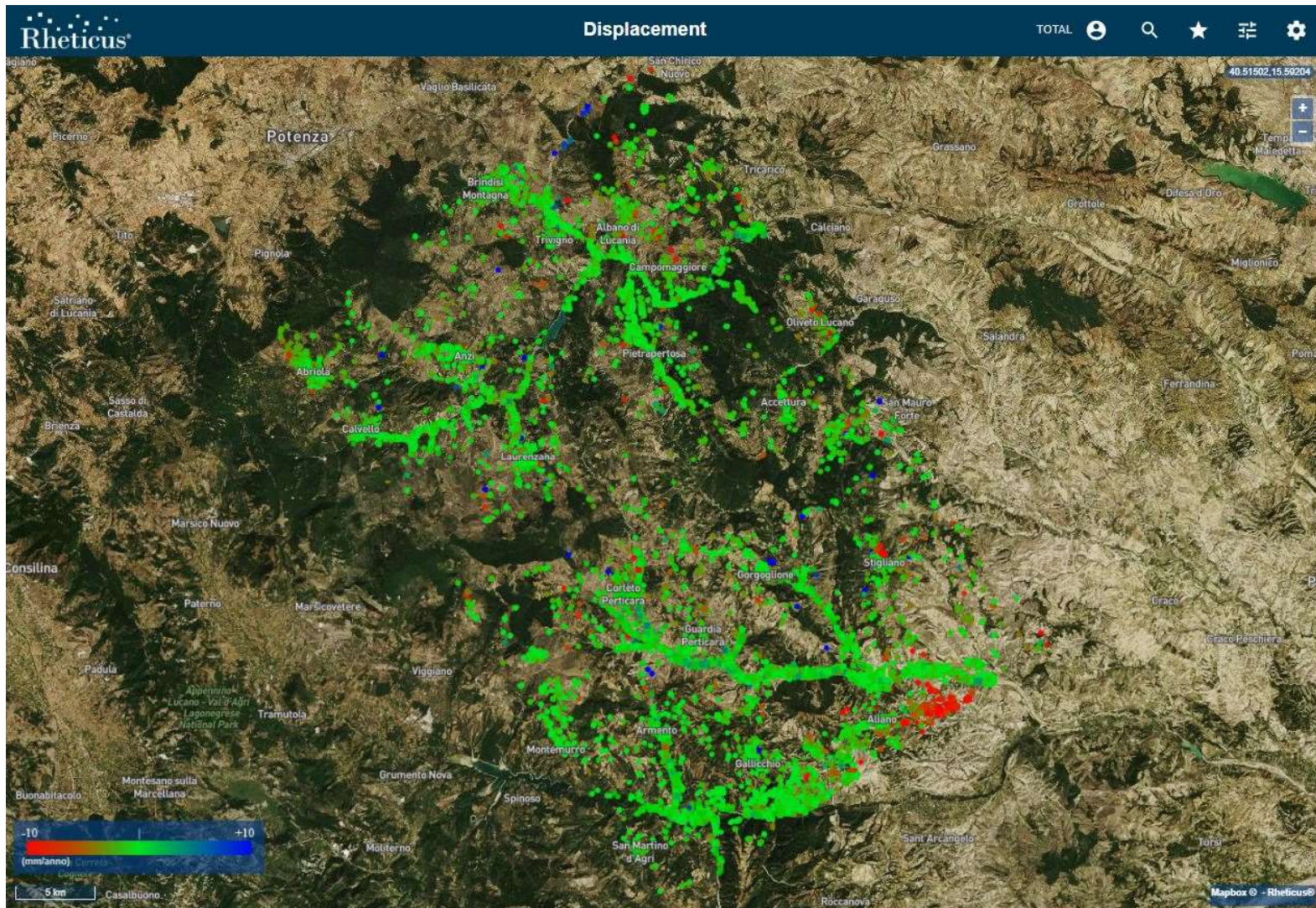


Figura 15: Mappa velocità media annua (mm/anno) lungo la LOS periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 ottenuta dal processamento del dataset Sentinel-1 in orbita ascending.

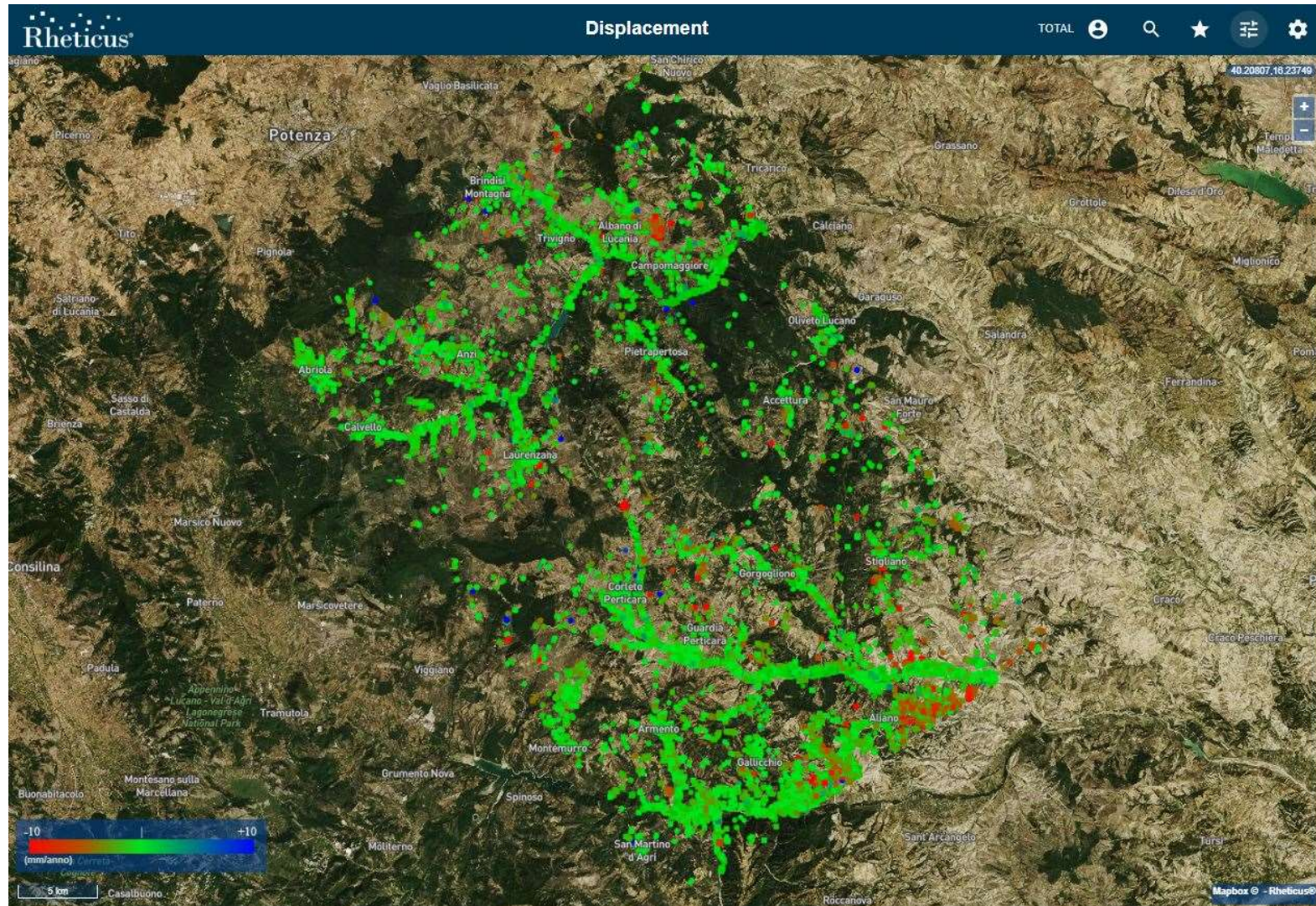


Figura 16: Mappa velocità media annua (mm/anno) lungo la LOS nel periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 ottenuta dal processamento del dataset Sentinel-1 in orbita descending.

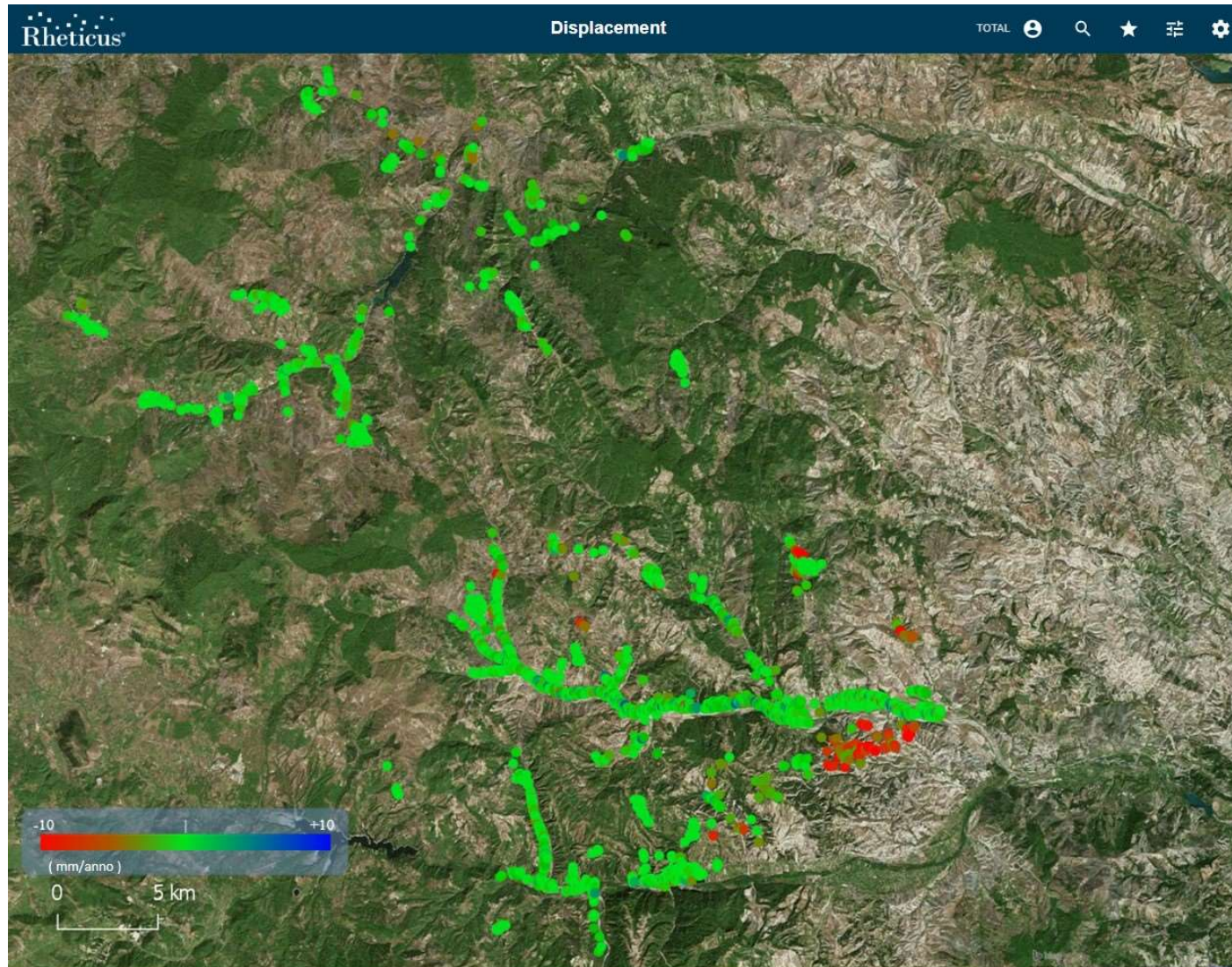


Figura 17: Mappa velocità media annua (mm/anno) lungo la direzione verticale nel periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 ottenuta dalla combinazione delle immagini Ascending e Descending acquisite dal satellite Sentinel-1.

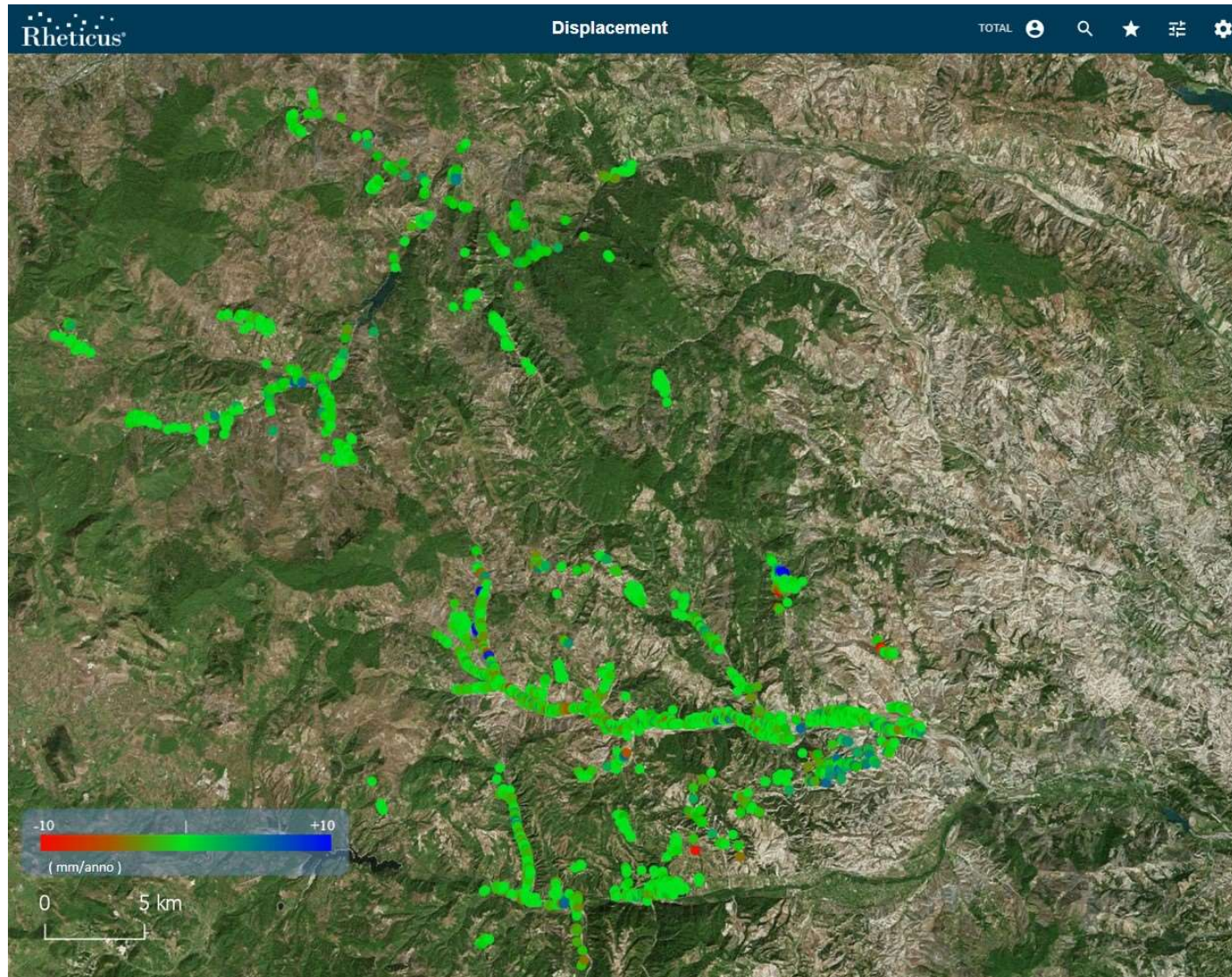


Figura 18: Mappa velocità media annua (mm/anno) in direzione Est(+) - Ovest(-) nel periodo Ottobre 2014 - Giugno 2018 ottenuta dalla combinazione delle immagini Ascending e Descending acquisite dal satellite Sentinel-1.



Figura 19: Mappa di velocità media (mm/anno) PS/DS sul centro abitato di Gorgoglione calcolata sul periodo Ottobre 2014 - Giugno 2018. La zona sud del centro abitato presenta una velocità media lungo la LOS pari a circa -6 mm/anno.

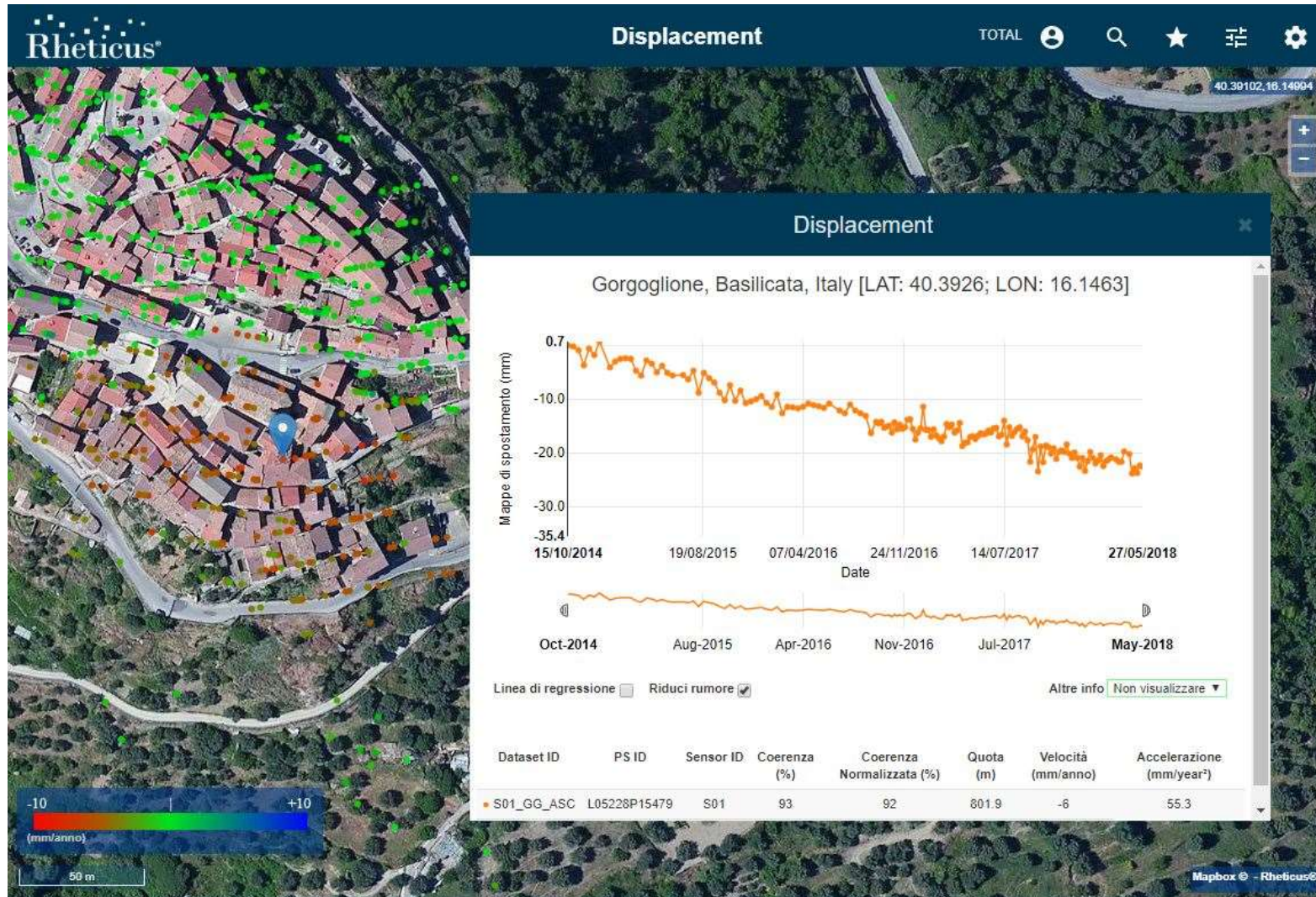


Figura 20: Serie temporale del PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) ad alta coerenza (0.93) situato al centro dell'area in movimento del centro abitato di **Gorgoglione**. La velocità media del PS sul periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 è pari a -6 mm/anno.

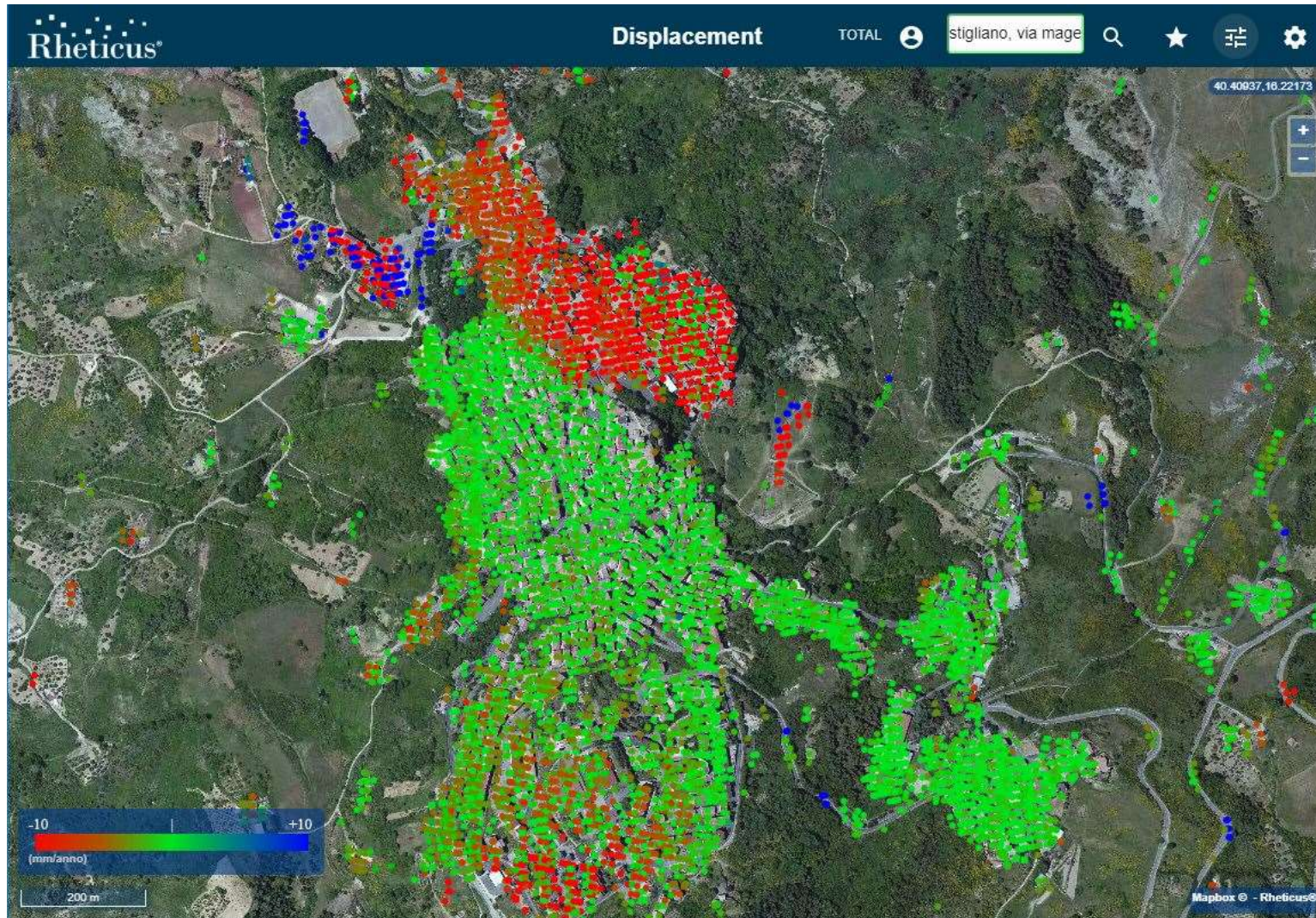


Figura 21: Mappa di velocità media (mm/anno) PS/DS sul centro abitato di **Stigliano** calcolata sul periodo Ottobre 2014 - Giugno 2018. La zona nord-est del centro abitato presenta movimenti che raggiungono velocità medie pari -40 mm/anno lungo la LOS Ascending e -11.5 mm/anno in orbita Descending. La zona Sud-Ovest presenta velocità medie sullo stesso periodo pari a -6 mm/anno in geometria Descending mentre risulta mediamente stabile per la geometria Ascending.

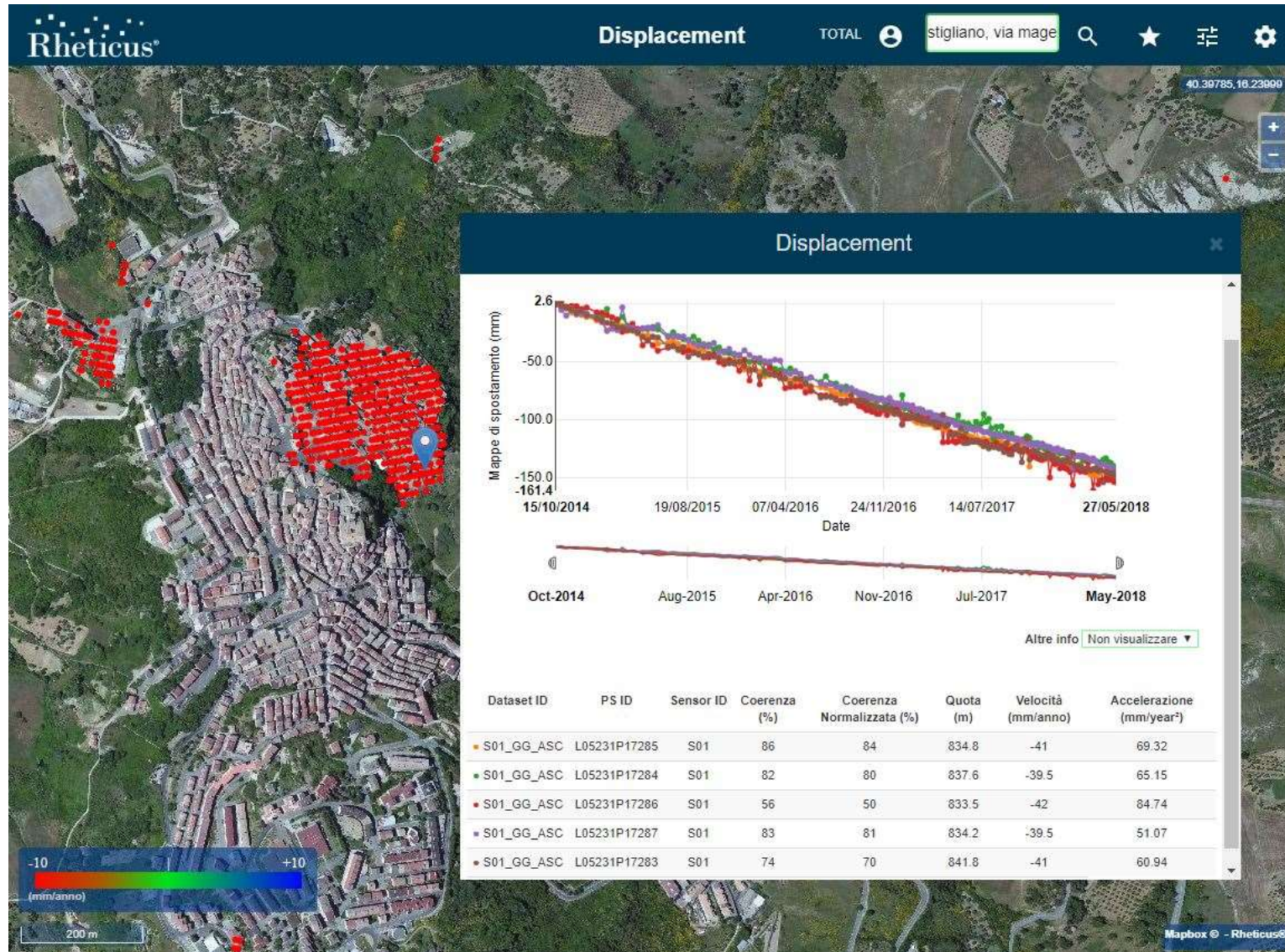


Figura 22: Visualizzazione dei soli PS/DS caratterizzati da una velocità media di abbassamento superiore a -20 mm/anno. Il grafico mostra le serie temporali di 5 PS (evidenziati dal puntatore blu nell'immagine) a più alta velocità situati nella zona Nord-Est del centro abitato di Stigliano caratterizzati da una velocità media in orbita Ascending pari a -40 mm/anno.

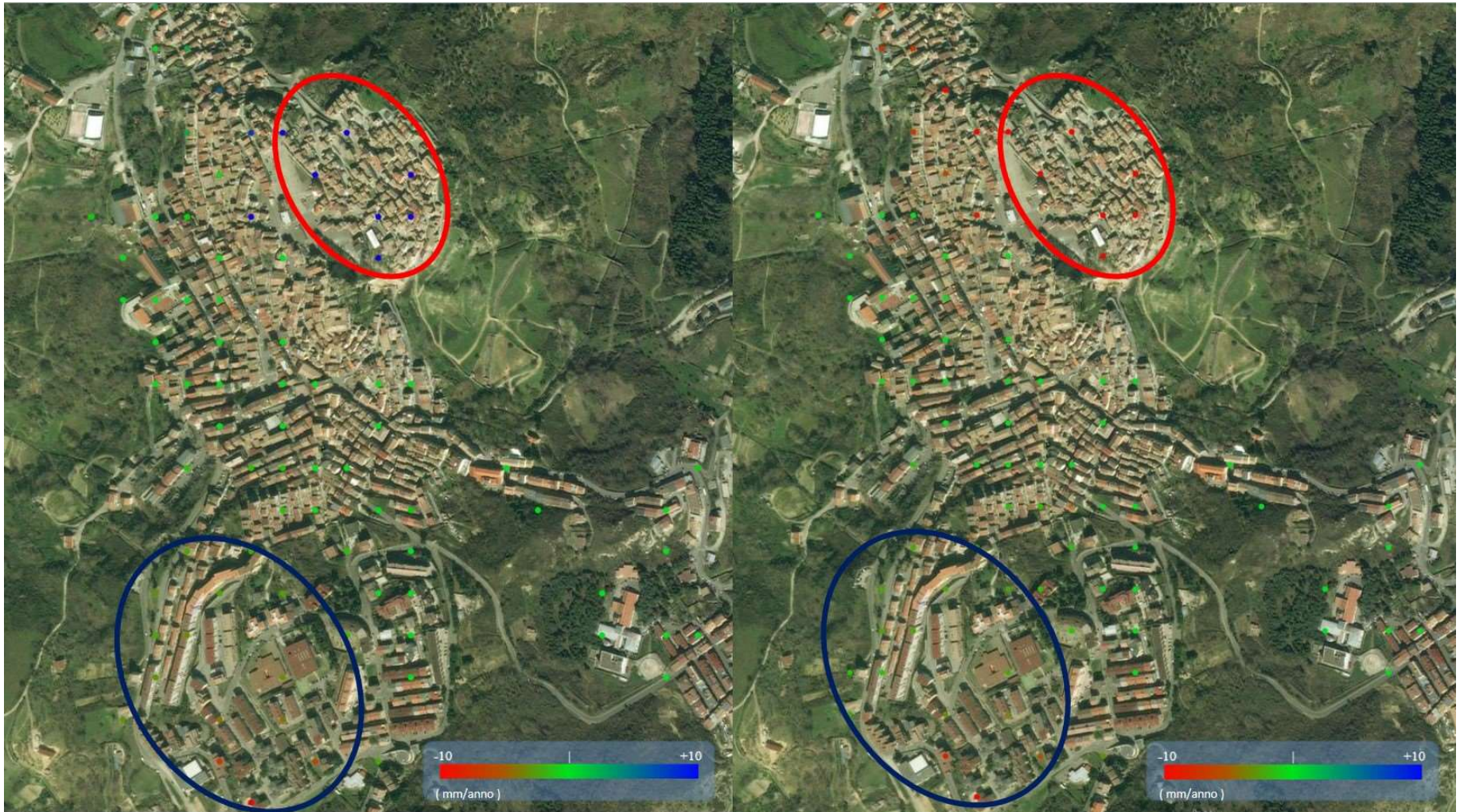


Figura 23: Mappa delle componenti di velocità media Est-Ovest (immagine di sinistra) e Verticale (immagine di destra) sul centro abitato di **Stigliano** calcolata sul periodo Ottobre 2014 - Giugno 2018. Sulla zona nord (evidenziata dal poligono rosso nelle immagini) si evince una velocità media in direzione Est pari a 28 mm/anno e una componente di abbassamento verticale medio pari a -22 mm/anno mentre la zona sud-ovest (evidenziata dal poligono blu nelle immagini) presenta uno spostamento medio in direzione Ovest pari a -4 mm/anno fino ad un massimo di -14 mm/anno e una componente di abbassamento verticale pari a -3.5 mm/anno fino ad un massimo di -13 mm/anno.

1.7. Dettaglio pozzi di produzione e centro oli

Nelle figure seguenti si riportano le mappe dei PS/DS tematizzati sulla base della velocità media calcolata nel periodo Ottobre 2014-Giugno 2018 misurata in mm/anno sulle zone di produzione e stoccaggio.



Figura 24: **Pozzo GG-1** caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali si evince una generale stabilità nel periodo Ottobre 2014-Giugno 2018.



Figura 25: Pozzo GG-2 caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali si evince la stabilità del piazzale ad eccezione della zona a nord ovest che presenta movimenti con velocità medie misurate lungo la LOS in orbita descending comprese tra -7 e -10 mm/anno nel periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018.



Figura 26: Serie temporale del PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) con coerenza 0.89 situato sulla porzione Nord-Ovest in movimento della piazzola del **pozzo GG-2**. La velocità media del PS sul periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 è pari a -9 mm/anno.



Figura 27: **Pozzo TE-1** caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali si evincono movimenti medi diffusi misurati lungo la LOS Ascending caratterizzati da una velocità media pari a circa -5 mm/anno nel periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018

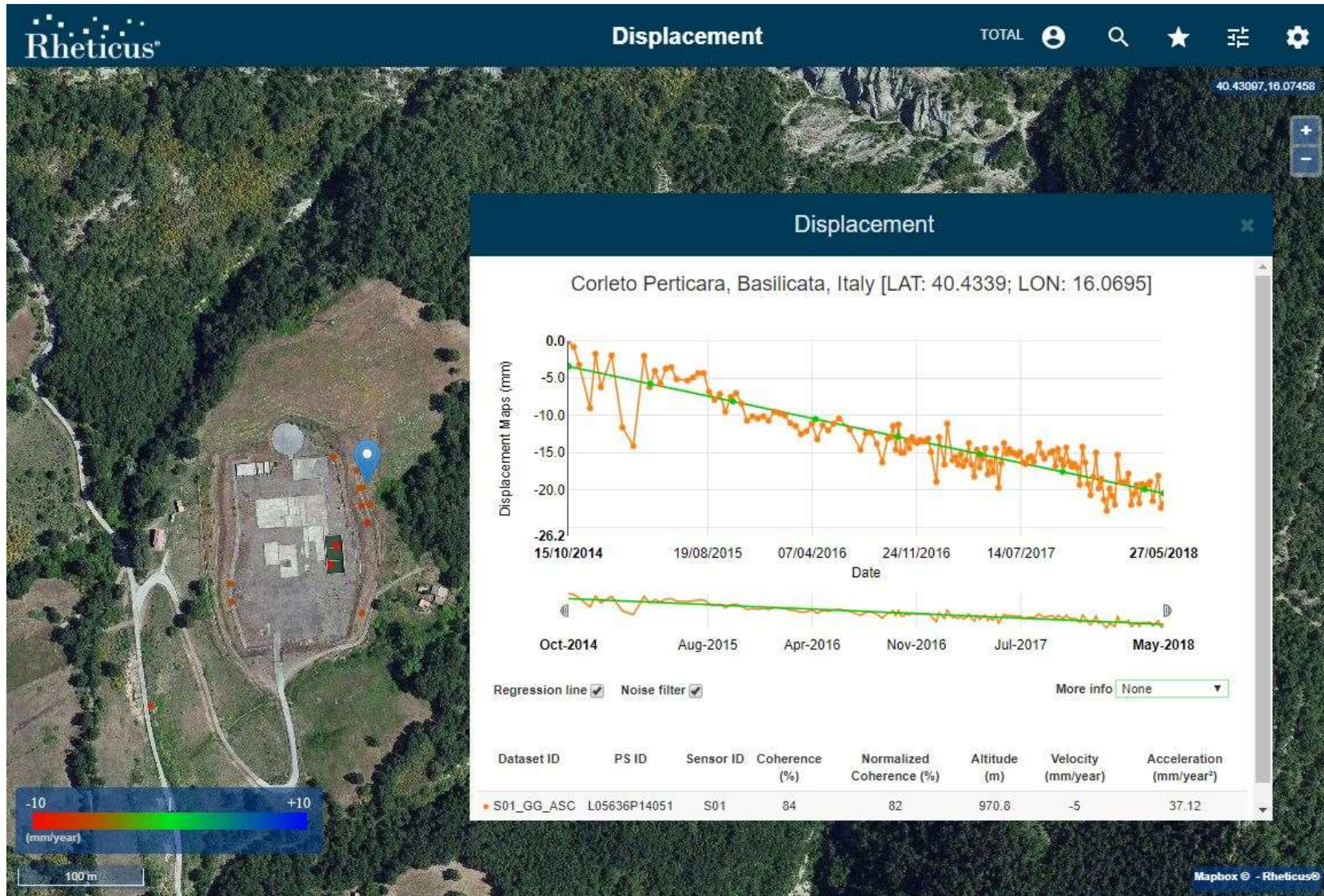


Figura 28: Visualizzazione dei soli PS localizzati sul **pozzo TE-1** con velocità media pari o inferiore a -5 mm/anno. Il grafico riporta la serie temporale del PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) a coerenza più alta (0.84) situato sul lato est della piazzola. La velocità media del PS è pari a -5 mm/anno sul periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018.

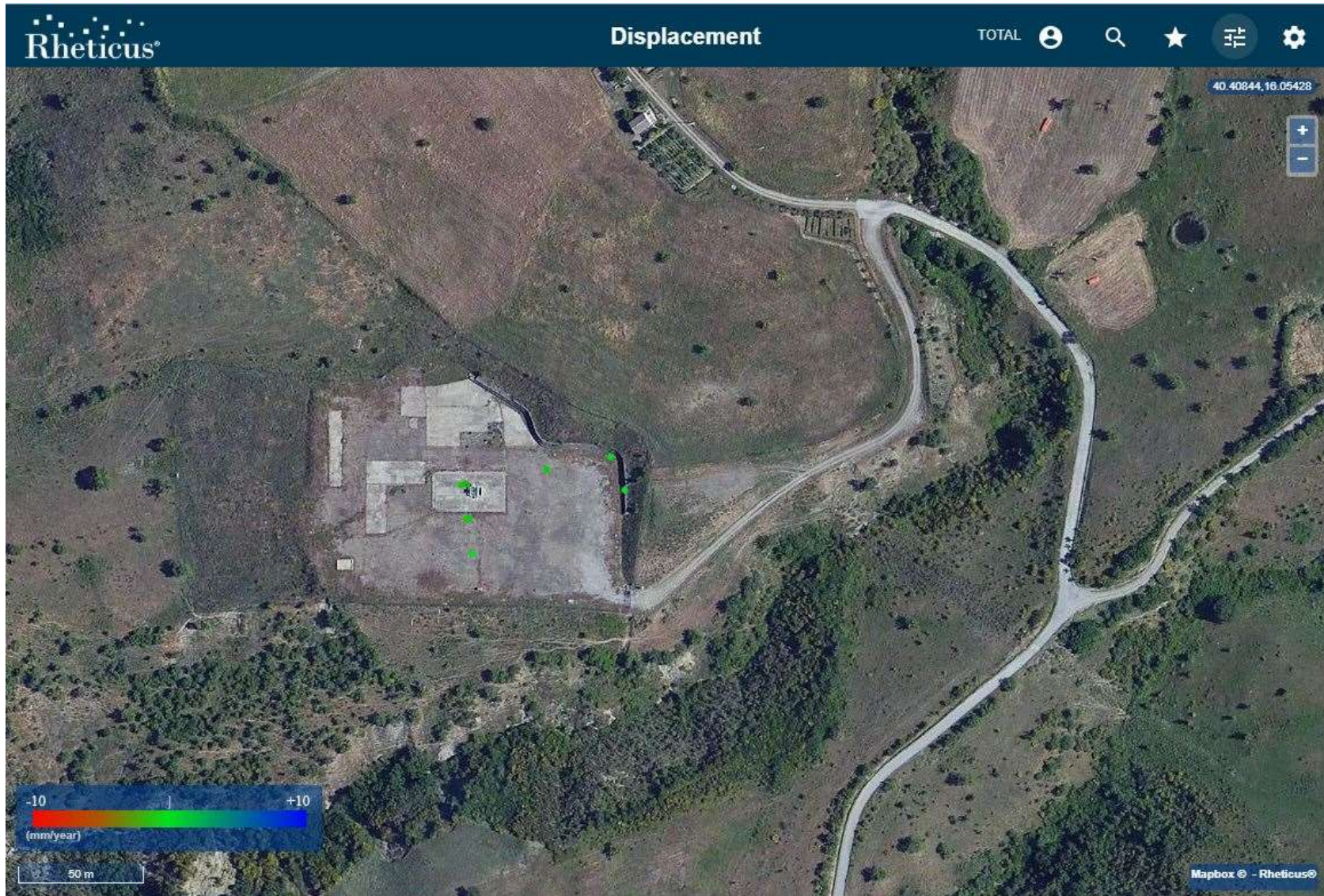


Figura 29: **Pozzo PT-1** caratterizzato da una discreta copertura di PS e dai quali si evince una generale stabilità nel periodo Ottobre 2014-Giugno 2018.



Figura 30: Pozzo TR-1 sulla cui piazzola solo stati individuati 2 PS che mostrano una situazione di stabilità nel periodo Ottobre 2014-Giugno 2018.



Figura 31: **Pozzo TR-2** dove i PS presenti sulla piazzola mostrano una situazione di stabilità mentre il piazzale situato ad ovest mostra una velocità media pari a circa -6 mm/anno nel periodo Ottobre 2014 - Giugno 2018.

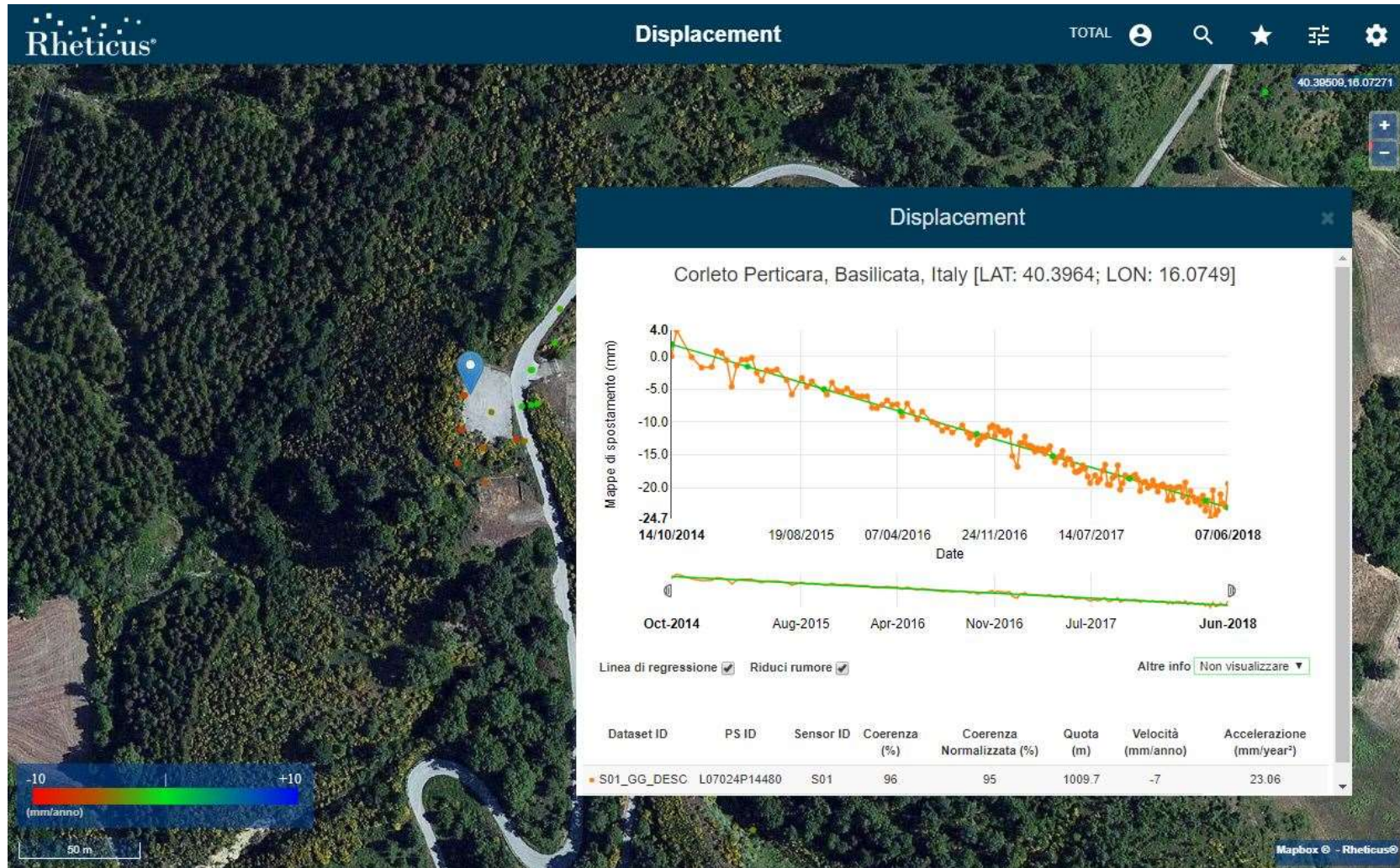


Figura 32: Serie temporale del PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) a più alta coerenza (0.96) situato sul piazzale ad ovest del pozzo TR-2. La velocità media del PS sul periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 è pari a -7 mm/anno.



Figura 33: LPG Center caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali si evince una generale stabilità nel periodo Ottobre 2014-Giugno 2018.

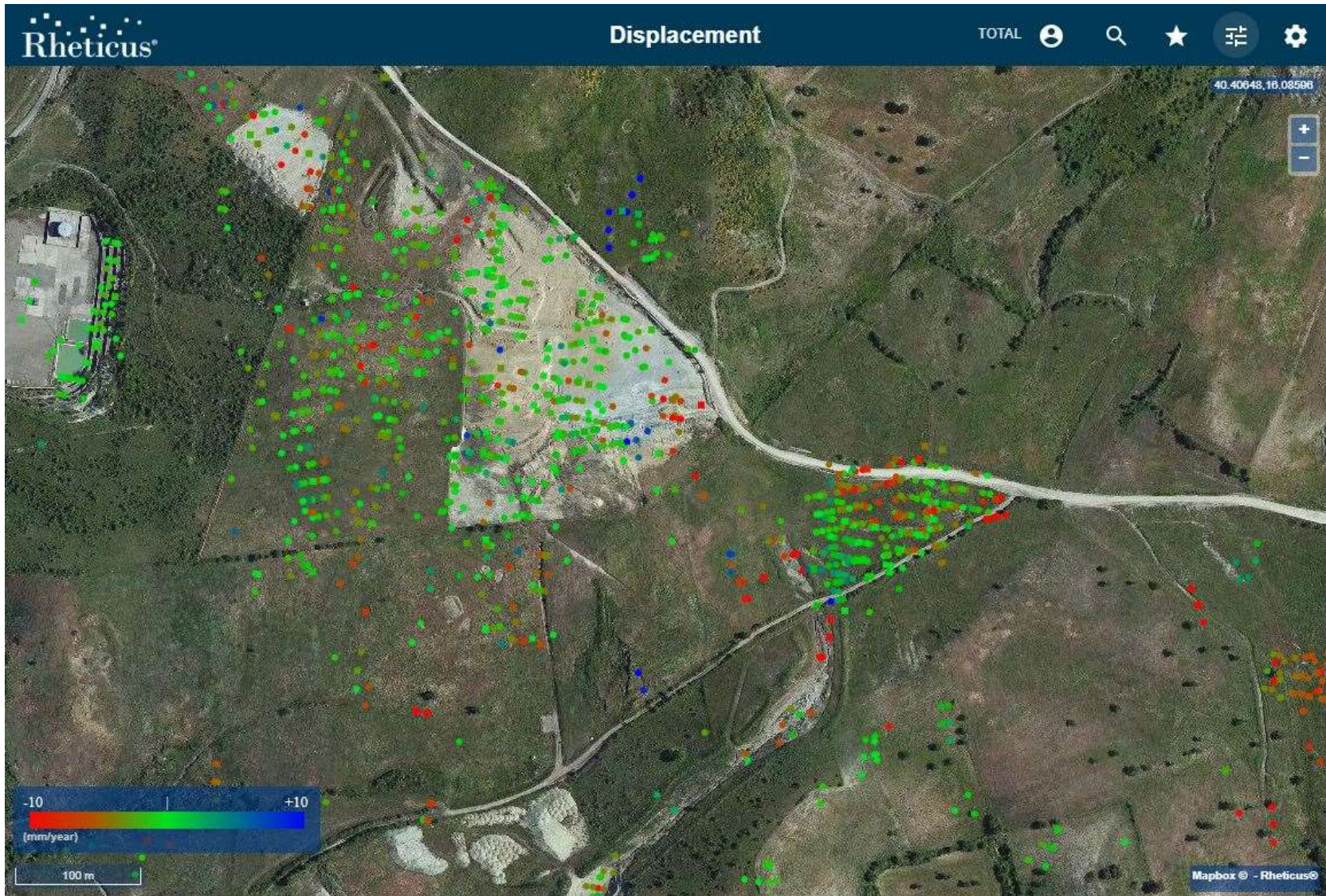


Figura 34: Oil Center caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali si evince una generale stabilità eccetto una piccola zona ad Est che presenta dei movimenti caratterizzati da una velocità media pari a circa -8 mm/anno.

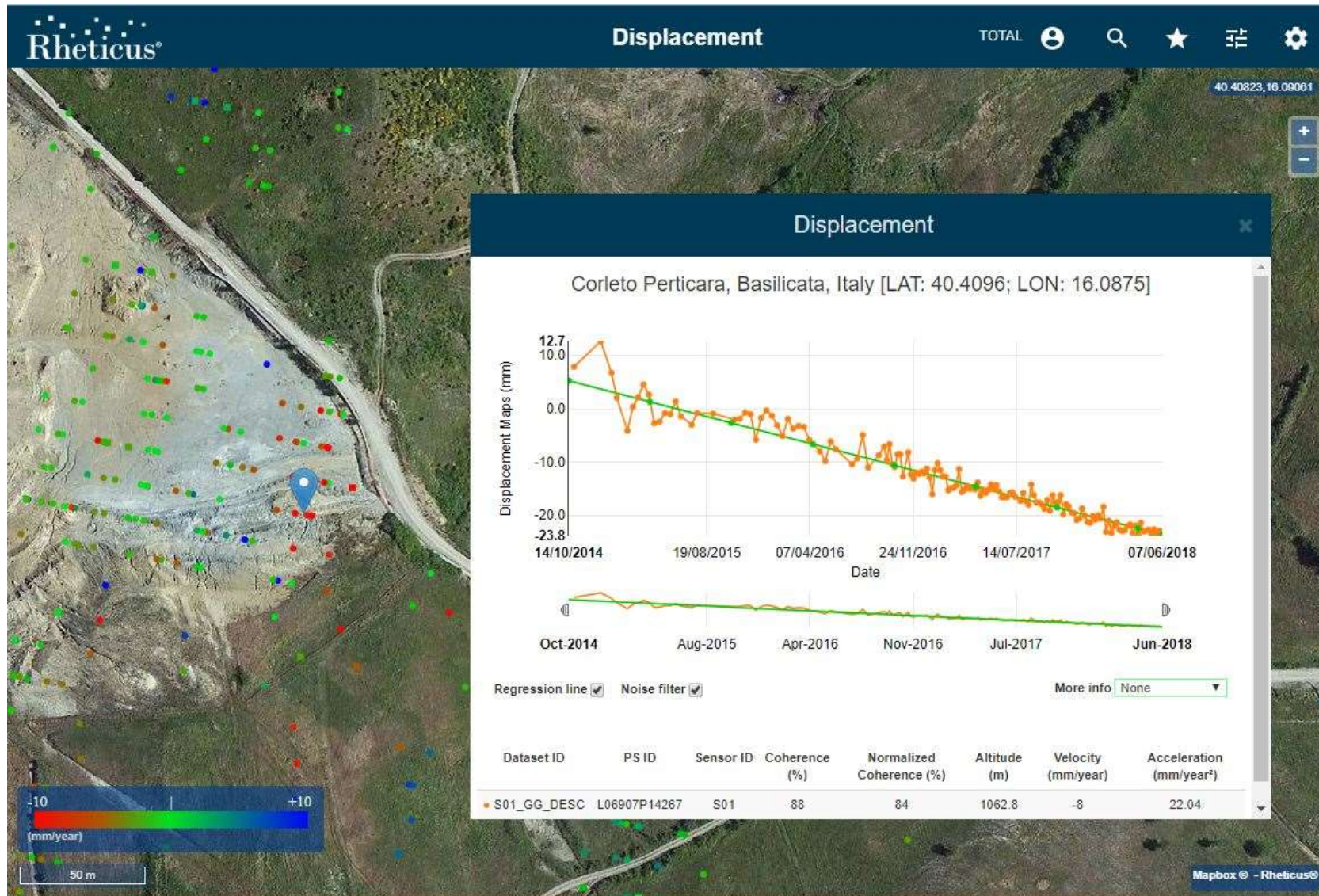


Figura 35: Serie temporale del PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) ad alta coerenza (0.88) situato nella zona est dell'Oil Center che presenta dei movimenti. La velocità media del PS sul periodo Ottobre 2014 – Giugno 2018 è pari a -8 mm/anno.

1.8. Dati consegnati

Unitamente alla presente Relazione Tecnica, sono stati prodotti i risultati dell'analisi interferometrica in formato shapefile contenuti all'interno della cartella pkb011-201-1.0_86_Shapefile_InSAR_TOTAL_Gorgoglione.zip allegata alla presente relazione.

I dati sono forniti nel sistema di riferimento WGS84 (EPSG: 4326).

I risultati ottenuti, per ciascun dataset elaborato contengono le informazioni descritte di seguito.

- CODE [STRINGA]: Codice alfanumerico univoco che identifica il PS.
- LAT [gradi decimali], LON [gradi decimali]: Coordinate geografiche del PS espresse come latitudine e longitudine in [gradi decimali] (Sistema di riferimento WGS84 EPSG: 4326).
- UTM_E [m], UTM_N [m], UTM_ZONE [-]: Coordinate UTM del PS espresse come Easting, Northing in [m] e [Zone] (Sistema di riferimento ETRS89 / TM33 EPSG:25833).
- H_GEO [m]: quota del PS rispetto al geoide di riferimento EGM-96 [m].
- H_ELL [m]: quota del PS rispetto all'ellissoide WGS 84 impiegato come riferimento [m].
- H_STDDEV [m]: deviazione standard associata alle stime H_GEO ed H_ELL [m].
- H_AUX_DEM (m): quota rispetto al DEM ausiliario.
- COH [-]: coerenza di lungo periodo del PS: valori tra 0 (minima coerenza) e 1 (massima coerenza).
- INC_ANG [gradi]: angolo locale di incidenza, identificato come l'angolo compreso tra la linea di vista del satellite (o direzione di puntamento dal target al suolo verso il satellite) e la direzione zenitale locale.
- HEAD_ANG [gradi]: angolo di heading, espresso come l'angolo compreso, nel piano orizzontale locale, tra la direzione Est e la proiezione sul piano della linea di vista del satellite; esso è misurato in senso orario a partire dalla direzione Est.
- V_LOS [mm/anno]: velocità media di spostamento del PS [mm/anno] con riferimento all'intero periodo di osservazione. La velocità stimata risulta proiettata lungo la linea di vista del satellite.
- V_LOS_STD [mm/anno]: deviazione standard associata alla stima di V_LOS.
- VEL_E [mm/anno]: velocità media di spostamento orizzontale est-ovest del PS [mm/anno] con riferimento all'intero periodo di osservazione.
- VEL_E_STD: deviazione standard associata alla stima di V_LOS.
- VEL_UP [mm/anno]: velocità media di spostamento verticale del PS [mm/anno] con riferimento all'intero periodo di osservazione.
- VEL_UP_STD: deviazione standard associata alla stima di V_UP.
- DL<AAAAMMGG> [mm]: valore di spostamento del PS/DS stimato con riferimento alla acquisizione dell'anno <AAAA>, mese <MM> e giorno <GG>. Lo spostamento indicato si intende cumulato rispetto alla prima data di acquisizione e risulta proiettato lungo la linea di vista del satellite.

Si osserva inoltre che:

Gli spostamenti dei PS sono relativi alla posizione del satellite: valori positivi indicano punti in avvicinamento alla posizione del satellite mentre valori negativi indicano punti in allontanamento dalla posizione del satellite.

1.9. Verifica di visibilità dei Corner Reflector installati

Total ha installato 11 Corner Reflector nel periodo agosto-settembre 2018 sui punti di maggior interesse, le cui coordinate sono riportate in Figura 36.

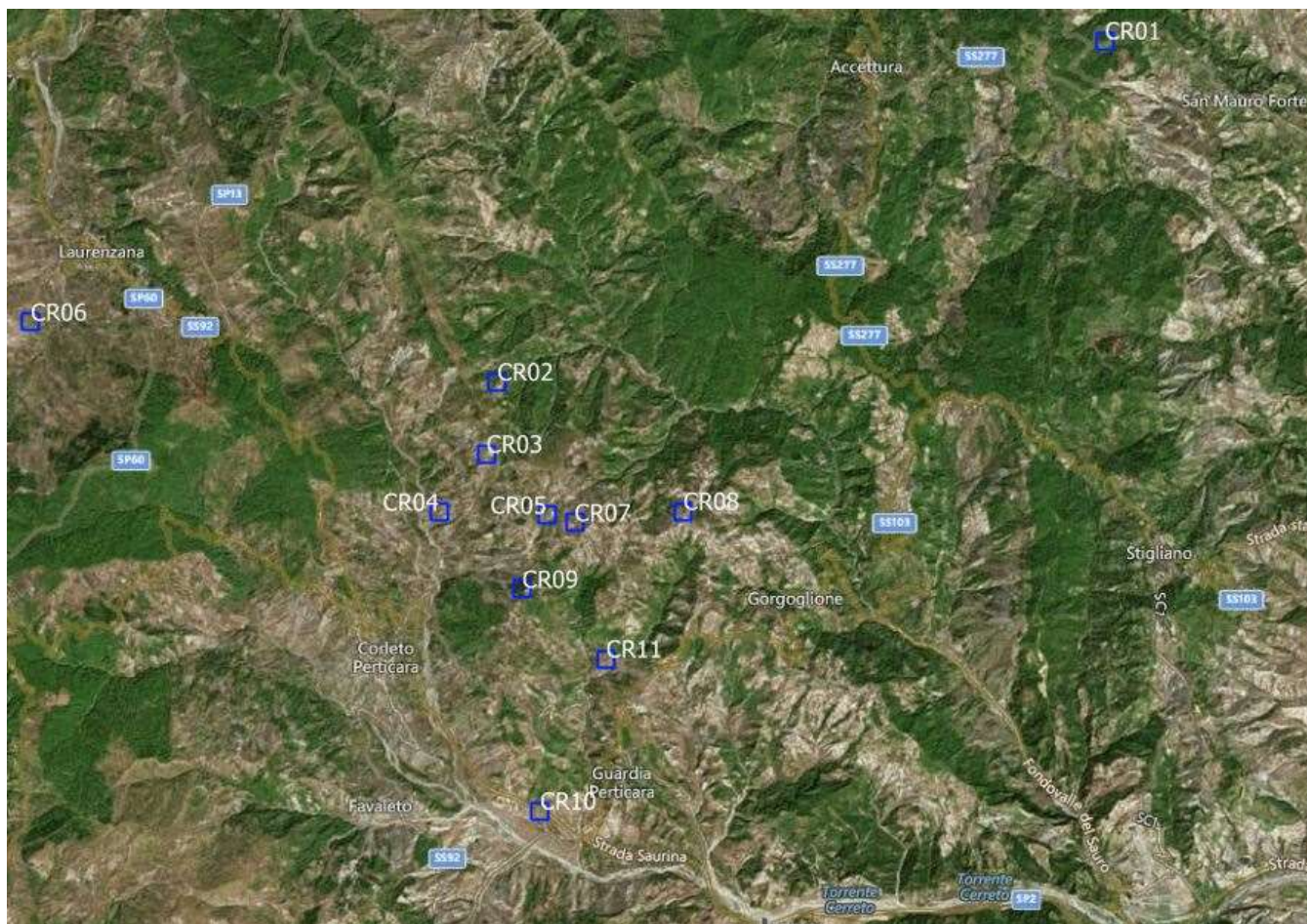


Figura 36: Mappa di distribuzione degli 11 Corner Reflector.

Le coordinate geografiche WGS84 dei Corner Reflector sono state misurate con rilievo GPS e sono riportate nella Tabella 3 sottostante.

Tabella 3: Coordinate geografiche WGS84 dei Corner Reflector

Nome	Lat	Lon	Height (m)
CR01	40.4969100	16.2156578	662.085
CR02	40.4341926	16.0689311	1031.804
CR03	40.4209329	16.0662952	1049.595
CR04	40.4102444	16.0547821	777.096
CR05	40.4096842	16.0808024	1040.375
CR06	40.4451897	15.9562499	902.981
CR07	40.4083023	16.0875903	1113.719
CR08	40.4104150	16.1138310	1097.168
CR09	40.3960613	16.0749415	1057.682
CR10	40.3552242	16.0792627	559.435
CR11	40.3832383	16.0952271	754.237

In questa prima fase è stata effettuata un'analisi preliminare per valutare la visibilità satellitare dei primi 8 CR corner reflector installati nel mese di agosto 2018.

Nella tabella sottostante si riportano in sintesi i risultati.

Tabella 4: Check preliminarare visibilità satellitare dei Corner Reflector

Nome	Visibilità Ascending	Visibilità Descending
CR01	-	-
CR02	SI	SI
CR03	SI	SI
CR04	NO	SI
CR05	SI	SI
CR06	-	-
CR07	SI	NO
CR08	NO	SI
CR09	SI	SI
CR10	SI	SI
CR11	-	-

I 3 Corner Reflector CR04, CR07 e CR08 visibili su una singola geometria hanno richiesto una modifica dell'orientamento i cui effetti in termini di visibilità su entrambe le geometrie saranno valutati e descritti all'interno dei successivi rapporti di monitoraggio unitamente alle valutazioni di visibilità sui corner reflector CR11 CR01, CR06 installati rispettivamente il 17,18,19 settembre 2018.

Per completezza di seguito si riportano le immagini con la variazione di intensità pre-post installazione degli 8 Corner Reflector.

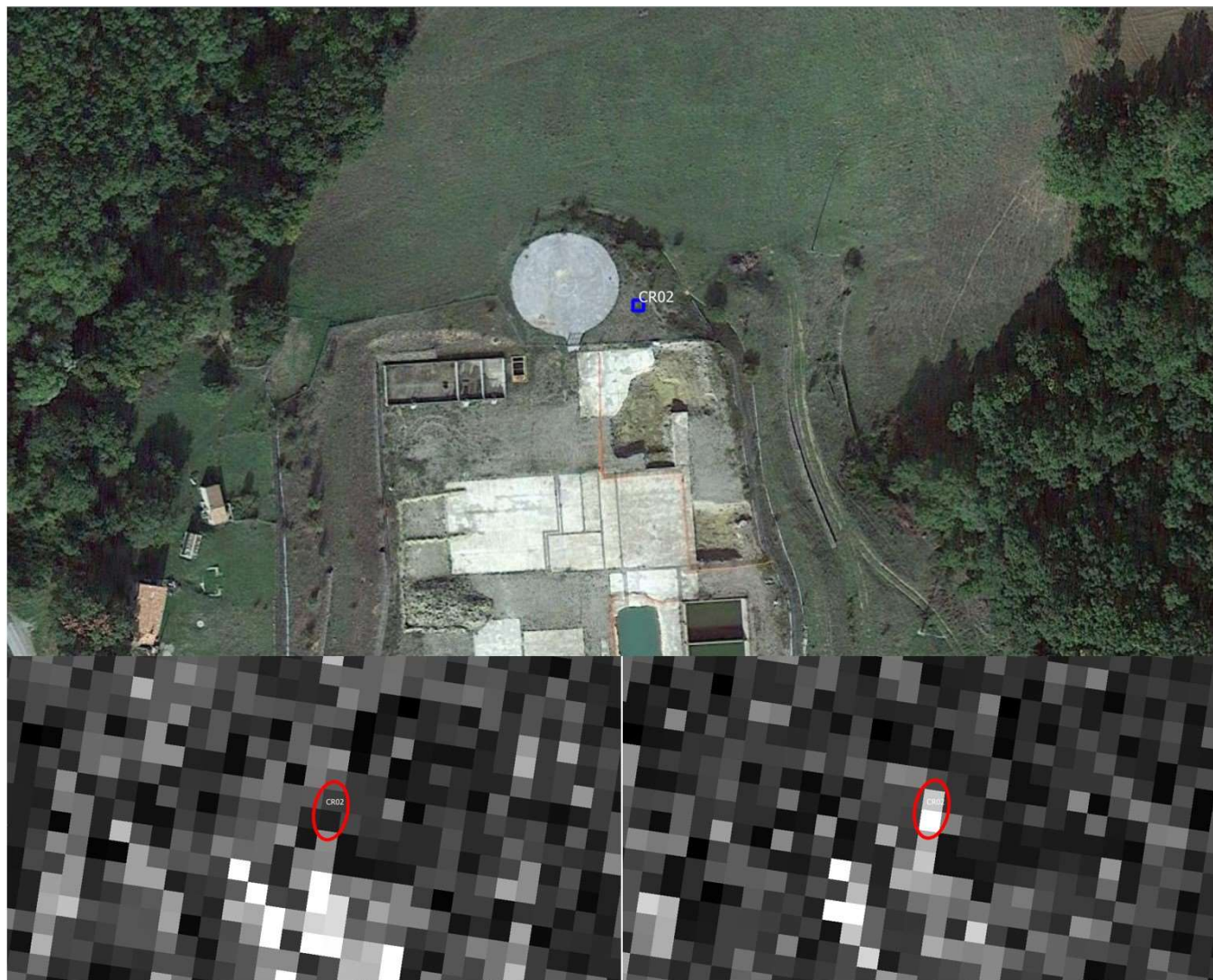


Figura 37: In alto l'immagine con la posizione del CR-02 (quadrato blu) installato nella zord nord del piazzale TE-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 14 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).

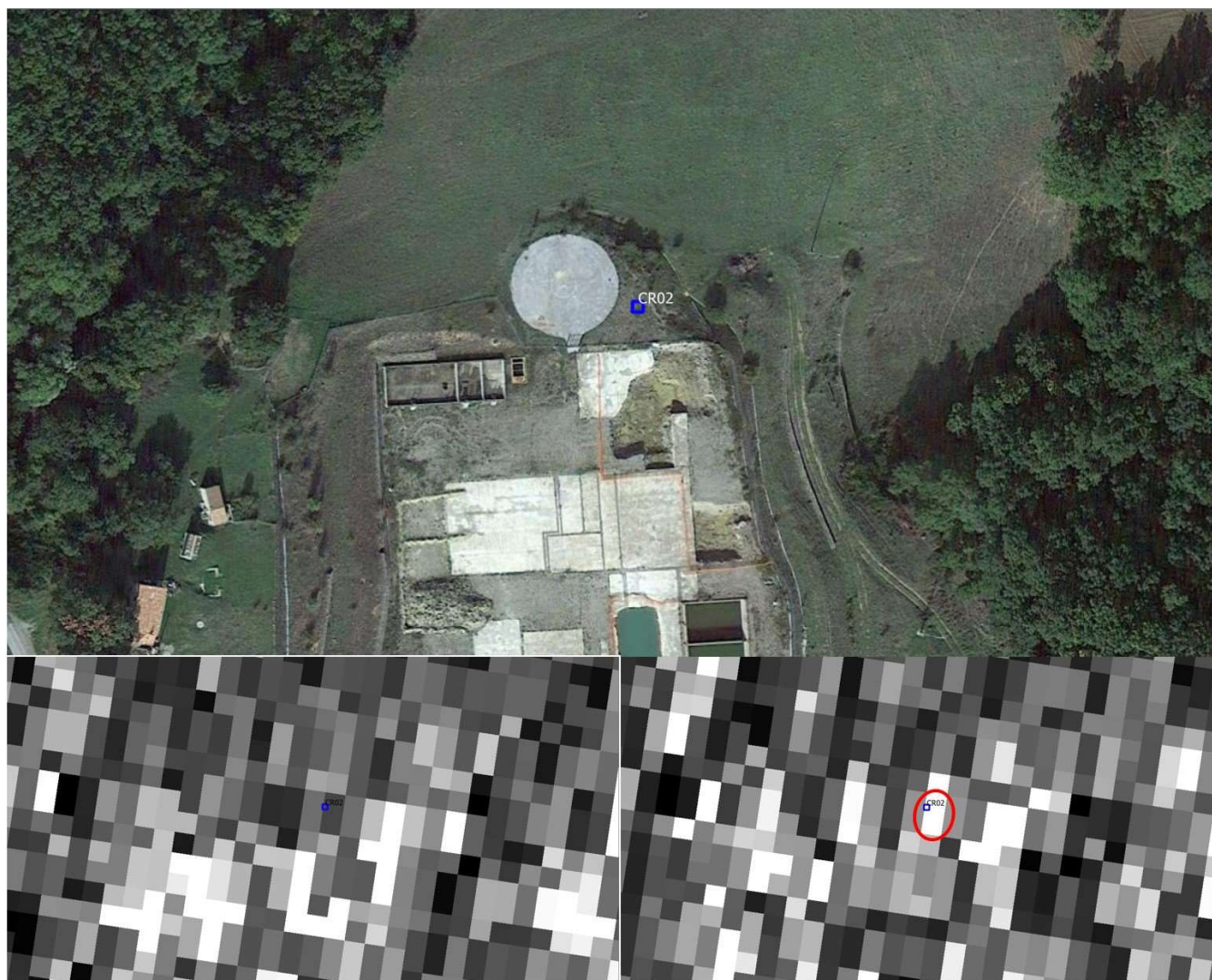


Figura 38: In alto l'immagine con la posizione del CR-02 (quadrato blu) installato nella zona nord del piazzale TE-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 39: In alto l'immagine con la posizione del CR-03 (quadrato blu) installato nella zord sud del piazzale TR-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 14 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 25 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 40: In alto l'immagine con la posizione del CR-03 (quadrato blu) installato nella zord sud del piazzale TR-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 41: : In alto l'immagine con la posizione del CR-04 (quadrato blu) installato ad ovest del piazzale PT-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 14 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018). La risposta in ampiezza rispetto all'orbita ascending non è sufficiente per poter confermare la visibilità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi). Richiede una verifica dell'orientamento e di possibili ostacoli che potrebbero impedire la visibilità satellitare (recinzione, tralicci etc).



Figura 42: In alto l'immagine con la posizione del CR-04(quadrato blu) installato ad ovest del piazzale PT-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre**(immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 43: In alto l'immagine con la posizione del CR-05 (quadrato blu) installato nella zord sud del piazzale GG-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 20 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).

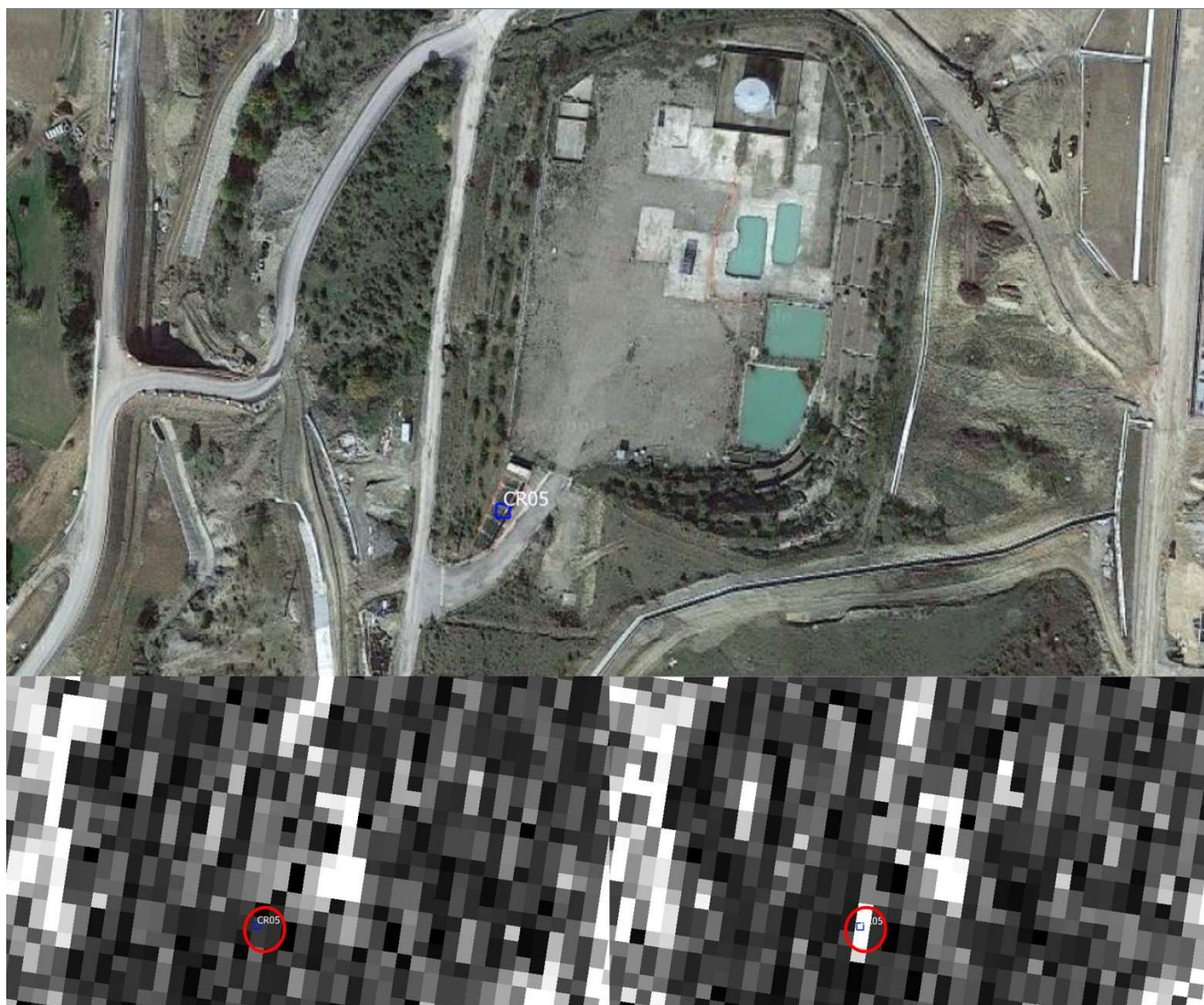


Figura 44: : In alto l'immagine con la posizione del CR-05 (quadrato blu) installato nella zord sud del piazzale GG-1. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 45: In alto l'immagine con la posizione del CR-07(quadrato blu) installato nei pressi dell'**Oil Center**. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 14 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 46: In alto l'immagine con la posizione del CR-07(quadrato blu) installato nei pressi dell'Oil Center. Dal confronto di intensità sull'orbita Descending pre (immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - post installazione (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi) non sembra esserci nessun miglioramento in termini di risposta in ampiezza pertanto il CR potrebbe non essere visibile rispetto all'orbita descending.



Figura 47: In alto l'immagine con la posizione del CR-08 (quadrato blu) installato nella zord nord del piazzale GG-2. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 14 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018). La risposta in ampiezza rispetto all'orbita ascending non è sufficiente per poter confermare la visibilità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi). Richiede una verifica dell'orientamento e presenza di possibili ostacoli che potrebbero impedire la visibilità satellitare (recinzione, tralicci etc).



Figura 48 In alto l'immagine con la posizione del CR-08 (quadrato blu) installato nella zord nord del piazzale GG-2. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre** (immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 18 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 49: In alto l'immagine con la posizione del CR-09 (quadrato blu) installato a ovest del piazzale TR-2. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre**(immagine in basso a sinistra acquisita il 26 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).



Figura 50: In alto l'immagine con la posizione del CR-09 (quadrato blu) installato a ovest del piazzale TR-2. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre**(immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).

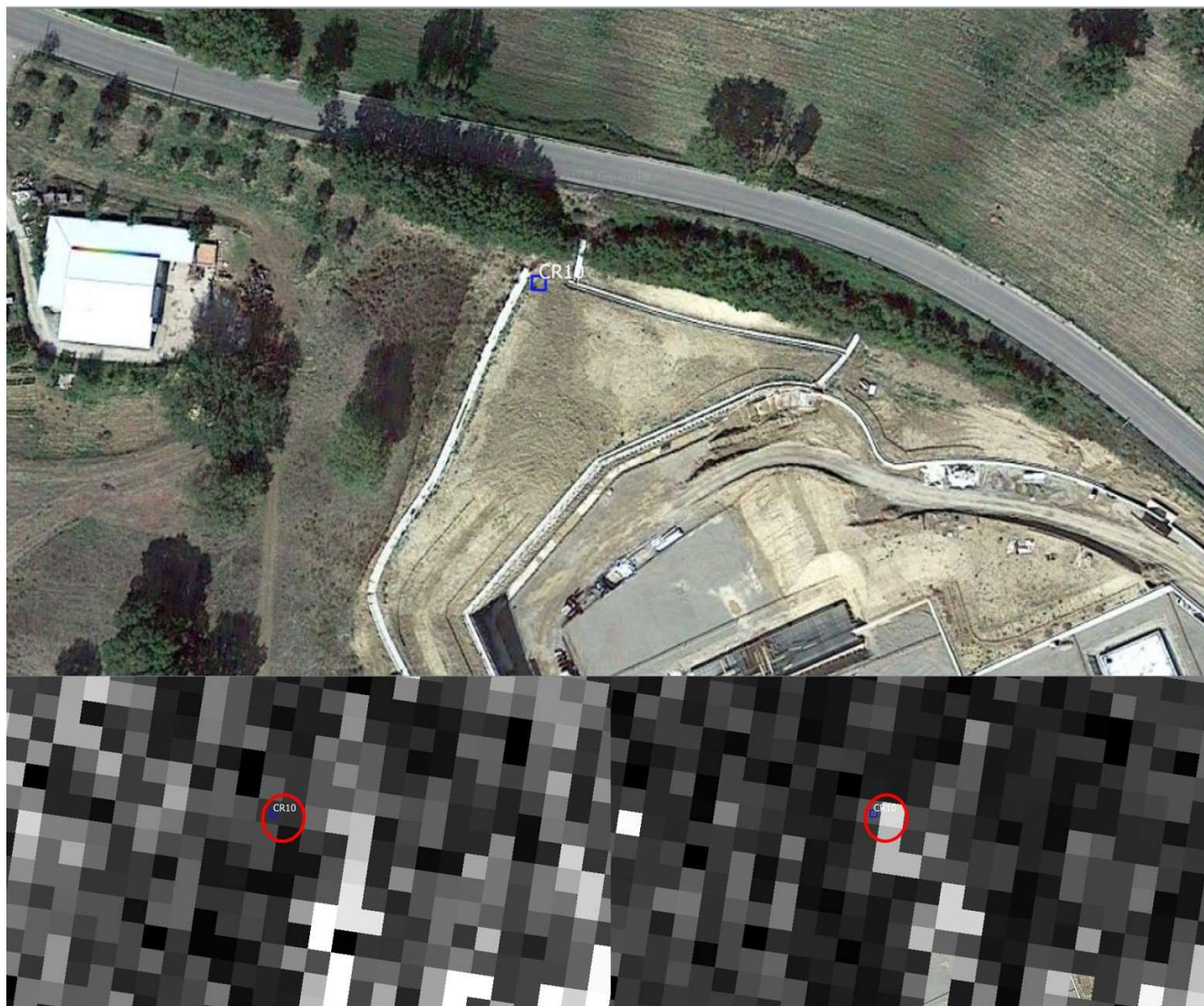


Figura 51: In alto l'immagine con la posizione del CR-10 (quadrato blu) installato nella zona nord dell'LPG Center. Dal confronto di intensità sull'**orbita Ascending pre**(immagine in basso a sinistra acquisita il 14 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 31 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).

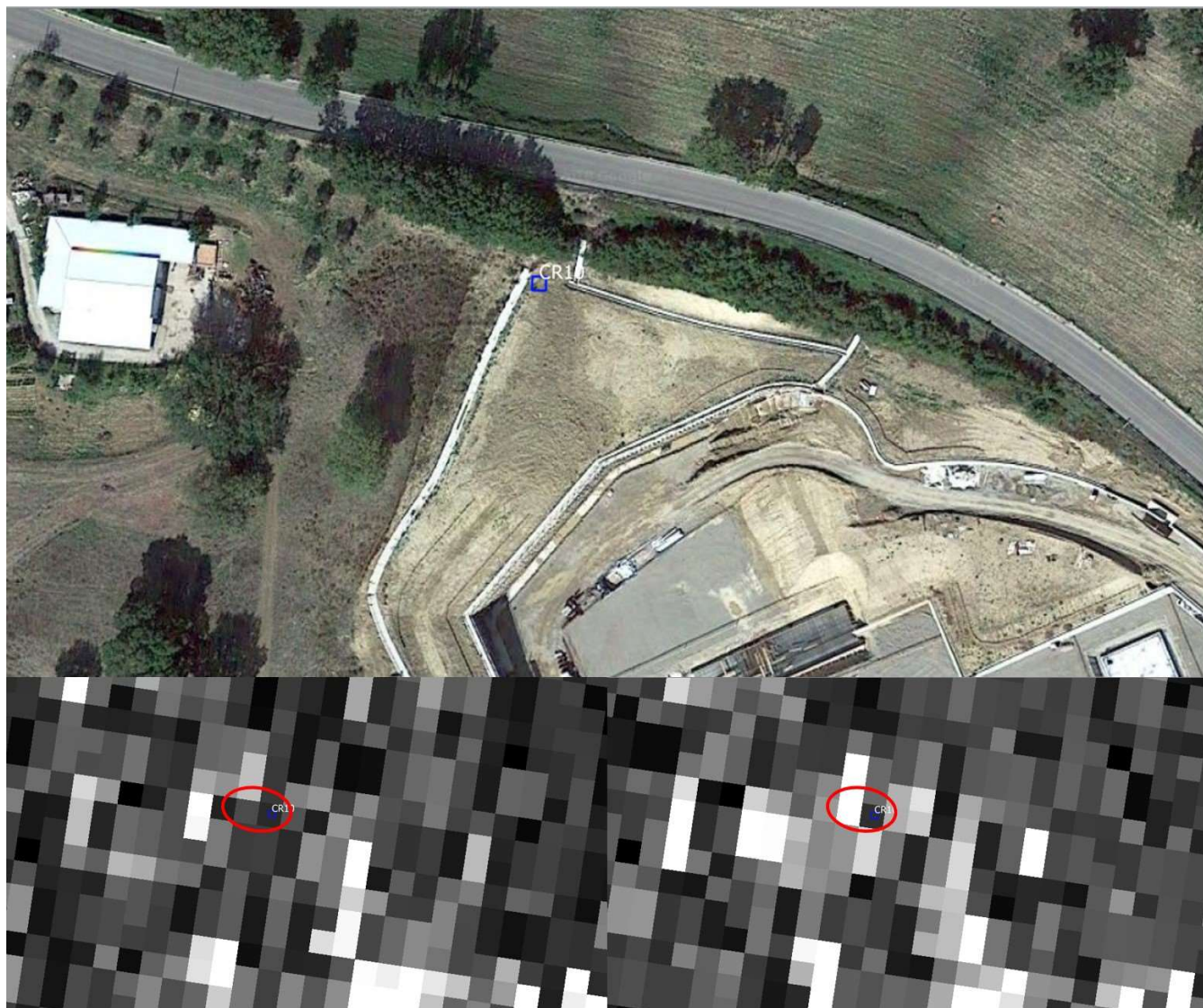


Figura 52: In alto l'immagine con la posizione del CR-10 (quadrato blu) installato nella zona nord dell'LPG Center. Dal confronto di intensità sull'**orbita Descending pre**(immagine in basso a sinistra acquisita il 19 luglio 2018) - **post installazione** (immagine in basso a destra acquisita il 30 Agosto 2018) si nota un netto miglioramento della risposta in ampiezza sulla zona in prossimità del CR (zona evidenziata dai cerchi rossi).

Conclusioni

L'elaborazione interferometrica ha permesso di ottenere informazioni quantitative sui fenomeni di spostamento in atto all'interno dell'area di interesse della concessione Gorgoglione nell'arco temporale Ottobre 2014 – Giugno 2018 con un'ottima copertura spaziale grazie all'identificazione di 637.741 punti di misura, dando altresì continuità alla precedente fase di definizione di Baseline relativamente alle dinamiche di deformazioni del suolo.

L'utilizzo della costellazione Sentinel-1 ha permesso di avere a disposizione un numero molto elevato di immagini e di conseguenza anche un'ottima copertura temporale (una misura ogni 6 giorni).

Sono stati analizzati nel dettaglio gli spostamenti sulle zone di maggior interesse quali le zone di estrazione e stoccaggio e alcuni centri abitati affetti da fenomeni di spostamento quali Gorgoglione e Stigliano.

Sulle aree di estrazione e stoccaggio sono state ottenute delle ottime coperture eccetto per i pozzi TR-1 e TR-2 sui quali sono stati identificati un numero limitato di punti di misura.

Per quanto riguarda la situazione di spostamento sono state identificate le seguenti situazioni:

- Generale stabilità sui pozzi GG-1, PT-1, TR-1 e LPG Center.
- Movimenti contenuti in corrispondenza di aree marginali ai pozzi GG-2, TE-1, TR-2 e Centro Olio.

Dal controllo preliminare di visibilità sui primi 8 CR installati nel mese di agosto 2018 sono risultati visibili in entrambe le geometrie i 5 corner reflector localizzati nei pressi dei pozzi TE-1, TR-1, GG-1, TR-2, LPG Center, mentre i Corner Reflector installati in prossimità dei pozzi PT-1 e GG-2 sono visibili solo per l'orbita Descending mentre quello installato nei pressi dell'Oil Center solo per l'orbita Ascending.

Nel prossimo report verranno valutati gli effetti di miglioramento in termini di visibilità satellitare sui Corner Reflector risultati visibili in una sola geometria e per i quali è stato migliorato l'orientamento e la visibilità degli ultimi 3 installati a settembre 2018. Nel prossimo report, le misure di spostamento ottenute nel report Ottobre 2014 – Giugno 2018 verranno integrate con tutte le acquisizioni Sentinel-1 del periodo Giugno – Dicembre 2018 e verrà verificata la disponibilità delle prime misure di spostamento su tutti gli 11 Corner Reflector unitamente alle misure GPS.

Allegato A – Elenco immagini Sentinel-1 processate

Le tabelle seguenti contengono la lista delle immagini Sentinel-1 processate nell'intervallo temporale che va da Ottobre 2014 a Giugno 2018, sia in configurazione ascendente che discendente.

Tabella 5 Elenco delle immagini Sentinel-1 Right/Ascending processate.

	2014	2015	2016	2017	2018
	(7 imm)	(28 imm)	(38 imm)	(61 imm)	(25 imm)
1	15/10/14	19/01/15	02/01/16	02/01/17	03/01/18
2	27/10/14	31/01/15	14/01/16	08/01/17	09/01/18
3	08/11/14	12/02/15	26/01/16	14/01/17	15/01/18
4	20/11/14	24/02/15	07/02/16	20/01/17	21/01/18
5	02/12/14	08/03/15	19/02/16	26/01/17	27/01/18
6	14/12/14	20/03/15	02/03/16	01/02/17	02/02/18
7	26/12/14	01/04/15	14/03/16	07/02/17	08/02/18
8		13/04/15	26/03/16	13/02/17	14/02/18
9		25/04/15	07/04/16	19/02/17	20/02/18
10		07/05/15	19/04/16	25/02/17	26/02/18
11		19/05/15	01/05/16	03/03/17	04/03/18
12		31/05/15	13/05/16	09/03/17	10/03/18
13		12/06/15	25/05/16	15/03/17	16/03/18
14		06/07/15	06/06/16	21/03/17	22/03/18
15		18/07/15	30/06/16	27/03/17	28/03/18
16		30/07/15	12/07/16	02/04/17	03/04/18
17		11/08/15	24/07/16	08/04/17	09/04/18
18		23/08/15	05/08/16	14/04/17	15/04/18
19		04/09/15	17/08/16	20/04/17	21/04/18
20		16/09/15	29/08/16	26/04/17	27/04/18
21		28/09/15	10/09/16	02/05/17	03/05/18
22		10/10/15	22/09/16	08/05/17	09/05/18
23		22/10/15	28/09/16	14/05/17	15/05/18
24		03/11/15	04/10/16	20/05/17	21/05/18
25		15/11/15	10/10/16	26/05/17	27/05/18
26		27/11/15	16/10/16	01/06/17	
27		09/12/15	22/10/16	07/06/17	
28		21/12/15	28/10/16	13/06/17	
29			03/11/16	19/06/17	
30			09/11/16	25/06/17	
31			15/11/16	01/07/17	
32			21/11/16	07/07/17	
33			27/11/16	13/07/17	
34			03/12/16	19/07/17	
35			09/12/16	25/07/17	
36			15/12/16	31/07/17	
37			21/12/16	06/08/17	
38			27/12/16	12/08/17	
39				18/08/17	

40				24/08/17	
41				30/08/17	
42				05/09/17	
43				11/09/17	
44				17/09/17	
45				23/09/17	
46				29/09/17	
47				05/10/17	
48				11/10/17	
49				17/10/17	
50				23/10/17	
51				29/10/17	
52				04/11/17	
53				10/11/17	
54				16/11/17	
55				22/11/17	
56				28/11/17	
57				04/12/17	
58				10/12/17	
59				16/12/17	
60				22/12/17	
61				28/12/17	

Tabella 6 - Elenco delle immagini Sentinel-1 Right/Descending processate

	2014	2015	2016	2017	2018
	(4 imm)	(25 imm)	(37 imm)	(60 imm)	(27 imm)
1	14/10/14	18/01/15	01/01/16	01/01/17	02/01/18
2	26/10/14	30/01/15	13/01/16	07/01/17	08/01/18
3	01/12/14	11/02/15	25/01/16	13/01/17	14/01/18
4	25/12/14	23/02/15	06/02/16	19/01/17	20/01/18
5		07/03/15	18/02/16	25/01/17	26/01/18
6		19/03/15	01/03/16	31/01/17	01/02/18
7		31/03/15	13/03/16	06/02/17	07/02/18
8		12/04/15	25/03/16	12/02/17	13/02/18
9		24/04/15	06/04/16	18/02/17	19/02/18
10		06/05/15	18/04/16	24/02/17	25/02/18
11		18/05/15	30/04/16	02/03/17	03/03/18
12		30/05/15	12/05/16	08/03/17	09/03/18
13		11/06/15	24/05/16	14/03/17	15/03/18
14		23/06/15	05/06/16	20/03/17	21/03/18
15		17/07/15	29/06/16	26/03/17	27/03/18
16		29/07/15	11/07/16	01/04/17	02/04/18
17		22/08/15	23/07/16	07/04/17	08/04/18
18		03/09/15	04/08/16	13/04/17	14/04/18
19		15/09/15	16/08/16	19/04/17	20/04/18
20		21/10/15	09/09/16	25/04/17	26/04/18
21		02/11/15	21/09/16	01/05/17	02/05/18

22		14/11/15	27/09/16	07/05/17	08/05/18
23		26/11/15	03/10/16	13/05/17	14/05/18
24		08/12/15	09/10/16	19/05/17	20/05/18
25		20/12/15	15/10/16	25/05/17	26/05/18
26			21/10/16	31/05/17	01/06/18
27			27/10/16	06/06/17	07/06/18
28			02/11/16	12/06/17	
29			08/11/16	18/06/17	
30			14/11/16	24/06/17	
31			20/11/16	30/06/17	
32			26/11/16	06/07/17	
33			02/12/16	12/07/17	
34			08/12/16	24/07/17	
35			14/12/16	30/07/17	
36			20/12/16	05/08/17	
37			26/12/16	11/08/17	
38				17/08/17	
39				23/08/17	
40				29/08/17	
41				04/09/17	
42				10/09/17	
43				16/09/17	
44				22/09/17	
45				28/09/17	
46				04/10/17	
47				10/10/17	
48				16/10/17	
49				22/10/17	
50				28/10/17	
51				03/11/17	
52				09/11/17	
53				15/11/17	
54				21/11/17	
55				27/11/17	
56				03/12/17	
57				09/12/17	
58				15/12/17	
59				21/12/17	
60				27/12/17	