



Rapporto periodico n. 4

Monitoring of ground motion through InSAR technique within the gorgoglione concession

TOTAL E&P ITALIA S.p.A.

Tempa Rossa



Document Id.:	pkb011-254-1.0_86	28/02/2020
Approved by:	Sergio Samarelli	28/02/2020
Checked by:	Vincenzo Massimi	28/02/2020

© 2020 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

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.....	4
DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
ACRONIMI	6
INTRODUZIONE	7
AREA DI INTERESSE.....	9
ELABORAZIONE DEI DATI SAR	10
SISTEMA DI RIFERIMENTO	12
1. MISURE INTERFEROMETRICHE.....	13
1.1 Sintesi	13
1.2 Dettaglio pozzi di produzione e centro oli	23
1.3 Dati consegnati.....	40
1.4 Aggiornamento dell'analisi di qualità della risposta di fase interferometrica (Sentinel-1) dei Corner Reflector installati sul sito di Gorgoglione.....	41
1.5 Confronto misure GNSS-InSAR	44
1.5.1 Proiezione delle misure GNSS sulle viste SAR ascendenti e discendenti	44
1.5.2 Proiezione delle misure SAR lungo le direzioni Est e verticale	47
1.5.3 Raffronti quantitativi tra misure GNSS e misure PS	49
CONCLUSIONI	53
ALLEGATO A – ELENCO IMMAGINI SENTINEL-1 PROCESSATE	54
ALLEGATO B – DETTAGLI E GRAFICI A SUPPORTO DELL'ANALISI DEI CR	57
Corner Reflector CR01	57
1.1.1. Dataset Ascending	57
1.1.2. Dataset Descending	59
1.1.3. Dataset Ascending	61
1.1.4. Dataset Descending	63
Corner Reflector CR03.....	65
1.1.5. Dataset Ascending	65
1.1.6. Dataset Descending	67
Corner Reflector CR04.....	69
1.1.7. Dataset Ascending	69
1.1.8. Dataset Descending	71
Corner Reflector CR05.....	73
1.1.9. Dataset Ascending	73
1.1.10. Dataset Descending	75
Corner Reflector CR06.....	77
1.1.11. Dataset Ascending	77

1.1.12. Dataset Descending	79
1.1.13. Dataset Ascending	81
1.1.14. Dataset Descending	83
Corner Reflector CR08	85
1.1.15. Dataset Ascending	85
1.1.16. Dataset Descending	87
Corner Reflector CR09	89
1.1.17. Dataset Ascending	89
1.1.18. Dataset Descending	91
Corner Reflector CR10	93
1.1.19. Dataset Ascending	93
1.1.20. Dataset Descending	95
Corner Reflector CR11	97
1.1.21. Dataset Ascending	97
1.1.22. Dataset Descending	99

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, in continuità con i precedenti rapporti periodici 1, 2 e 3 [RD5] [RD6] [RD6], rappresenta la relazione tecnica del quarto rapporto periodico inerente le attività di elaborazione interferometrica di dati radar acquisiti dai satelliti Sentinel-1 fino a fine Dicembre 2019 in geometria ascendente e discendente, per il monitoraggio dei movimenti superficiali nell'area della concessione Gorgoglione.

In questa fase è stata inoltre aggiornata la verifica degli 11 Corner Reflector (CR) installati nei mesi di agosto e settembre 2018.

L'analisi interferometrica ha permesso di aggiornare le misure di spostamento integrando, ai risultati del terzo rapporto (periodo Ottobre 2014 – Giugno 2019), l'analisi di tutte le nuove immagini Sentinel-1 acquisite nel semestre che va da Giugno 2019 a Dicembre 2019. 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, aggiornati a Dicembre 2019, 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	Sintesi
Pozzo GG-1	Ottobre 2014 – Dicembre 2019	Si	Le misure aggiornate confermano i trend misurati nel terzo rapporto [RD5]. Non sono state misurate variazioni di velocità media significative.
Pozzo GG-2		Si	
Pozzo TE-1		Si	
Pozzo PT-1		Si	
Pozzo TR-1		Si	
Pozzo TR-2		Si	
LPG Center		Si	
Oil Center		Si	
Gorgoglione		Si	
Stigliano		Si	

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
- [RD5] pkb011-200-1.2_86 InSAR Monitoring Gorgoglione rapporto 1.pdf
- [RD6] pkb011-215-1.1_86_InSAR_Monitoring_Gorgoglione_rapporto_2.pdf
- [RD7] pkb011-246-1.1_86_InSAR_Monitoring_Gorgoglione_rapporto_3.pdf

Acronimi

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

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:

- Il primo rapporto periodico [RD5] contiene l'elaborazione iniziale di tutte le immagini Sentinel-1 disponibili dal 2014 fino agli inizi di giugno 2018. Ciò ha garantito 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.
- Il secondo rapporto periodico [RD6] contiene l'aggiornamento dei dati di spostamento in base alle immagini Sentinel-1 acquisite nel semestre Giugno 2018 – Dicembre 2018. Il report contiene l'analisi della risposta radiometrica e interferometrica degli 11 Corner Reflectors complessivamente installati sul sito di Gorgoglione e le coordinate delle 3 stazioni permanenti GNSS.
- Il terzo rapporto periodico [RD7] contiene l'aggiornamento dei dati di spostamento in base alle immagini Sentinel-1 acquisite nel semestre Dicembre 2018 - Giugno 2019 unitamente all'aggiornamento dell'analisi radiometrica e interferometrica degli 11 Corner Reflector (CR) e le misure di spostamento preliminari delle 3 stazioni permanenti GNSS installate sui 3 corner reflector CR01, CR06 e CR11 per un primo confronto qualitativo tra le misure SAR e le misure GNSS.
- Il presente rapporto periodico contiene l'aggiornamento dei dati di spostamento in base alle immagini Sentinel-1 acquisite nel semestre Giugno 2019 - Dicembre 2019 unitamente all'aggiornamento dell'analisi radiometrica e interferometrica degli 11 Corner Reflector (CR) e il confronto quantitativo tra le misure SAR e le misure GNSS.
- Ulteriori rapporti semestrali, da Gennaio 2020 a Gennaio 2021, contenenti i successivi aggiornamenti dei dati di spostamento, includeranno tutte le misure acquisite fino a dicembre 2020. Al termine di ogni elaborazione periodica tutti i dati di spostamento saranno consultabili attraverso la piattaforma Rheticus® Displacement.

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.

In questo quarto rapporto 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;
- analisi della risposta radiometrica e interferometrica degli 11 CR complessivamente installati.

Per la descrizione degli aspetti teorici inerenti l'interferometria SAR, le caratteristiche del satellite Sentinel-1 e il processamento dati si rimanda al primo rapporto [RD5].

Area di interesse

L'oggetto dello studio è la valutazione di eventuali movimenti superficiali in atto prima e durante le 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).

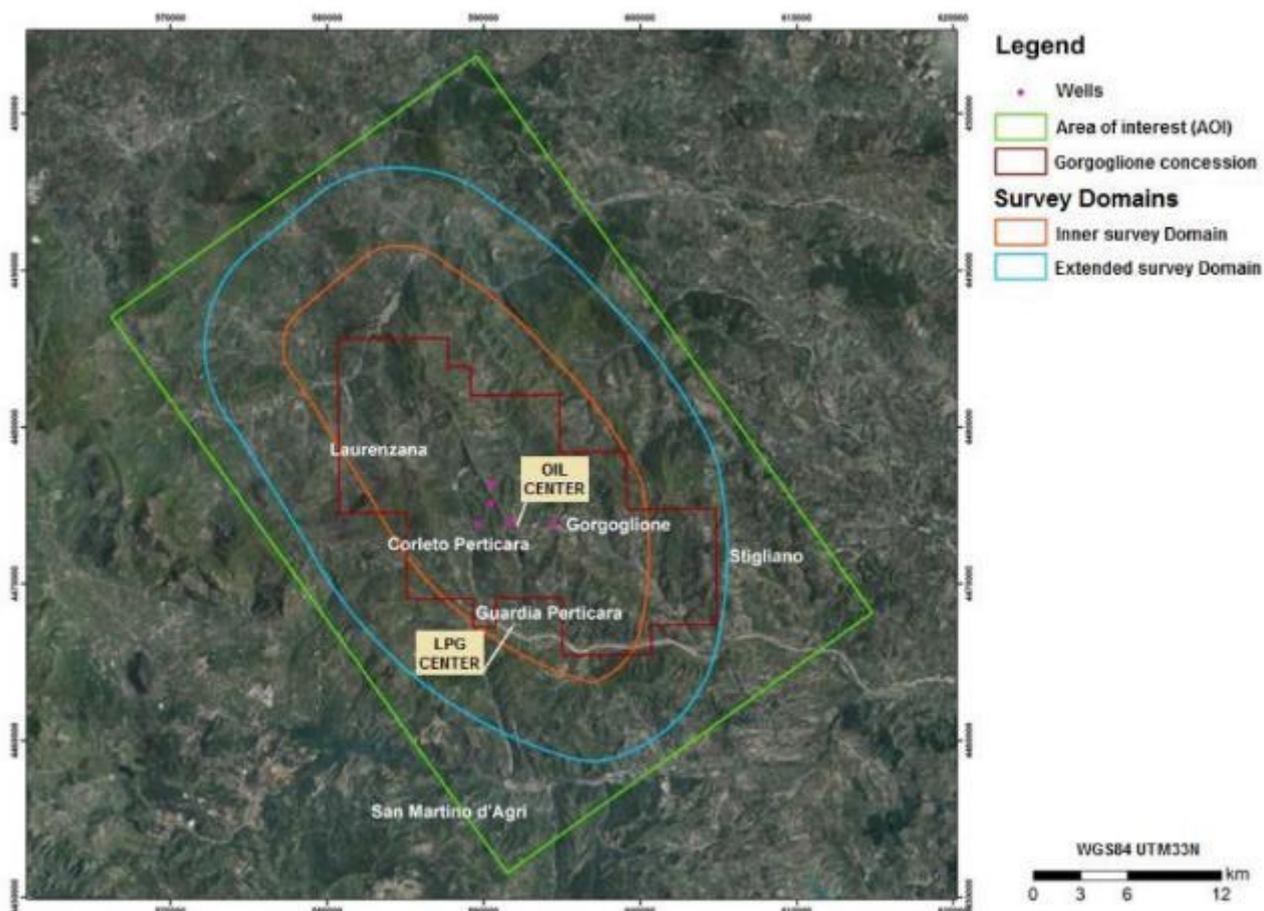


Figura 1. Area di interesse, Domini di rilevazione, Concessione Gorgoglione.

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.

Elaborazione dei dati SAR

Il lavoro di aggiornamento delle misure di spostamento a Dicembre 2019 utilizza gli stessi 2 data-set selezionati nei precedenti rapporti di monitoraggio e per la descrizione della diverse fasi di elaborazione si rimanda al primo rapporto [RD5].

Le tabelle seguenti contengono i dati di sintesi relativi alle immagini Sentinel-1 processate nel periodo esteso a Dicembre 2019.

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

ID Dataset interferometrico	Costellazione	Passaggio	Data Master	Numero immagini totali nel periodo Ottobre 2014 – Dicembre 2019
S1_ASC	Sentinel-1	Ascendente	2 Gennaio 2017	255
S1_DESC	Sentinel-1	Discendente	9 Ottobre 2016	245

La Figura 2 mostra il numero e la distribuzione delle immagini Sentinel-1 processate nell'intervallo temporale complessivo che va da Ottobre 2014 a Dicembre 2019, sia in configurazione ascendente che discendente.

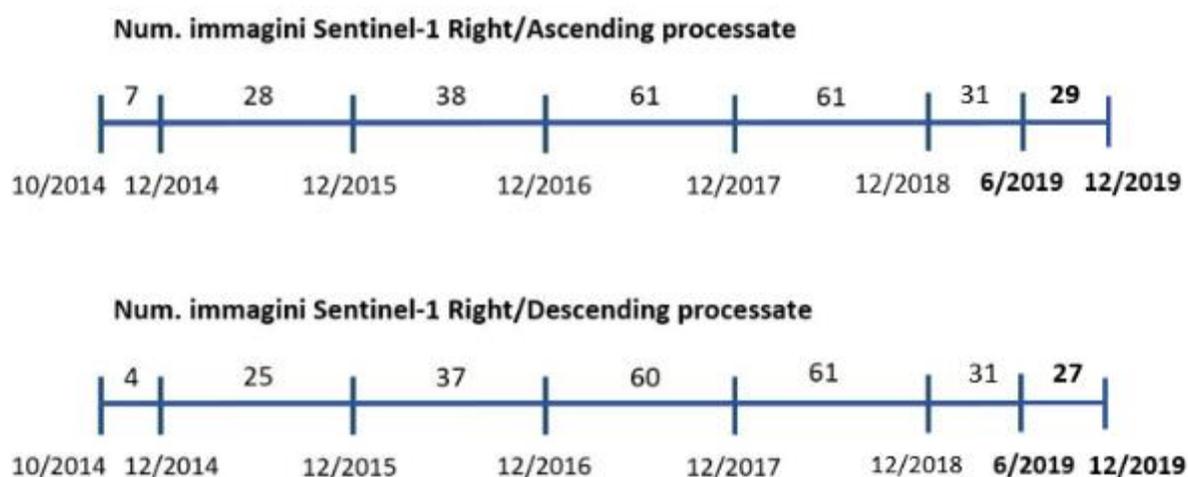


Figura 2: Numero immagini Sentinel-1 Right/Ascending e Right/Descending. In grassetto le nuove immagini acquisite nel semestre Giugno 2019 - Dicembre 2019.

Si osserva che il monitoraggio tramite immagini Sentinel-1 in modalità Right/Ascending copre l'intervallo temporale **ottobre 2014 – dicembre 2019** (dal 15/10/2014 al 30/12/2019) con un totale di 255 acquisizioni.

Le annualità con il maggior numero di acquisizioni ascending risultano essere il 2017 e il 2018 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 - dicembre 2019** (dal 14/10/2014 al 29/12/2019) con un totale di 245 acquisizioni.

L'annualità con il maggior numero di acquisizioni risulta essere il 2018, con un numero di acquisizioni pari a 61. 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") 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.

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.

Infine 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 (LOS). 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 contenuti nel primo rapporto [RD5].

Sistema di riferimento

Il sistema di riferimento utilizzato è il WGS84.

1. Misure interferometriche

1.1 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 questo quarto rapporto, sono state aggiornate le misure di spostamento integrando le nuove immagini Sentinel-1 (ascending e descending) acquisite nel semestre Giugno 2019 – Dicembre 2019 dataset estendendo l'intervallo temporale al seguente periodo:

- Monitoraggio Ottobre 2014 – Dicembre 2019 sull'intera area di studio;

Questo quarto rapporto ha permesso di aggiornare 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 variazione cinematica dei fenomeni di subsidenza e/o frane rispetto al precedente rapporto [RD6]. Ogni punto di misura (PD/DS) 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 3** e **Figura 4** sono riportate le mappe con la velocità media annua (mm/anno) misurata lungo la linea di vista del satellite (LOS) aggiornata a Dicembre 2019 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 giallo arancione e rosso allontanamenti dal sensore lungo la direzione di LOS (valori negativi), con il verde i punti stabili e in azzurro e blu gli avvicinamenti al sensore (valori positivi) sempre lungo la linea di vista del satellite (LOS).

In **Figura 5** e **Figura 6** 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.

Dall'analisi delle misure di spostamento aggiornate a Dicembre 2019 non si evidenziano variazioni significative di velocità media sui centri abitati di Gorgoglione e Stigliano rispetto a quanto misurato nel precedente rapporto [RD6].

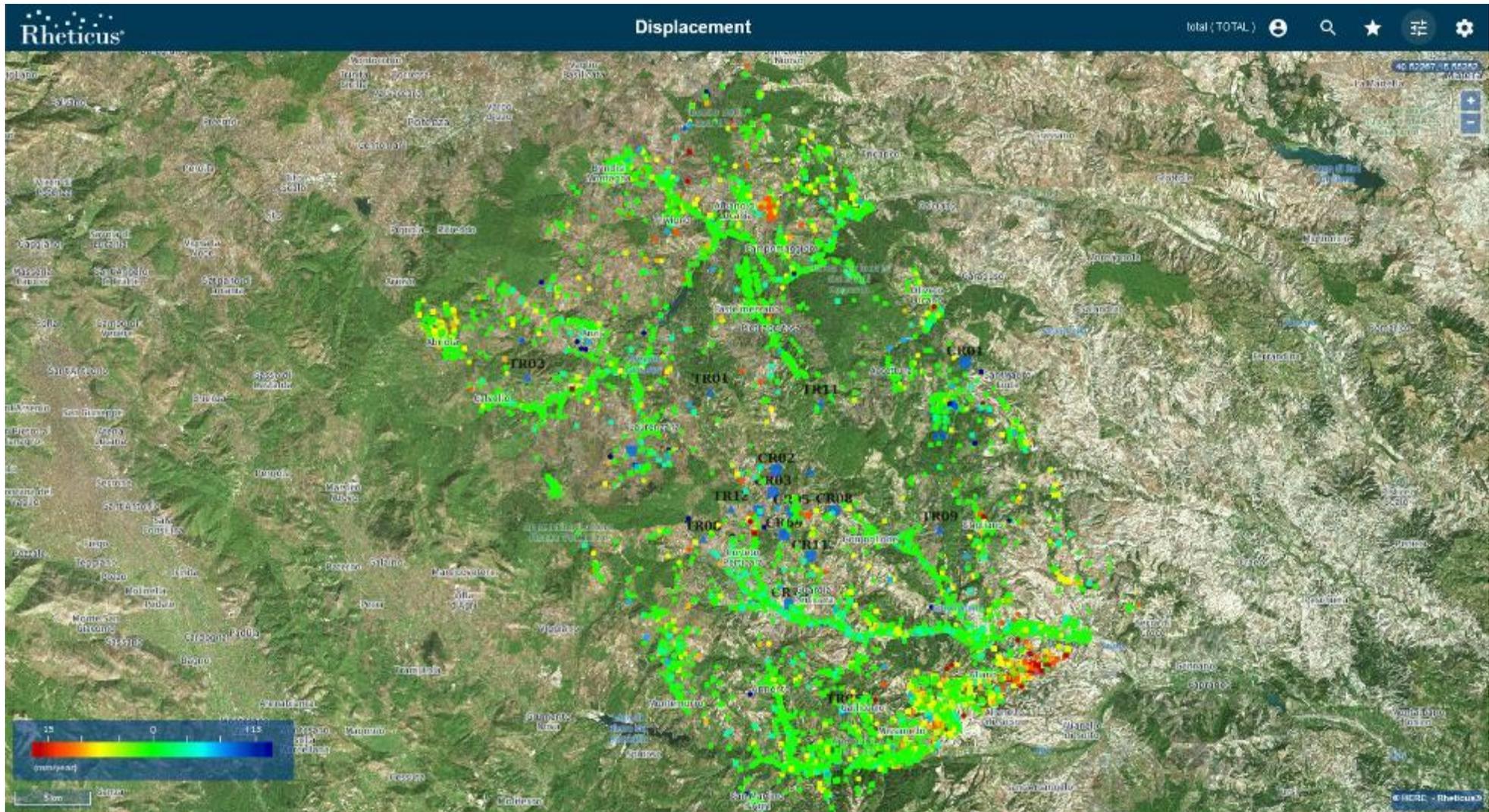


Figura 3: Mappa velocità media annua (mm/anno) lungo la LOS sul periodo esteso a Dicembre 2019 e ottenuta dal processamento del dataset Sentinel-1 in orbita ascending.

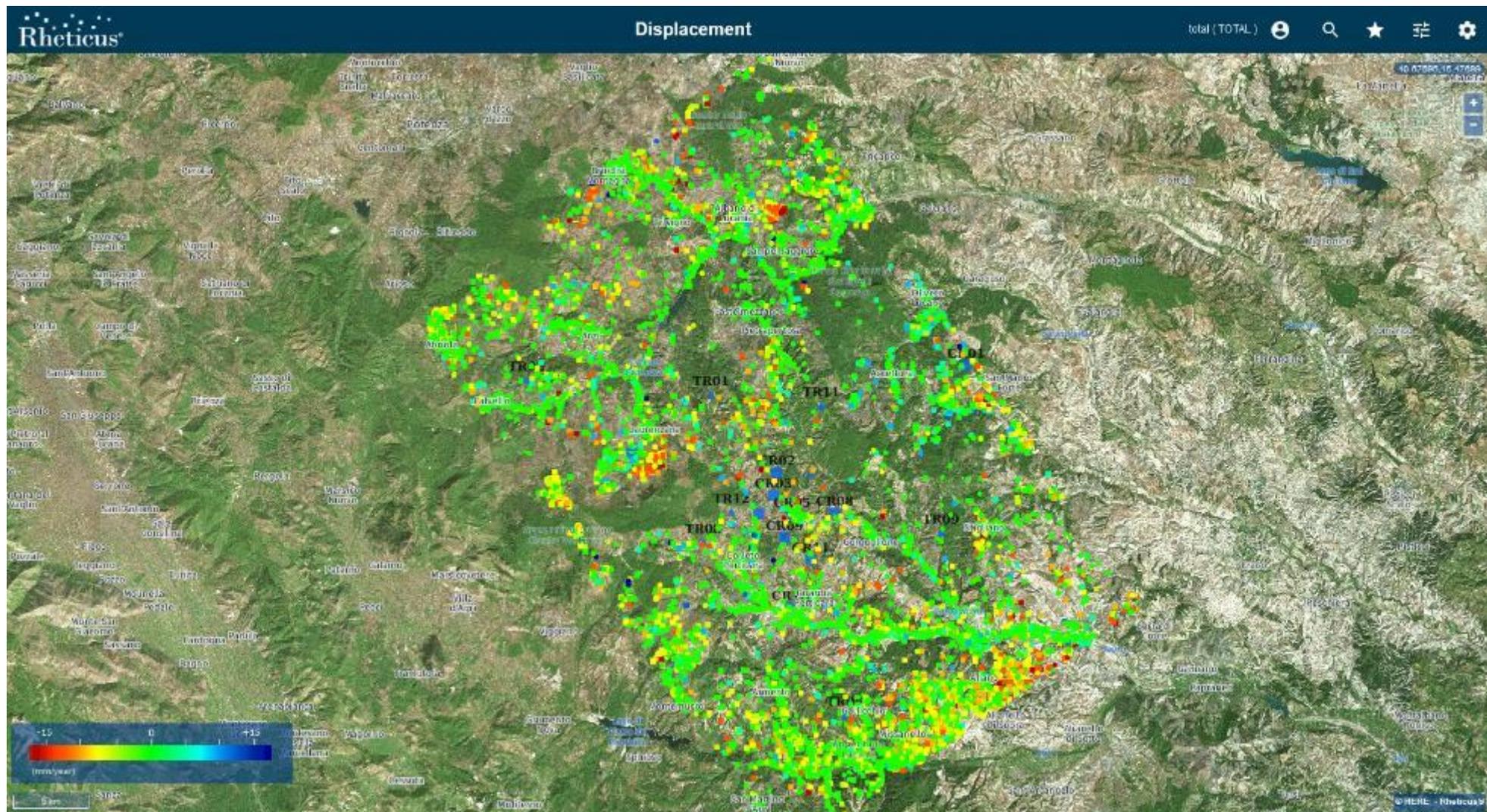


Figura 4: Mappa velocità media annua (mm/anno) lungo la LOS sul periodo esteso a Dicembre 2019 e ottenuta dal processamento del dataset Sentinel-1 in orbita descending.

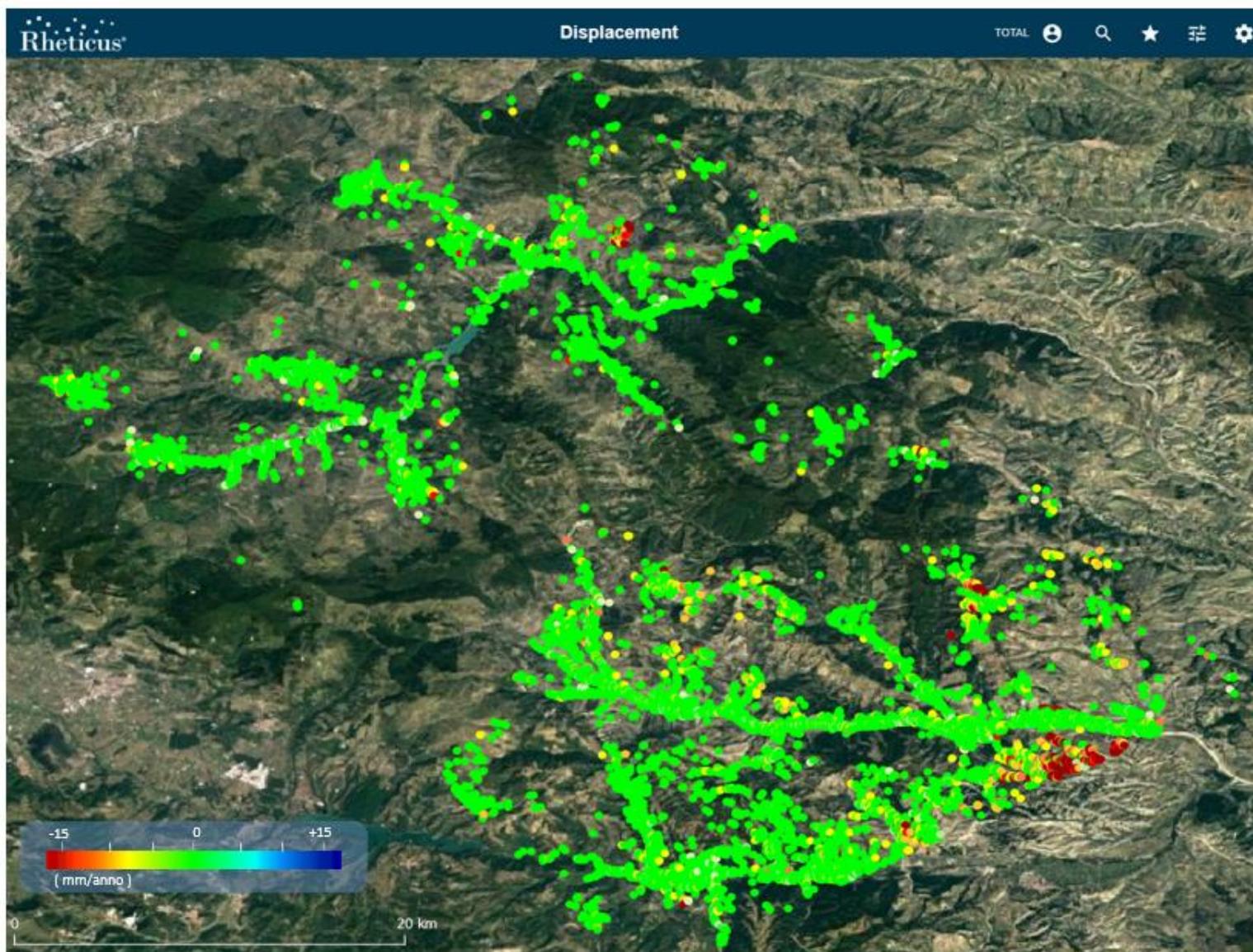


Figura 5: Mappa velocità media annua (mm/anno) lungo la direzione verticale sul periodo esteso a Dicembre 2019 ottenuta dalla combinazione delle immagini Ascending e Descending acquisite dal satellite Sentinel-1.

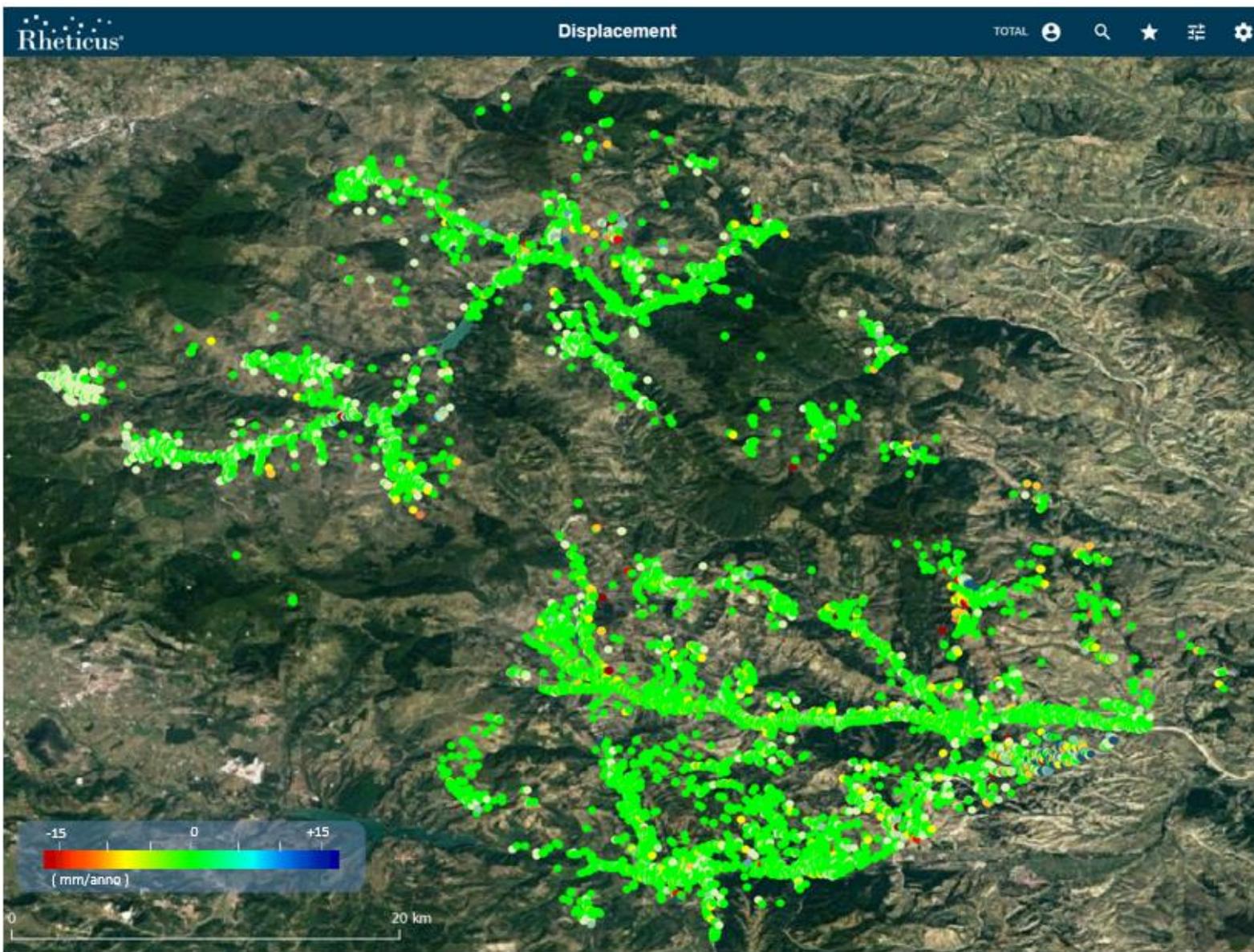


Figura 6: Mappa velocità media annua (mm/anno) in direzione Est(+) - Ovest(-) sul periodo esteso a Dicembre 2019 ottenuta dalla combinazione delle immagini Ascending e Descending acquisite dal satellite Sentinel-1.

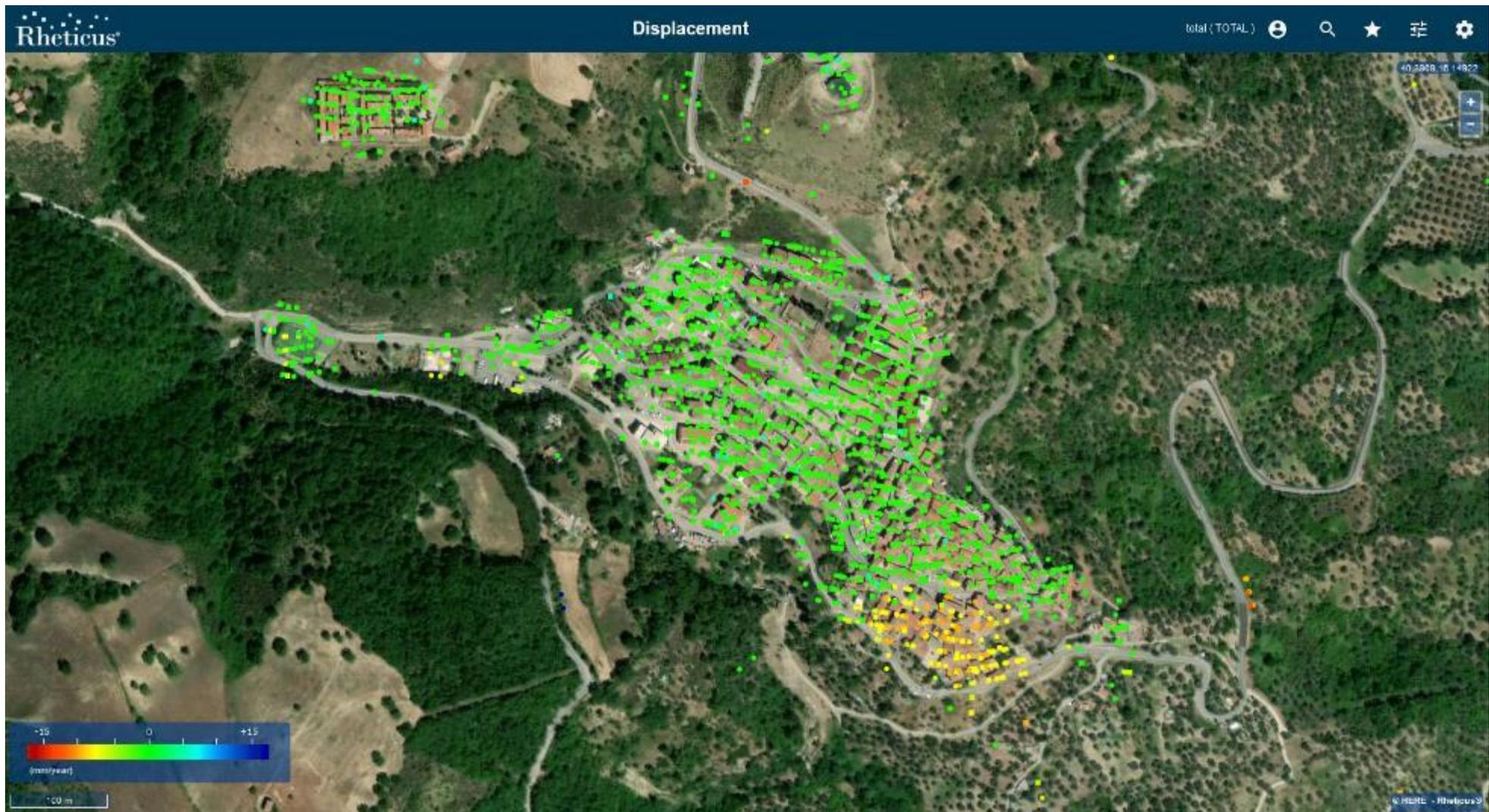


Figura 7: La mappa di velocità media (mm/anno) PS/DS sul centro abitato di Gorgoglione sul periodo esteso a Dicembre 2019 non mostra variazioni significative rispetto al precedente rapporto [RD6].

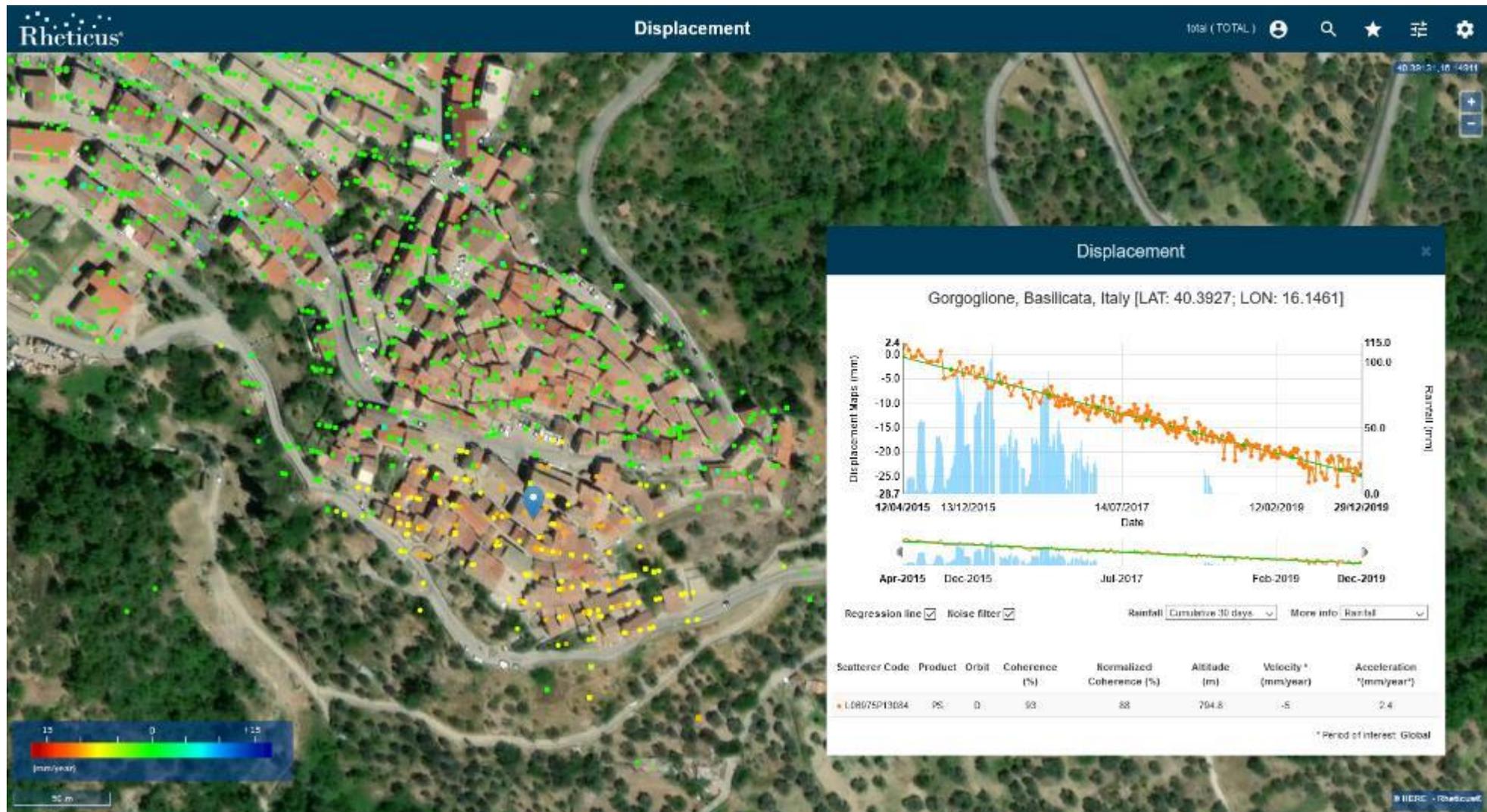


Figura 8: Serie temporale del PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) ad alta coerenza (0.93) situato al centro dell'area in movimento del centro abitato di **Gorgoglione**. La velocità media del PS sul periodo esteso a Dicembre 2019 è pari a -5 mm/anno in linea con quanto misurato nel precedente rapporto [RD6].

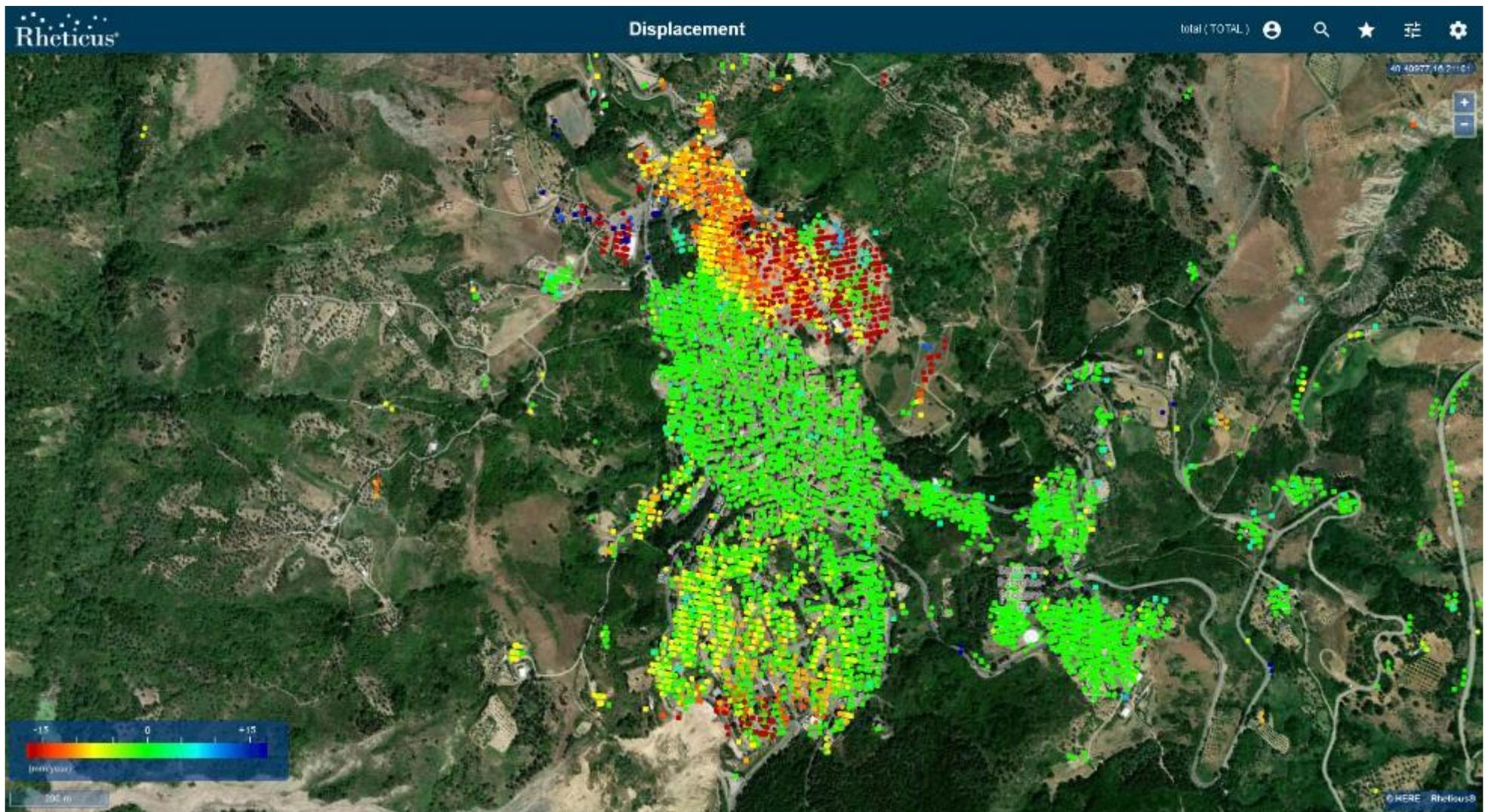


Figura 9: La mappa di velocità media (mm/anno) PS/DS sul centro abitato di **Stigliano** calcolata sul periodo esteso a Dicembre 2019 non mostra variazioni significative rispetto al rapporto precedente [RD6].

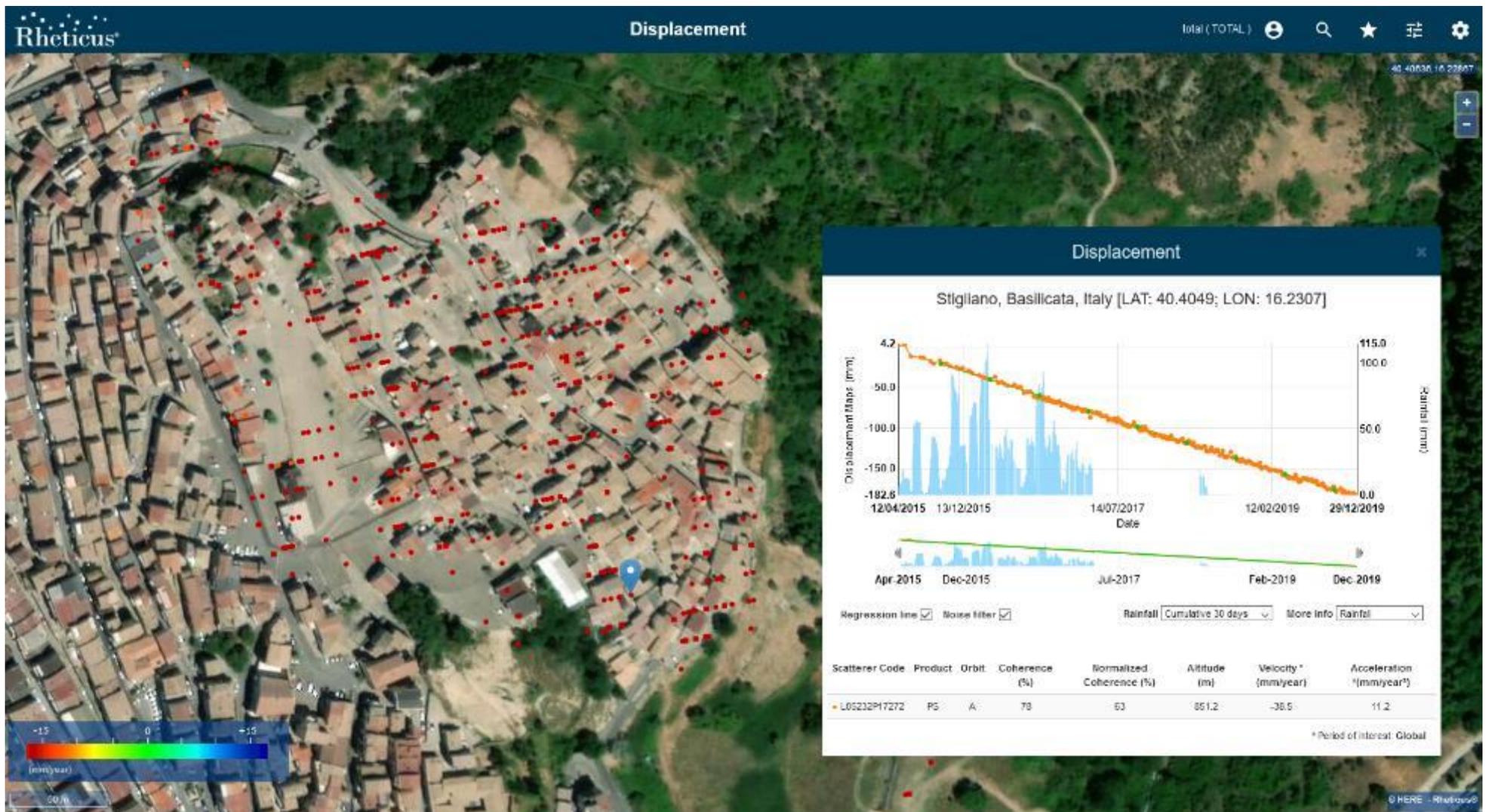


Figura 10: Visualizzazione dei soli PS/DS caratterizzati da una velocità media di abbassamento superiore a -20 mm/anno. Il grafico mostra le serie temporali di 1 PS (evidenziato dal puntatore blu nell'immagine) a più alta velocità situato nella zona Nord-Est del centro abitato di Stigliano caratterizzato da una velocità media in orbita Ascending pari a -38.5 mm/anno in linea con quanto misurato nel precedente rapporto [RD6].

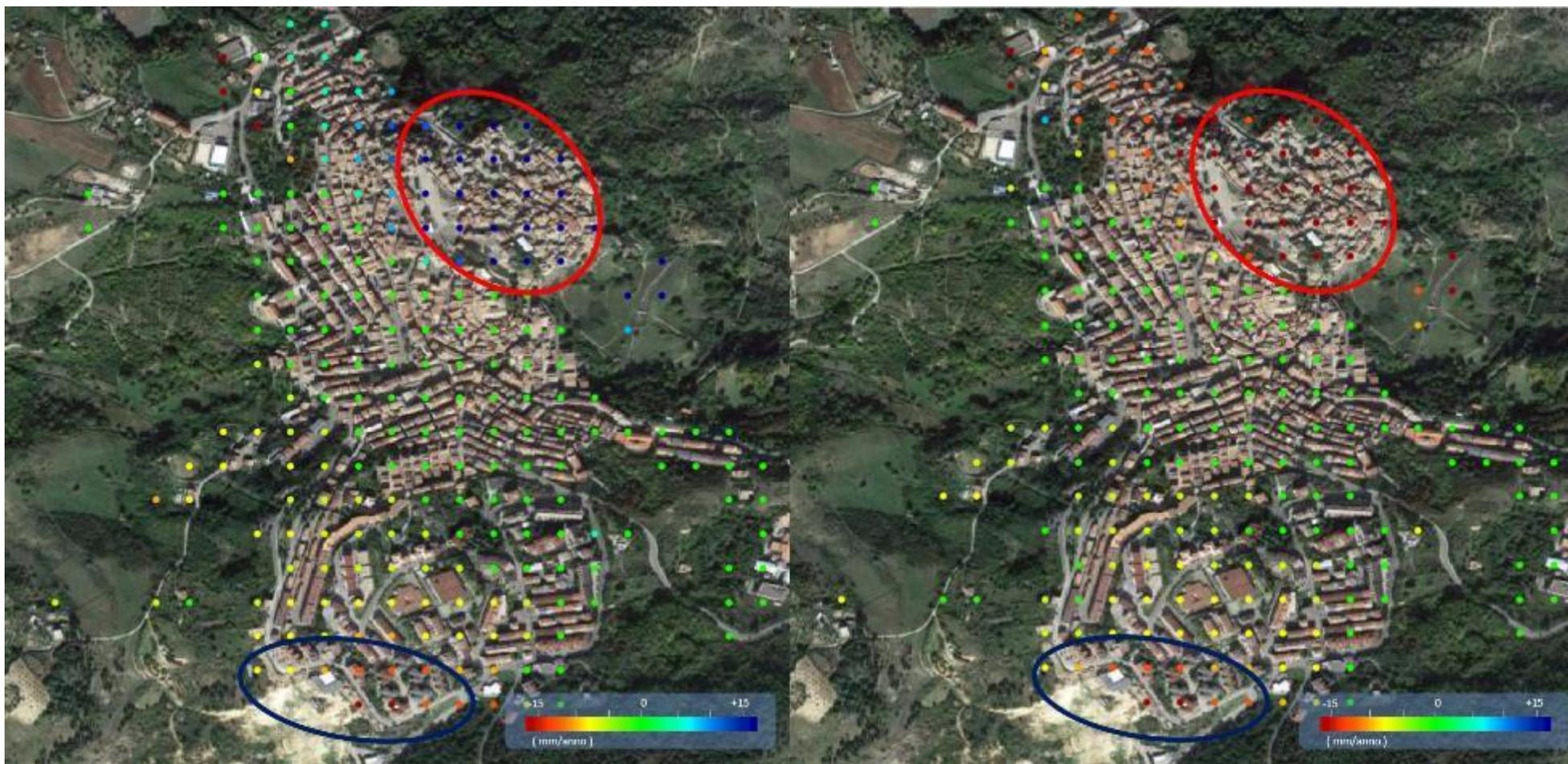


Figura 11: La mappa delle componenti di velocità media Est(+) –Ovest(-) (immagine di sinistra) e Verticale (immagine di destra) sul centro abitato di **Stigliano** calcolata sul periodo esteso a Dicembre 2019 non mostra variazioni significative dall’inizio del monitoraggio eccetto per la sud-ovest dove risultano raddoppiati i valori massimi di velocità orizzontale e verticale misurati rispetto al primo rapporto [RD5]. Sulla zona nord (evidenziata dal poligono rosso nelle immagini) si evince una velocità media in direzione Est pari a 25 mm/anno e una componente di abbassamento verticale medio pari a -18 mm/anno mentre la zona sud-ovest (evidenziata dal poligono blu nelle immagini) presenta uno spostamento medio in direzione Ovest pari a -9 mm/anno fino ad un massimo di -23 mm/anno e una componente di abbassamento verticale pari a -9 mm/anno fino ad un massimo di -20 mm/anno.

1.2 Dettaglio pozzi di produzione e centro oli

Nelle figure seguenti si riportano le mappe dei PS/DS tematizzati sulla base della velocità media calcolata sul periodo esteso a Dicembre 2019 e misurata in mm/anno sulle zone di produzione e stoccaggio. Dall'analisi delle misure aggiornate non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6].



Figura 12: **Pozzo GG-1** (indicato dal triangolo fucsia) caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali, nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6].

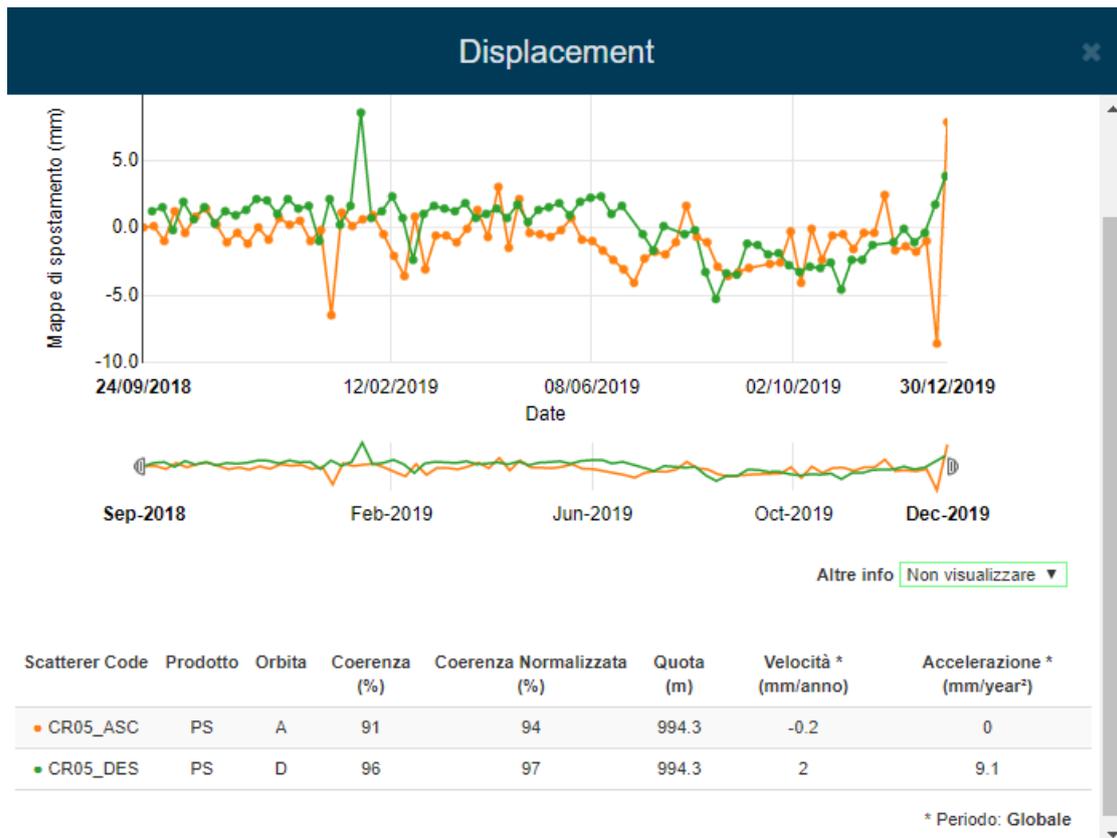


Figura 13: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR05. La serie temporale di spostamento in arancione è relativa all’orbita Ascending mentre quella verde rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Descending.

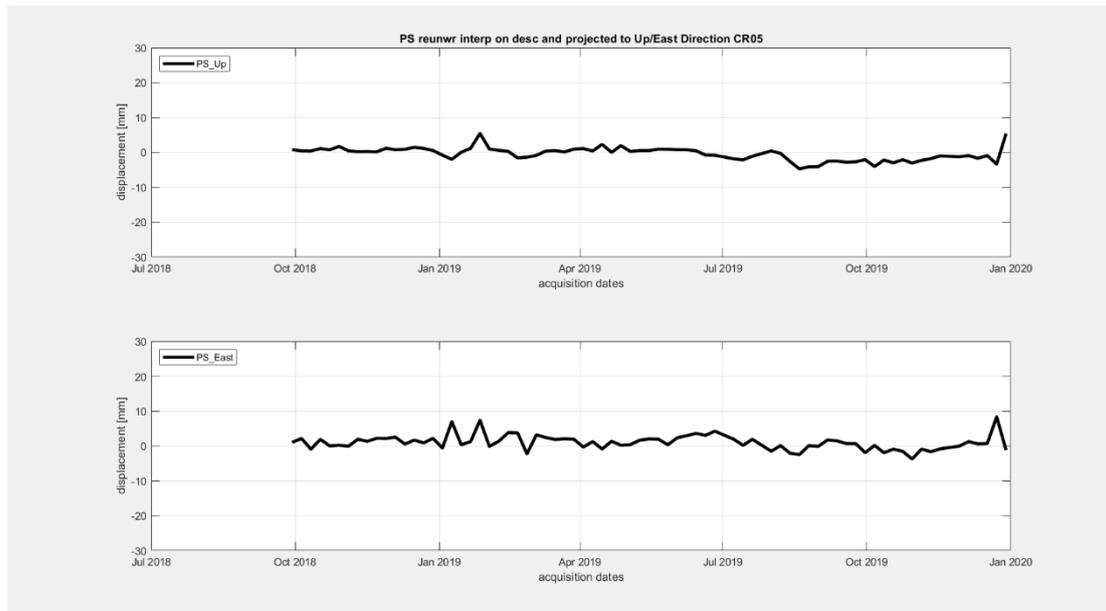


Figura 14: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento il corner reflector CR05 risulta stabile nel periodo settembre 2018-Dicembre2019.



Figura 15: **Pozzo GG-2** (indicato dal triangolo fucsia) caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali, nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6].

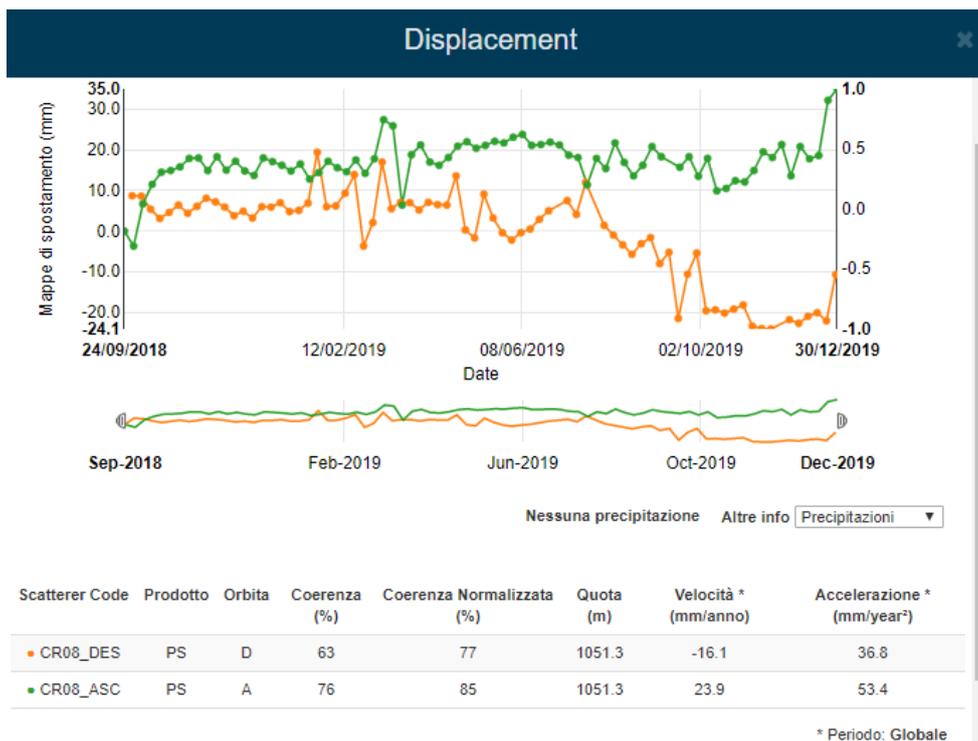


Figura 16: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR08. La serie temporale di spostamento in arancione è relativa all’orbita Descending mentre quella verde rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Ascending. Si nota una maggior rumorosità della serie temporale in orbita Descending con un’accelerazione nel bimestre agosto-settembre 2019.

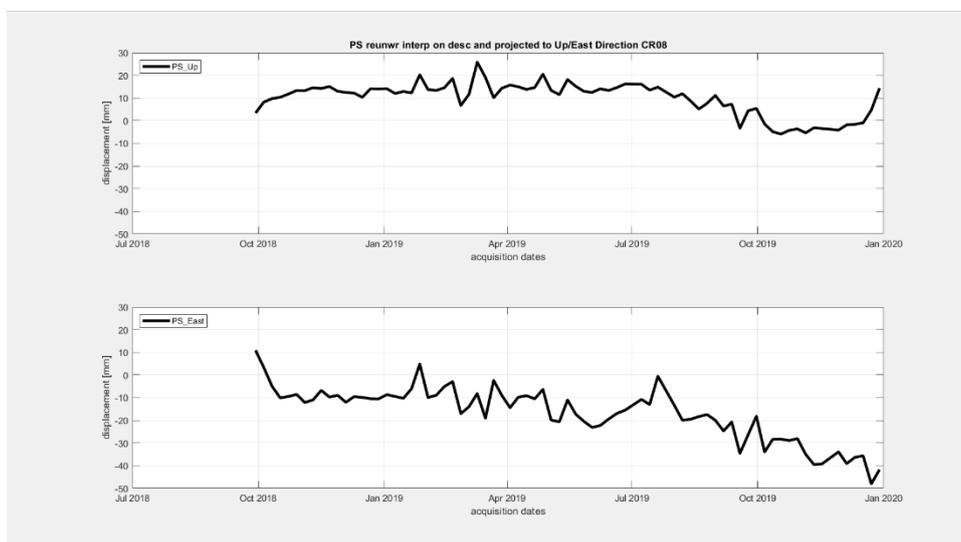


Figura 17: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento, il corner reflector CR08 mostra un trend di spostamento principale in direzione ovest. E’ importante precisare che la stima delle serie temporali delle componenti verticale e orizzontale sono ottenute dalla combinazione delle serie temporali ascending e descending e pertanto in questo caso sono influenzate dal rumore presente nelle misure in orbita descending.

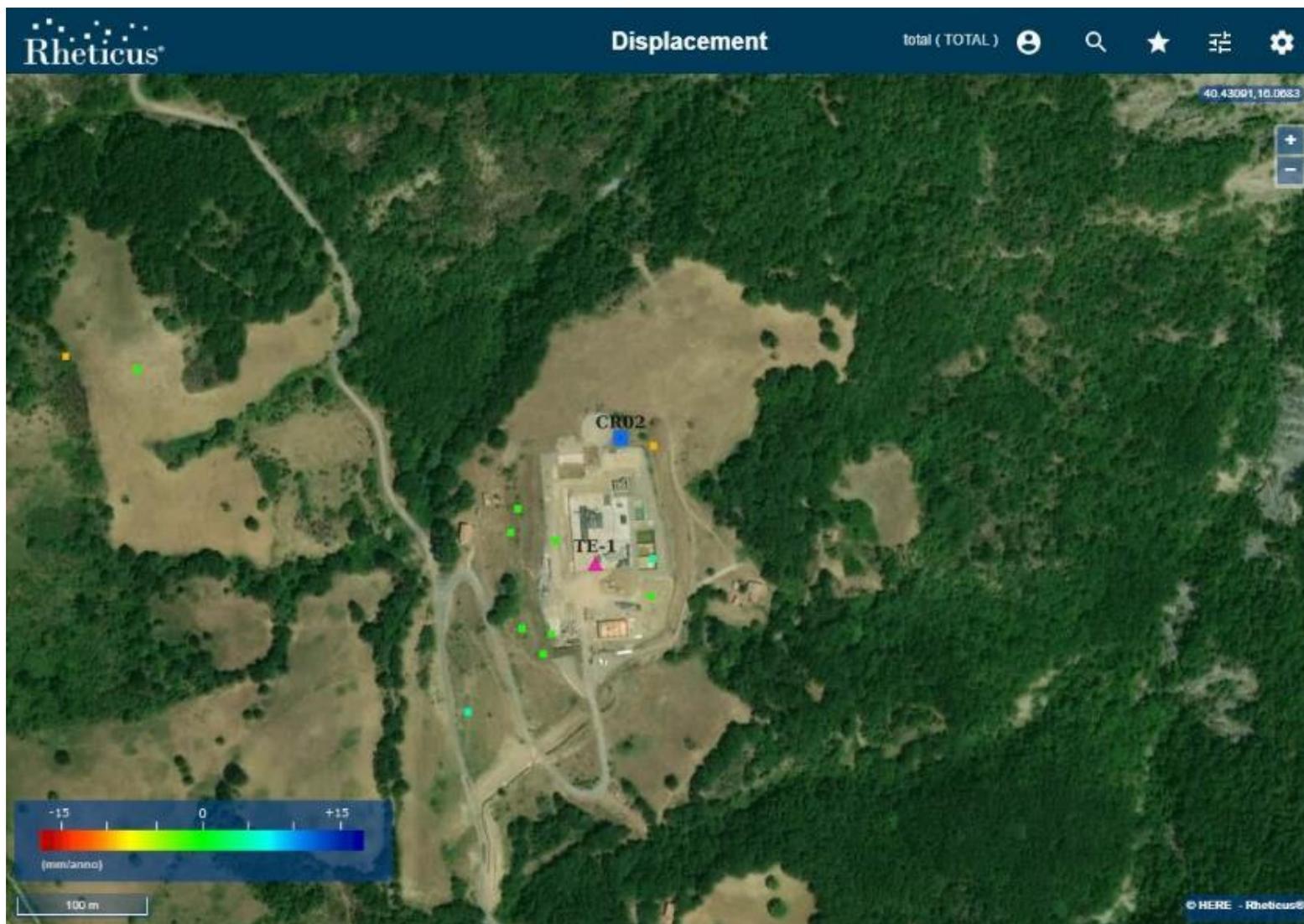


Figura 18: **Pozzo TE-1** (indicato dal triangolo fucsia) caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6]

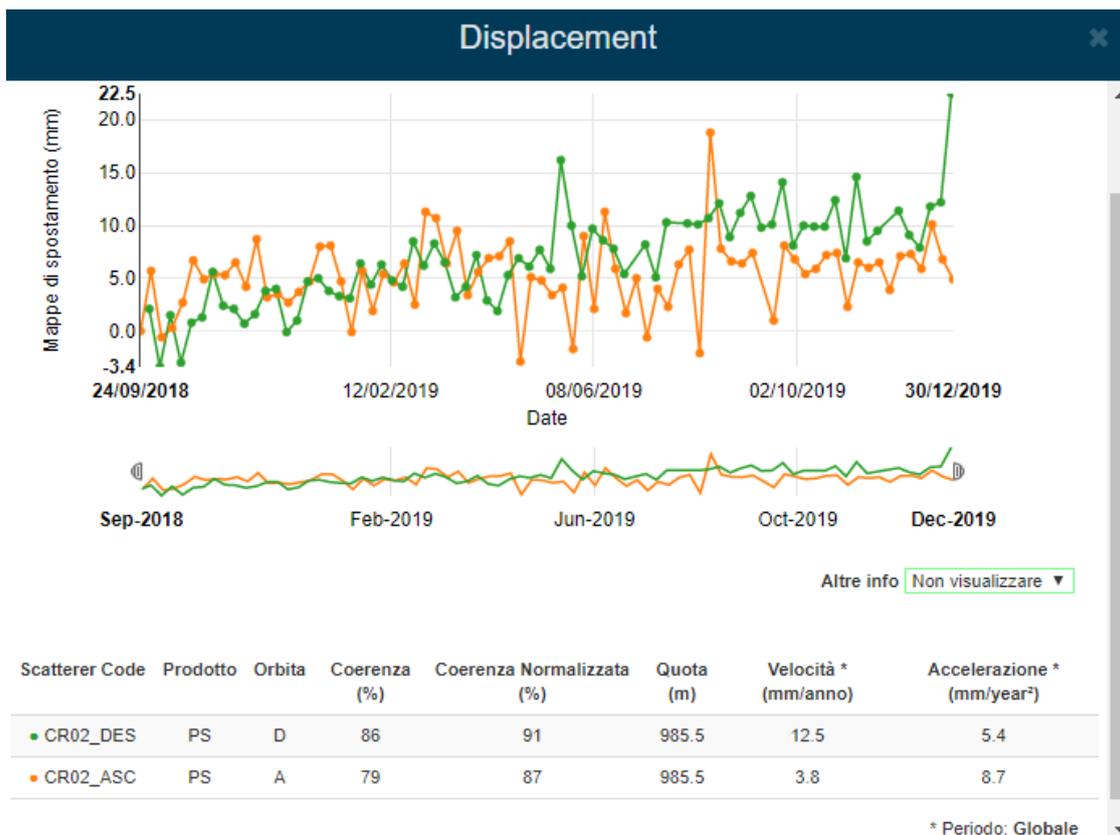


Figura 19: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR02. La serie temporale di spostamento in verde è relativa all’orbita Descending mentre quella arancione rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Ascending.

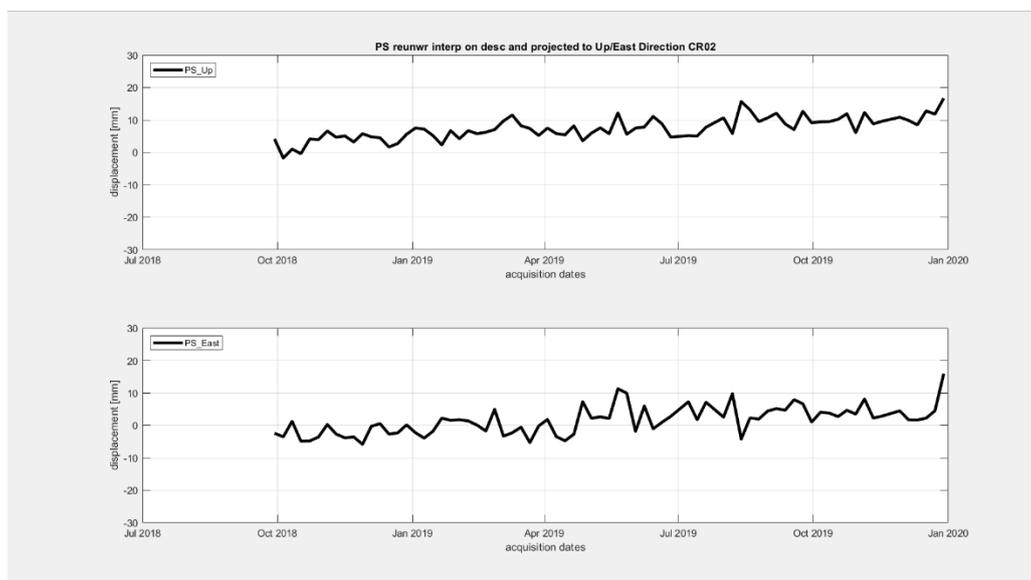


Figura 20: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento del corner reflector CR02 si evince che la direzione principale di spostamento è quella di un sollevamento centimetrico nel periodo settembre 2018-dicembre2019.



Figura 21: **Pozzo PT-1** (indicato dal triangolo fucsia) caratterizzato da una discreta copertura di PS e dai quali nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6]

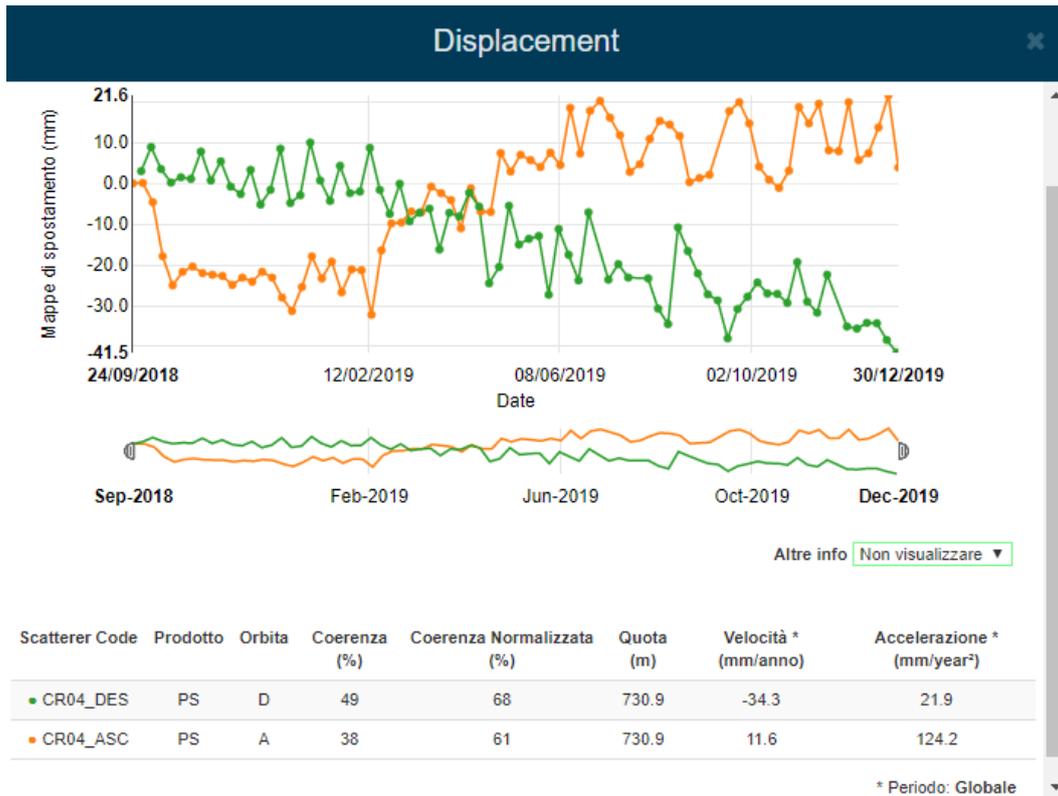


Figura 22: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR04. La serie temporale di spostamento in verde è relativa all’orbita Descending mentre quella arancione rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Ascending. Si nota come i valori di coerenza risultino piuttosto bassi e le misure rumorose.

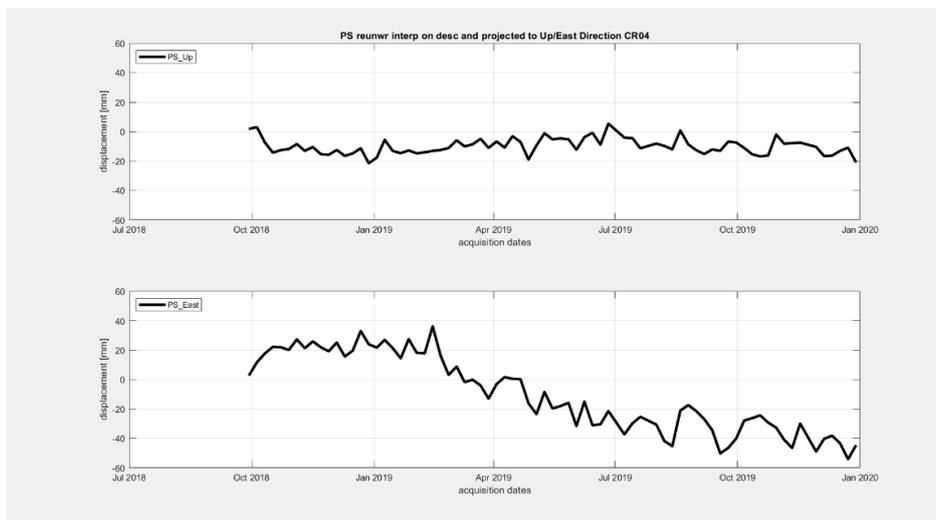


Figura 23: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento del corner reflector CR04 si evince che la direzione principale di spostamento è rappresentata da uno spostamento non lineare in direzione ovest nel periodo settembre 2018-dicembre2019. E’ importante precisare che la stima degli spostamenti del corner CR04 sono poco affidabili a causa della bassa coerenza e rumore di misura presente per entrambe le orbite ascending e descending.

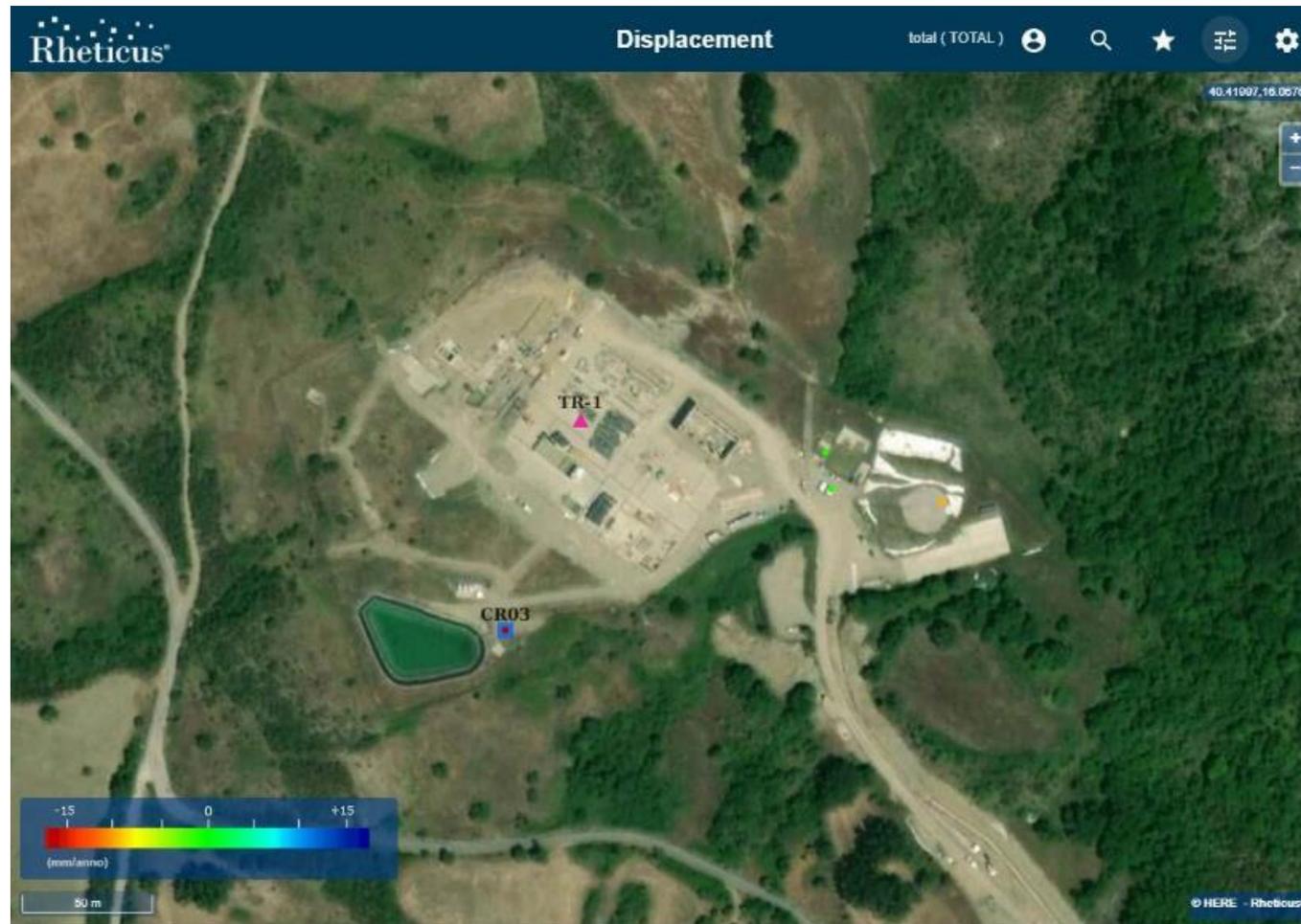


Figura 24: **Pozzo TR-1** (indicato dal triangolo fucsia) sulla cui piazzola solo stati individuati 2 PS dai quali, nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto. Dai PS verdi si evince come la parte est della piazzola non è influenzata dal fenomeno franoso situato a monte della stessa.

Si precisa che, essendo noto un movimento franoso a monte dell'area pozzo TR-1, in assenza di PS/DS sull'area, non è possibile misurare eventuali movimenti.

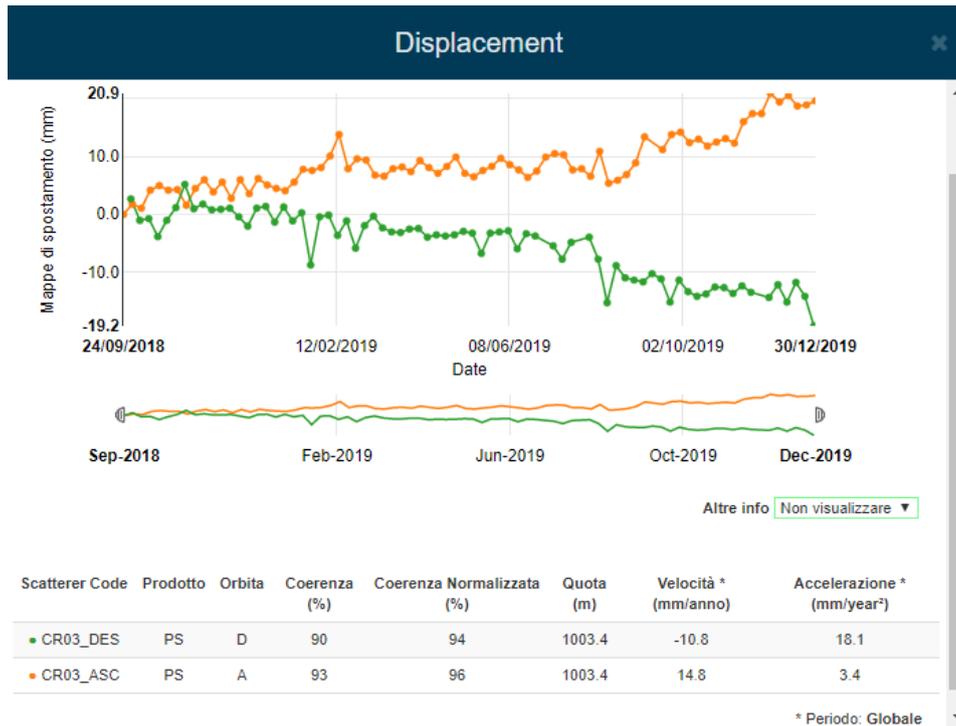


Figura 25: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR03. La serie temporale di spostamento in verde è relativa all’orbita Descending mentre quella arancione rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Ascending.

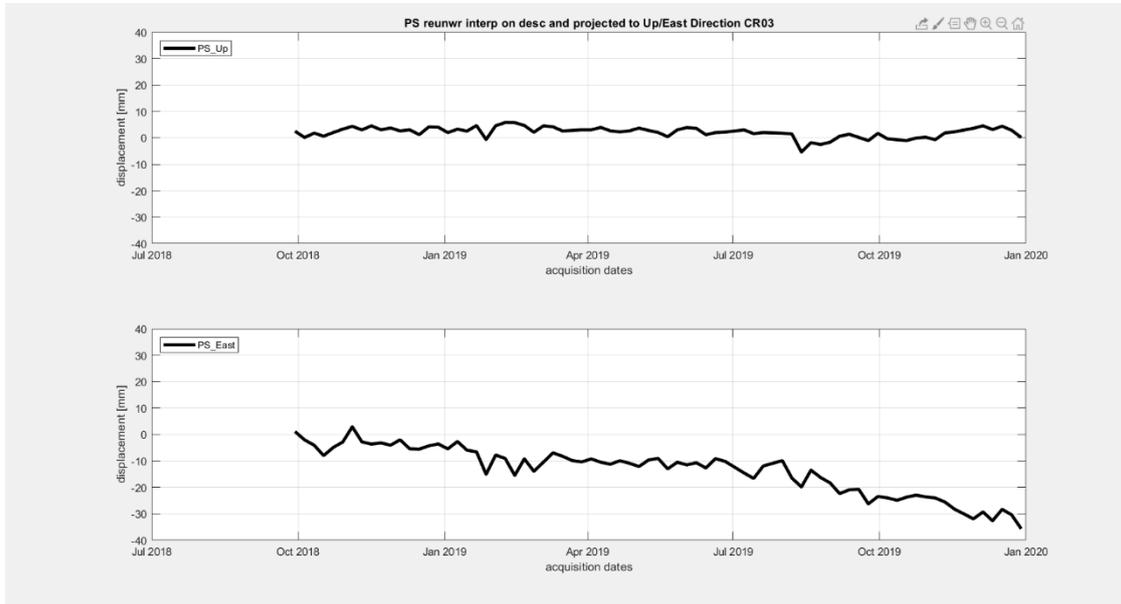


Figura 26: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento del corner reflector CR03 si evince che la direzione principale di spostamento è rappresentata da uno spostamento in direzione ovest dell’ordine dei 30 mm nel periodo settembre 2018-dicembre2019.

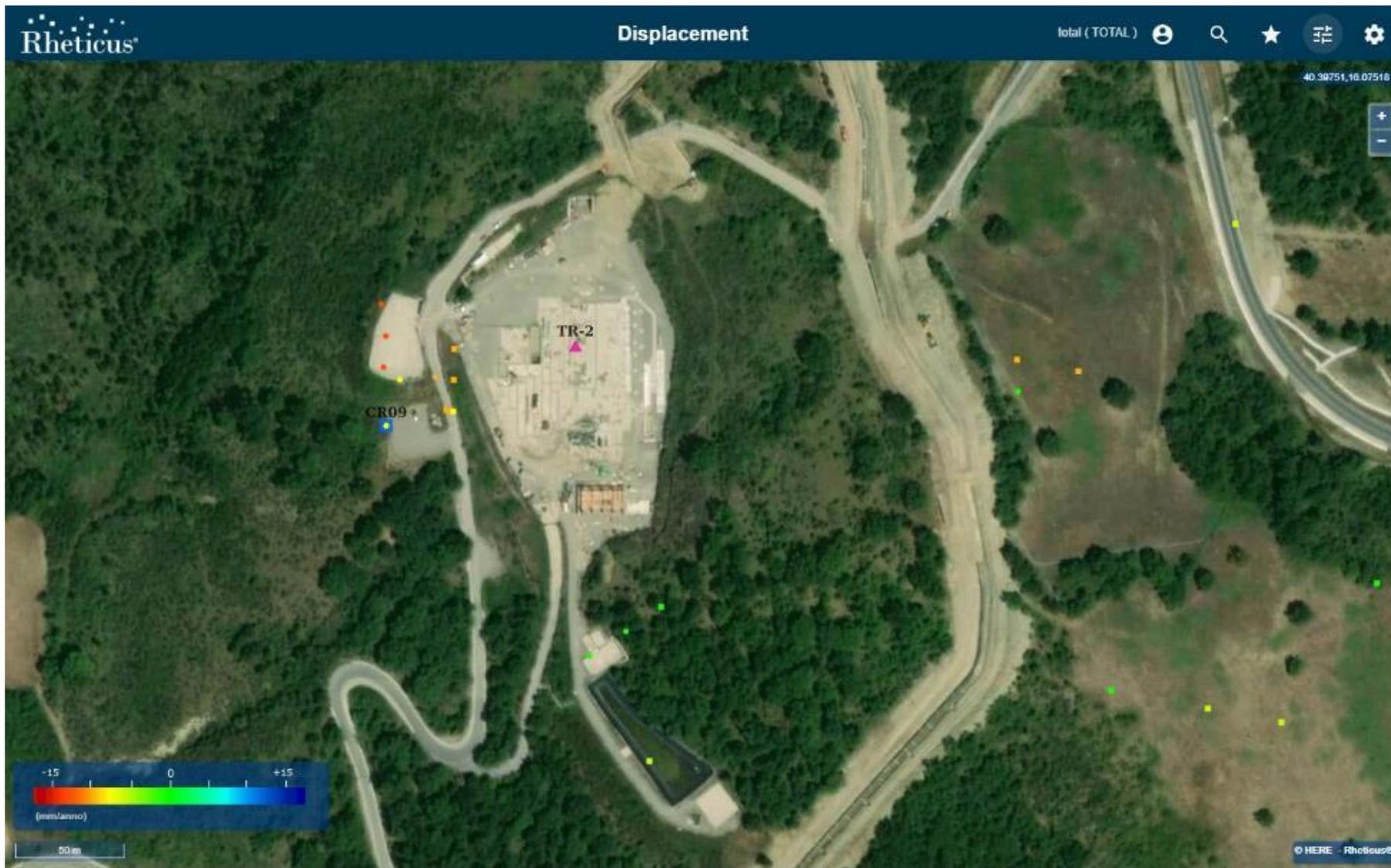


Figura 27: **Pozzo TR-2** dove dai PS presenti, nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6].

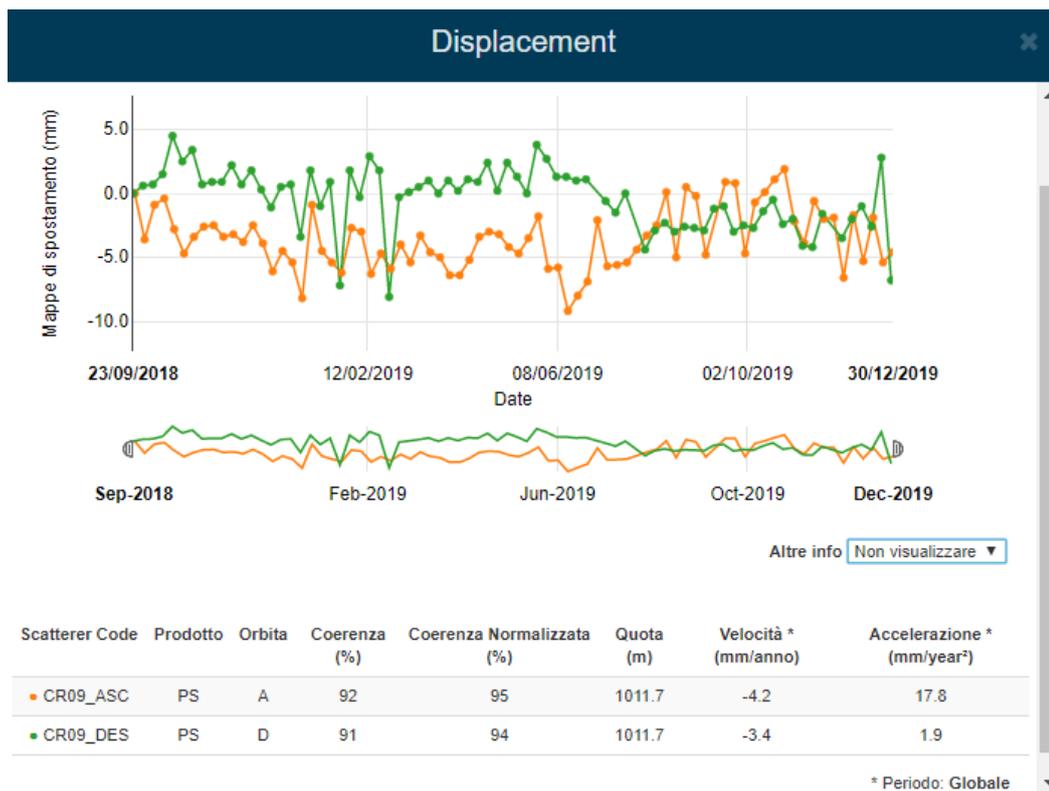


Figura 28: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR09. La serie temporale di spostamento in verde è relativa all’orbita Descending mentre quella arancione rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Ascending.

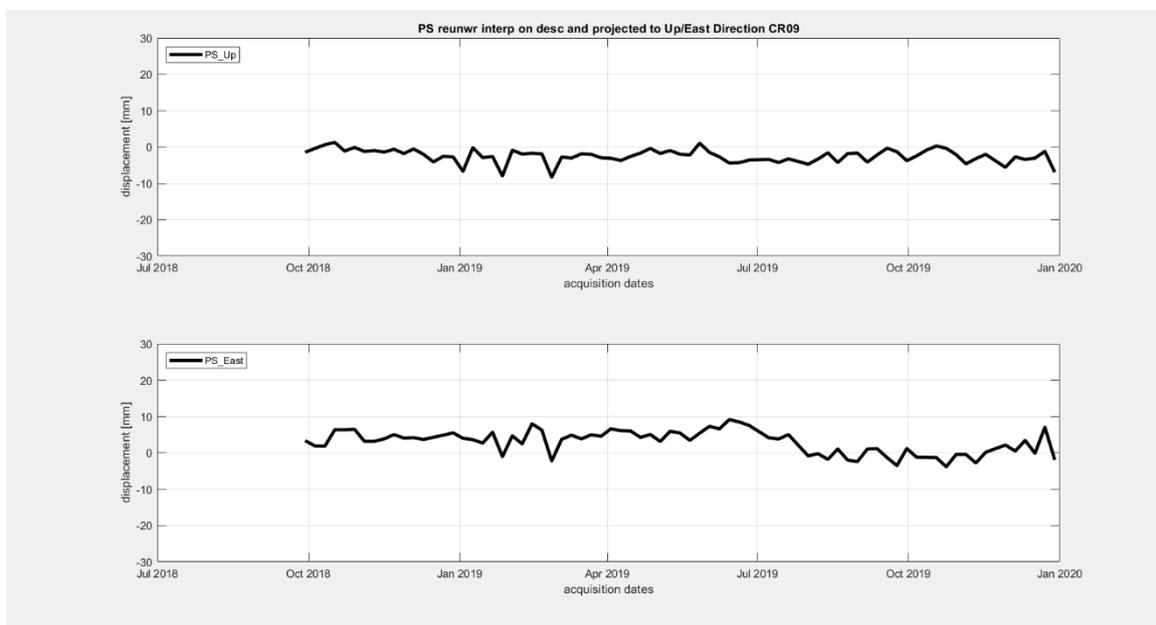


Figura 29: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento, il corner reflector CR09 risulta stabile nel periodo settembre 2018-Dicembre2019.



Figura 30: **LPG Center** caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6]

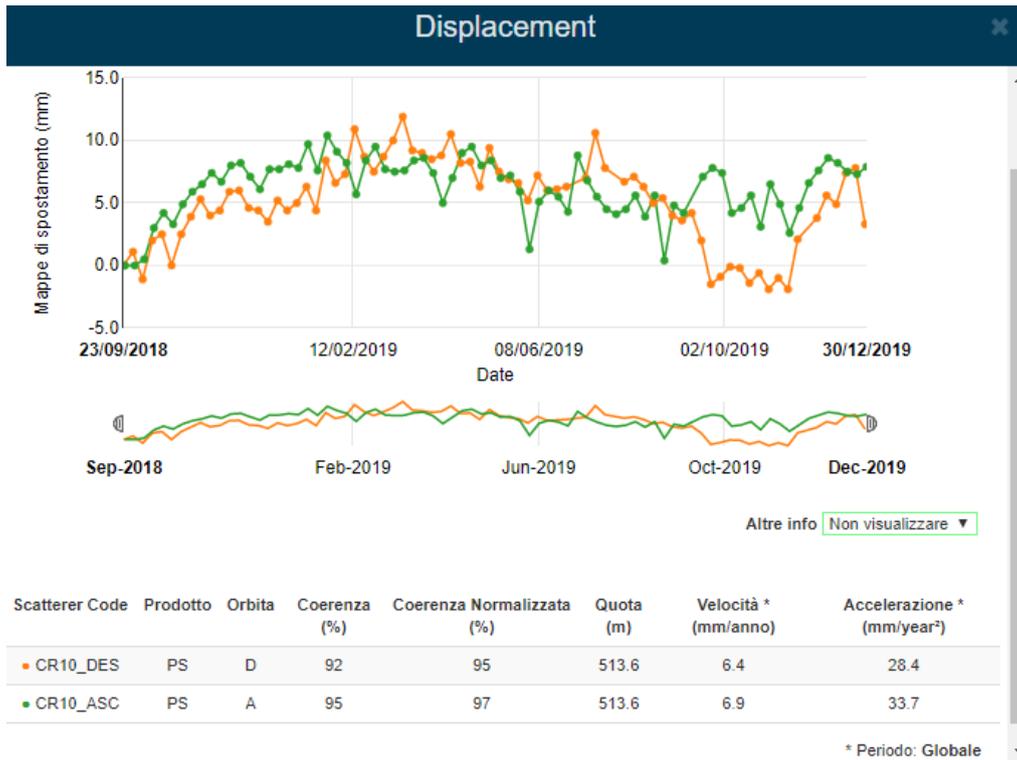


Figura 31: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR10. La serie temporale di spostamento in verde è relativa all’orbita Ascending mentre quella arancione rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Descending.

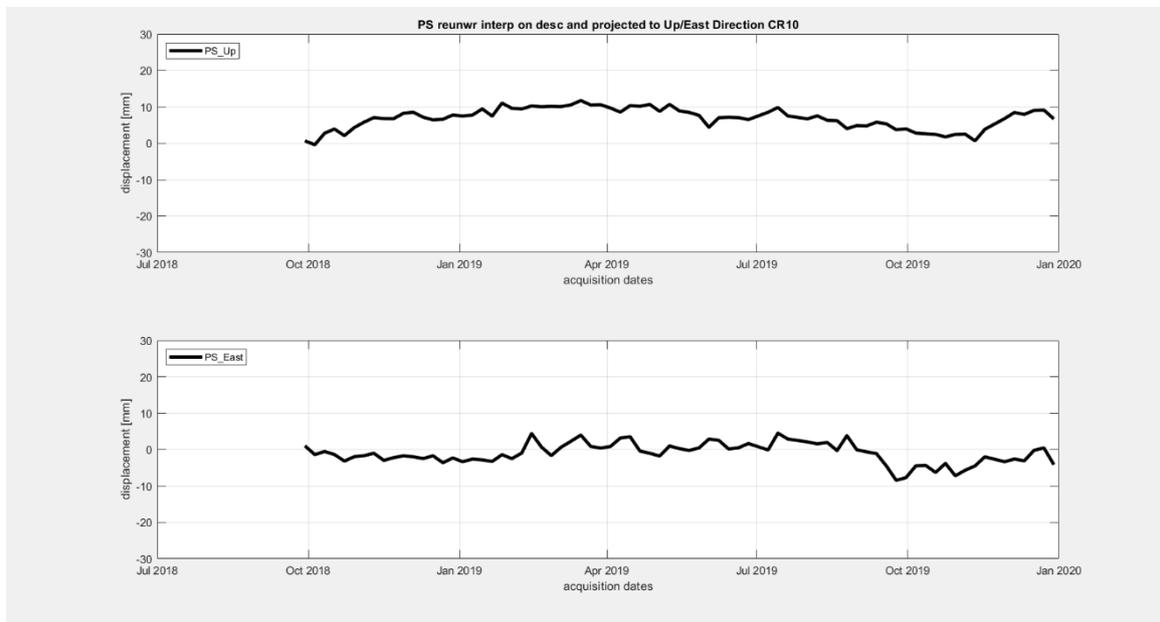


Figura 32: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento il corner reflector CR10 si nota la presenza di un movimento non lineare di sollevamento di circa un centimetro nel periodo settembre 2018-Dicembre2019.

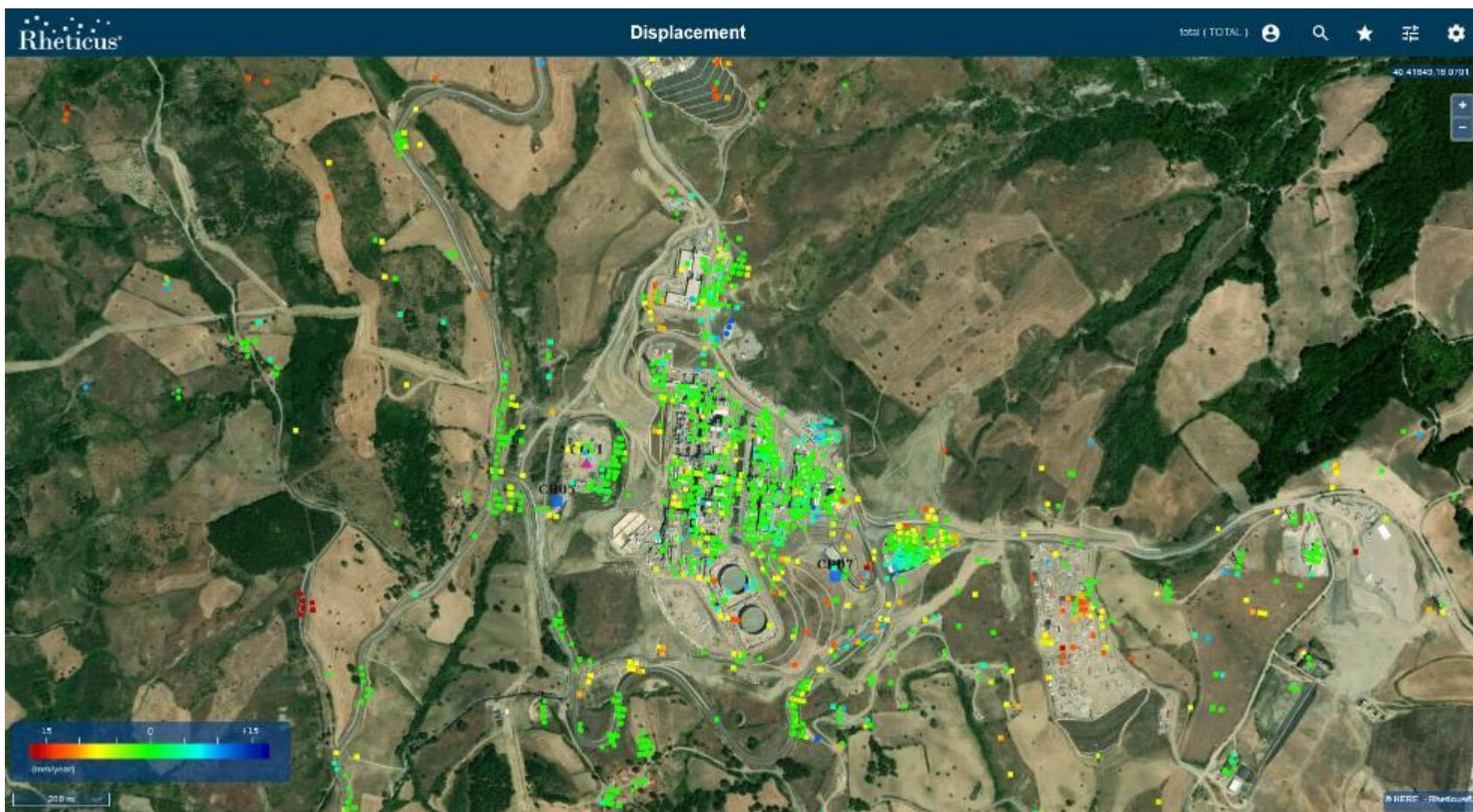


Figura 33: Oil Center caratterizzato da una buona copertura di PS e dai quali nel periodo esteso a Dicembre 2019, non si evincono variazioni significative di velocità media rispetto al precedente rapporto [RD6].

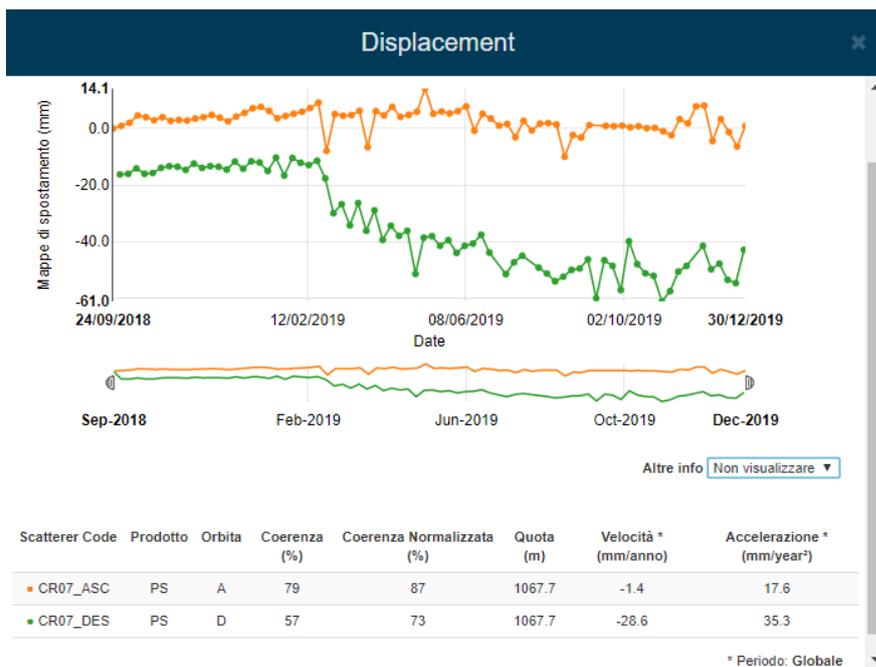


Figura 34: serie temporale di spostamento relativa al periodo settembre 2018 – Dicembre 2019 misurata in corrispondenza del Corner Reflector CR07. La serie temporale di spostamento in verde è relativa all’orbita Descending mentre quella arancione rappresenta la serie temporale relativa all’orbita Ascending. Si nota una maggior rumorosità e bassa coerenza della serie temporale in orbita Descending.

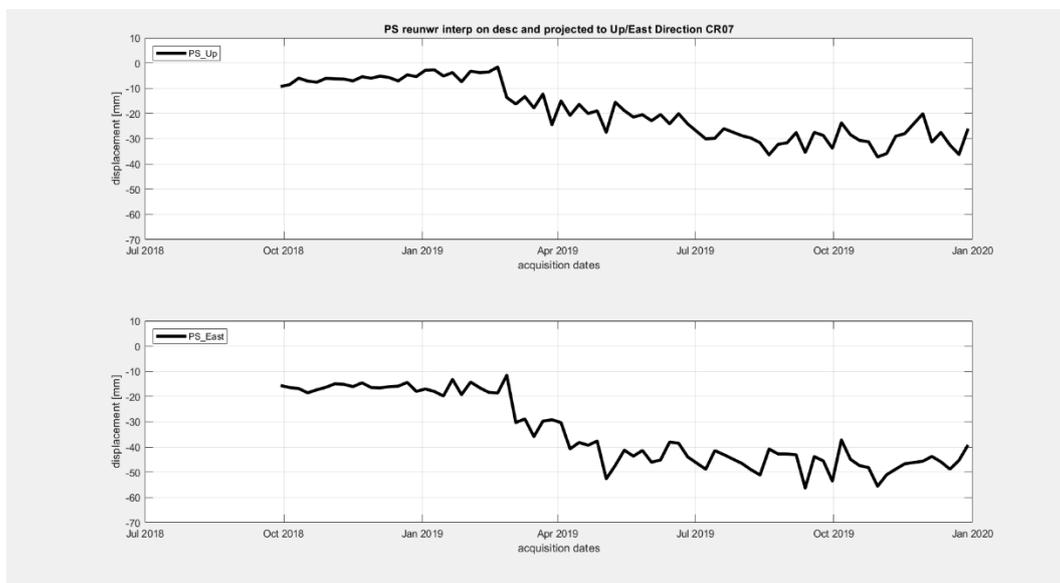


Figura 35: il grafico in alto rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione Verticale (PS_Up) mentre il grafico in basso rappresenta la serie temporale di spostamento in direzione est (PS_Est).

Dall’analisi dei grafici di spostamento, il corner reflector CR07 mostra un trend non lineare di abbassamento accompagnato da uno spostamento in direzione ovest. Si ricorda che la stima delle serie temporali delle componenti verticale e orizzontale sono ottenute dalla combinazione delle serie temporali ascending e descending e pertanto in questo caso sono influenzate dal rumore presente nelle misure in orbita descending.

1.3 Dati consegnati

Unitamente alla presente Relazione Tecnica, sono stati prodotti i risultati dell'analisi interferometrica in formato shapefile contenuti all'interno della cartella pkb011-253-1.0_Shapefile_InSAR_TOTAL_Gorgoglione_rapporto_4.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.

1.4 Aggiornamento dell'analisi di qualità della risposta di fase interferometrica (Sentinel-1) dei Corner Reflector installati sul sito di Gorgoglione

Total ha installato 11 Corner Reflector nel periodo agosto-settembre 2018 sui punti di maggior interesse, la cui mappa è riportata in Figura 36.



Figura 36: Mappa di distribuzione degli 11 Corner Reflector.

In questo paragrafo sono riportati i risultati dell'analisi di fase e di ampiezza di tutti i CR aggiornati a Dicembre 2019 le cui installazioni sono state completate a settembre 2018. A seguito delle installazioni, durante il periodo coperto dai primi 3 rapporti sono state effettuate delle attività di calibrazione e modifica dell'orientamento dei CR pertanto in questo quarto rapporto i CR sono stati analizzati attraverso la stessa procedura di analisi del dato di ampiezza e fase descritta nel precedente rapporto [RD6] a cui si rimanda per una descrizione approfondita della metodologia. Le serie temporali di spostamento ottenute sui Corner Reflectors sono visualizzabili all'interno della piattaforma Rheticus® Displacement.

Il risultato aggiornato della risposta in ampiezza ha permesso di confermare l'assenza di variazioni rispetto al rapporto precedente [RD7] pertanto risulta confermata una buona risposta dei corner reflectors ad eccezione dei corner CR04, CR07 e CR08 per i quali soprattutto le misure più recenti risultano rumorose. Tutti i dettagli sono disponibili sulle immagini aggiornate contenute in Allegato B – Dettagli e grafici a supporto dell'analisi dei CR.

In particolare il dettaglio con l'andamento nel tempo della risposta in ampiezza per tutti i CR è rappresentato dalle serie temporali di Sigma0 riportate in allegato 1.

Il risultato dell'aggiornamento dell'analisi della fase interferometrica è sintetizzato nella tabella seguente.

Tabella 3: : Valutazione di coerenza e fase interferometrica sui CR in orbita Ascending e Descending

Corner Reflector ID	Risposta della coerenza Pre-Installazione (Ascending)	Risposta della coerenza Post-Installazione (Ascending)	Risposta della coerenza Pre-Installazione (Descending)	Risposta della coerenza Post-Installazione (Descending)	Valutazione della risposta di fase interferometrica (Ascending)	Valutazione della risposta di fase interferometrica (Descending)
CR01	Bassa	Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]	Bassa	Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]	Buona. Presenza di movimenti non lineari.	Buona. Presenza di movimenti non lineari.
CR02					Buona	Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]
CR03					Buona. Presenza di movimenti non lineari.	Buona. Presenza di movimenti non lineari.
CR04					Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]	
CR05					Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]	
CR06					Buona. Coerenza non particolarmente elevata.	Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]
CR07					Buona.	Al momento non risulta ottimale sul passaggio Descending
CR08					Buona.	Al momento non risulta ottimale sul passaggio Descending
CR09					Ottima.	Ottima.
CR10					Ottima. Presenza di movimenti non lineari.	Ottima. Presenza di movimenti non lineari.
CR11					Nessuna variazione rispetto al rapporto precedente [RD7]	Buona.

Dall'analisi della risposta di fase aggiornata sono confermati i due casi di installazioni eccellenti, rappresentati dai corner reflectors CR05 e CR10, per i quali sia l'analisi della risposta radiometrica sia l'analisi della risposta di fase interferometrica risultano ottime.

L'analisi interferometrica rispecchia le osservazioni ricavate nell'analisi radiometrica; tale coerenza conferma l'analisi della precedente relazione, in cui si è osservata una modifica nella risposta dei corner reflectors CR04, CR07 e CR08 in relazione alle misure più recenti.

È opportuno verificare lo stato dei corner reflector su indicati insieme al CR06, per il quale il valore di coerenza nella vista ascendente non è ottimale, per valutare l'effetto di eventuali fattori esterni su tale variazione.

1.5 Confronto misure GNSS-InSAR

Come descritto nel precedente rapporto a cui si rimanda per una descrizione dettagliata [RD7], in corrispondenza di tre corner reflectors sono state rese disponibili misure con strumentazione GNSS il che ha reso possibile un raffronto quantitativo tra le misure GNSS e le misure SAR.

Al fine di rendere confrontabili le due tipologie di misure occorre premettere che:

- Le misure SAR sono proiettate lungo la linea di vista del satellite (ascendente e discendente) mentre le misure GNSS sono proiettate lungo le direzioni Nord, Est e verticale.
- Le attuali missioni satellitari SAR non sono sensibili alla componente dello spostamento in direzione Nord-Sud.

Sulla base di tali premesse, si può concludere che:

- il raffronto tra misure SAR e misure GNSS può essere ricavato solo riportando una delle due misure sul sistema di riferimento dell'altra.

Generalmente è preferibile riportare le misure GNSS sul sistema di riferimento delle misure SAR. Questo perché le tre componenti di spostamento misurate dal GNSS sono contemporanee ed inoltre formano una terna completa che consentono la proiezione dello spostamento lungo qualunque direzione dello spazio e quindi anche lungo le linee di vista ascendenti e discendenti del SAR. L'operazione contraria è sempre possibile, ma va anzitutto ricordato che dal dato SAR non è possibile estrarre la componente Nord dello spostamento; in secondo luogo occorre considerare che le misure SAR ascendenti e discendenti non sono contestuali e pertanto una loro combinazione richiede una operazione di interpolazione su un medesimo asse temporale.

Entrambe le procedure sono state messe a punto ed i risultati sono riportati nei paragrafi seguenti.

1.5.1 Proiezione delle misure GNSS sulle viste SAR ascendenti e discendenti

L'esito della proiezione delle misure GNSS sulle viste SAR ascendenti e discendenti con relativa rappresentazione grafica e raffronto con le misure SAR è riportato nei grafici seguenti. Le serie di spostamento GNSS messe a disposizione si riferiscono ad un'origine temporale differente rispetto all'origine temporale delle misure SAR e pertanto oltre all'uso di un medesimo sistema di riferimento spaziale occorre adottare un medesimo sistema di riferimento temporale. Per quest'ultimo caso si è utilizzato il sistema di riferimento temporale delle misure GNSS.

Per tali grafici valgono le considerazioni riportate qui di seguito.

Le tre figure seguenti si riferiscono rispettivamente ai corner reflector CR01, CR11 e CR06. Per ciascuna figura, il grafico in alto riporta il confronto sulla vista ascendente mentre il grafico in basso riporta il confronto sulla vista discendente.

Le linee continue rappresentano le misure SAR mentre i punti colorati rappresentano le misure GNSS. Sull'asse delle ascisse sono riportate le date di acquisizione delle misure, mentre sull'asse delle ordinate sono riportate le misure di spostamento espresse in mm.

Si nota l'ottimo accordo tra le rappresentazioni grafiche dei due set di misure, con capacità sia delle misure SAR sia delle misure GNSS di rilevare movimenti non lineari.

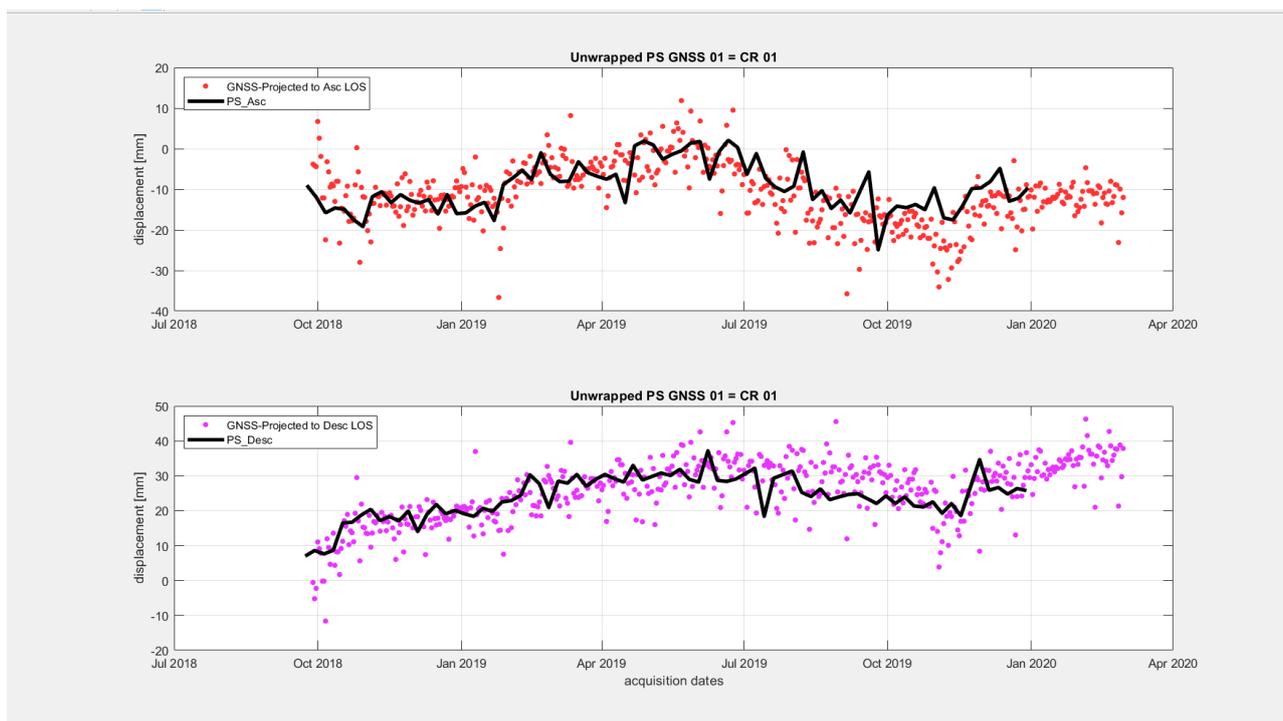


Figura 37: la figura in alto riporta la proiezione delle misure GNSS in corrispondenza del Corner Reflector CR01 (punti rossi) sulla viste SAR ascending mentre la figura in basso riporta la proiezione delle misure GNSS sulla vista SAR descending (punti viola) e raffronto con le misure SAR (linea nera). Si nota un ottimo accordo a livello qualitativo.

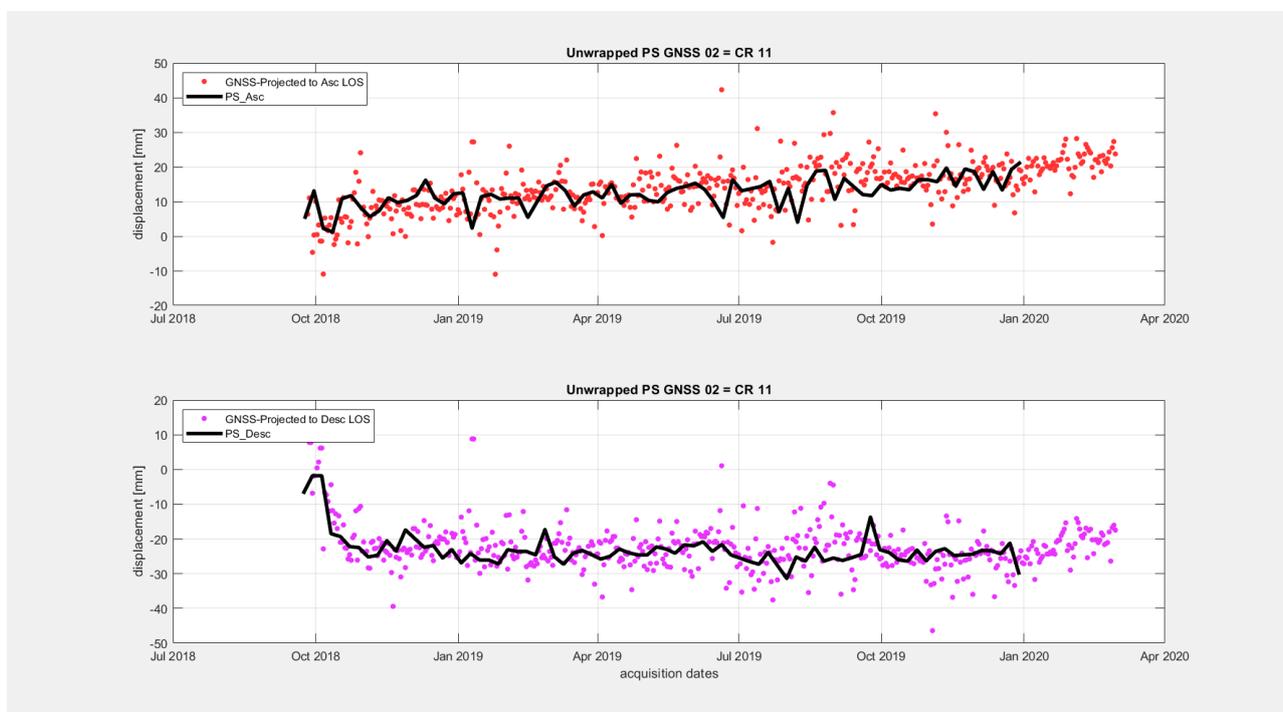


Figura 38: la figura in alto riporta la proiezione delle misure GNSS in corrispondenza del Corner Reflector CR11 (punti rossi) sulla viste SAR ascending mentre la figura in basso riporta la proiezione delle misure GNSS sulla vista SAR descending (punti viola) e raffronto con le misure SAR (linea nera). Si nota un ottimo accordo a livello qualitativo.

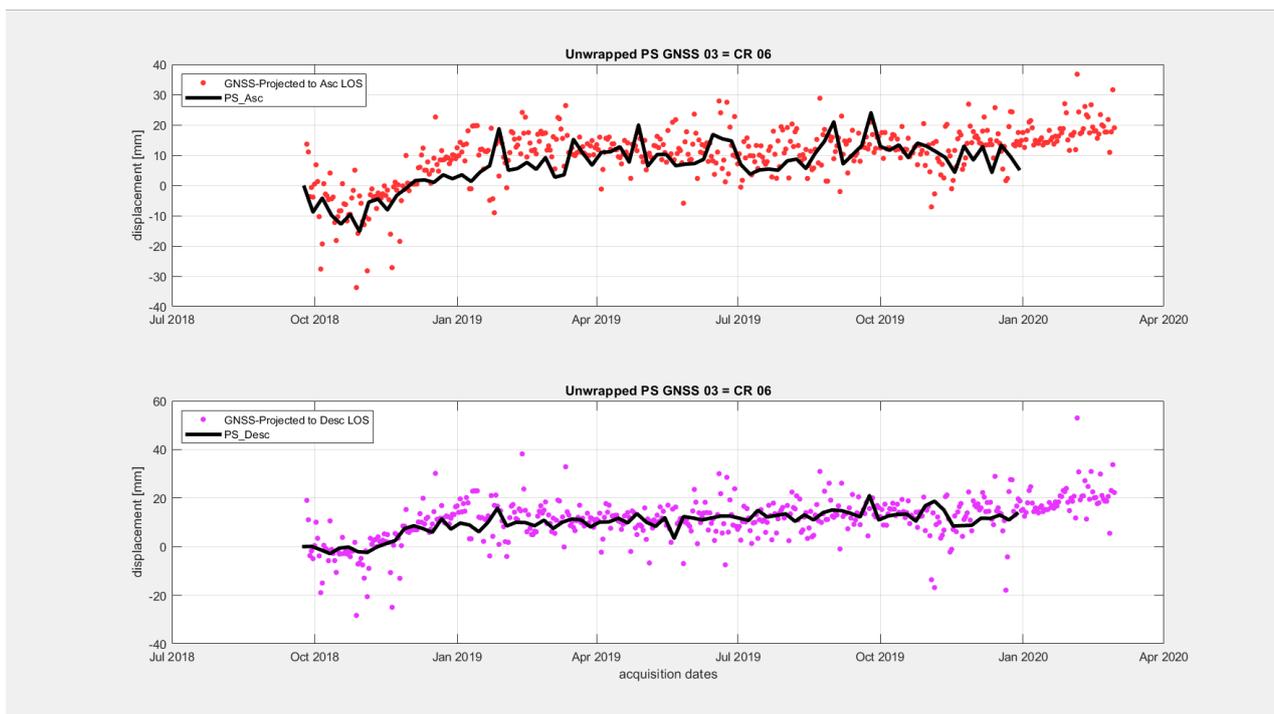


Figura 39: la figura in alto riporta la proiezione delle misure GNSS in corrispondenza del Corner Reflector CR06 (punti rossi) sulla viste SAR ascending mentre la figura in basso riporta la proiezione delle misure GNSS sulla vista SAR descending (punti viola) e raffronto con le misure SAR (linea nera). Si nota un ottimo accordo a livello qualitativo.

1.5.2 Proiezione delle misure SAR lungo le direzioni Est e verticale

L'esito della proiezione delle misure SAR lungo le direzioni Est e verticale con relativo raffronto con le misure GNSS è riportato nei grafici seguenti. Come già precisato nella sezione precedente, il sistema di riferimento temporale adottato è quello delle misure GNSS.

Per tali grafici valgono le considerazioni riportate di seguito.

Si ricorda che per questo tipo di proiezione il confronto è possibile solo lungo le direzioni Est-Ovest e verticale dal momento che la componente Nord-Sud non è misurabile con il sistema SAR impiegato.

La proiezione lungo le direzioni Est e verticale è stata ottenuta attraverso un allineamento temporale (interpolazione) delle misure di spostamento SAR acquisite nei passaggi ascendenti e discendenti dal momento che le date di acquisizione di tali passaggi non sono coincidenti.

Le tre figure seguenti si riferiscono rispettivamente ai corner reflector CR01, CR11 e CR06.

Per ciascuna figura, il grafico in alto riporta il confronto lungo la direzione verticale mentre il grafico in basso riporta il confronto lungo la direzione Est.

Le linee continue rappresentano le misure SAR mentre i punti colorati rappresentano le misure GNSS. Sull'asse delle ascisse sono riportate le date di acquisizione delle misure, mentre sull'asse delle ordinate sono riportate le misure di spostamento espresse in mm. Si nota l'ottimo accordo tra le rappresentazioni grafiche dei due set di misure, con capacità sia delle misure SAR sia delle misure GNSS di rilevare movimenti non lineari.

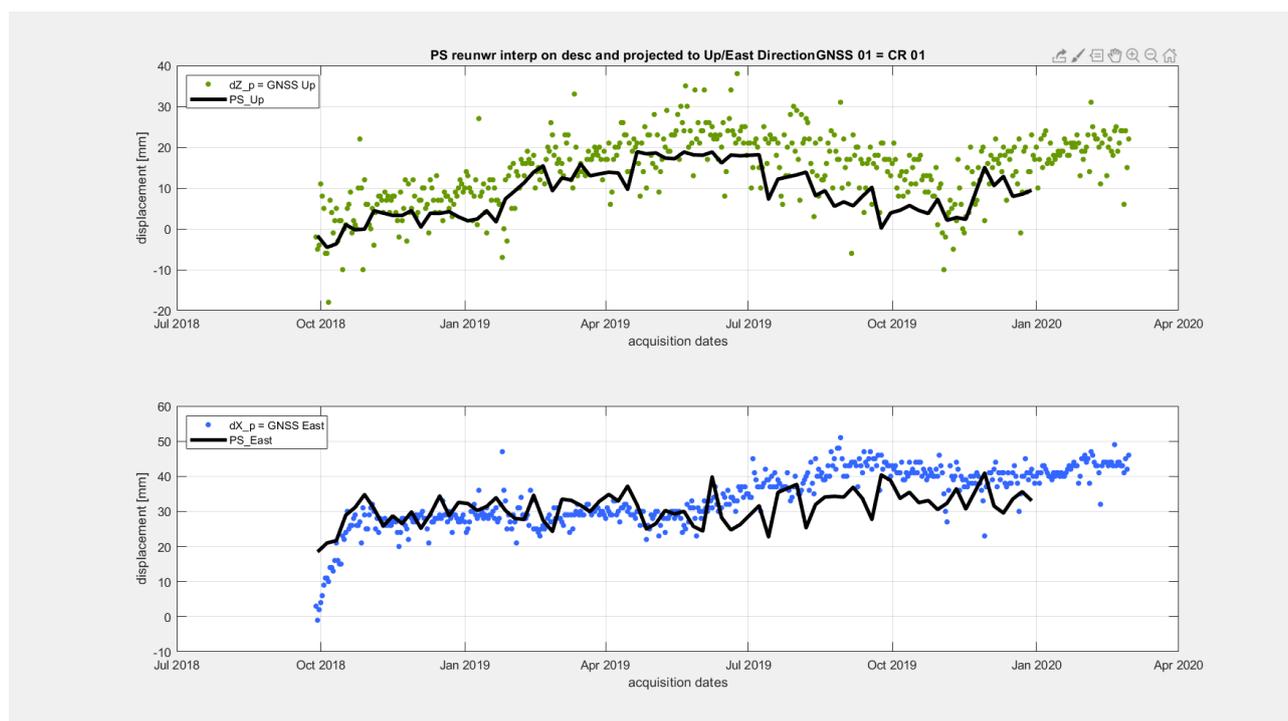


Figura 40: la figura in alto riporta la proiezione delle misure SAR in corrispondenza del Corner Reflector CR01 in direzione verticale (linea nera) unitamente alle misure di spostamento verticale GNSS (punti verdi) mentre la figura in basso riporta la proiezione delle misure SAR in direzione est (linea nera) unitamente alle misure GNSS nella stessa direzione (punti blu). Si nota un buon accordo a livello qualitativo.

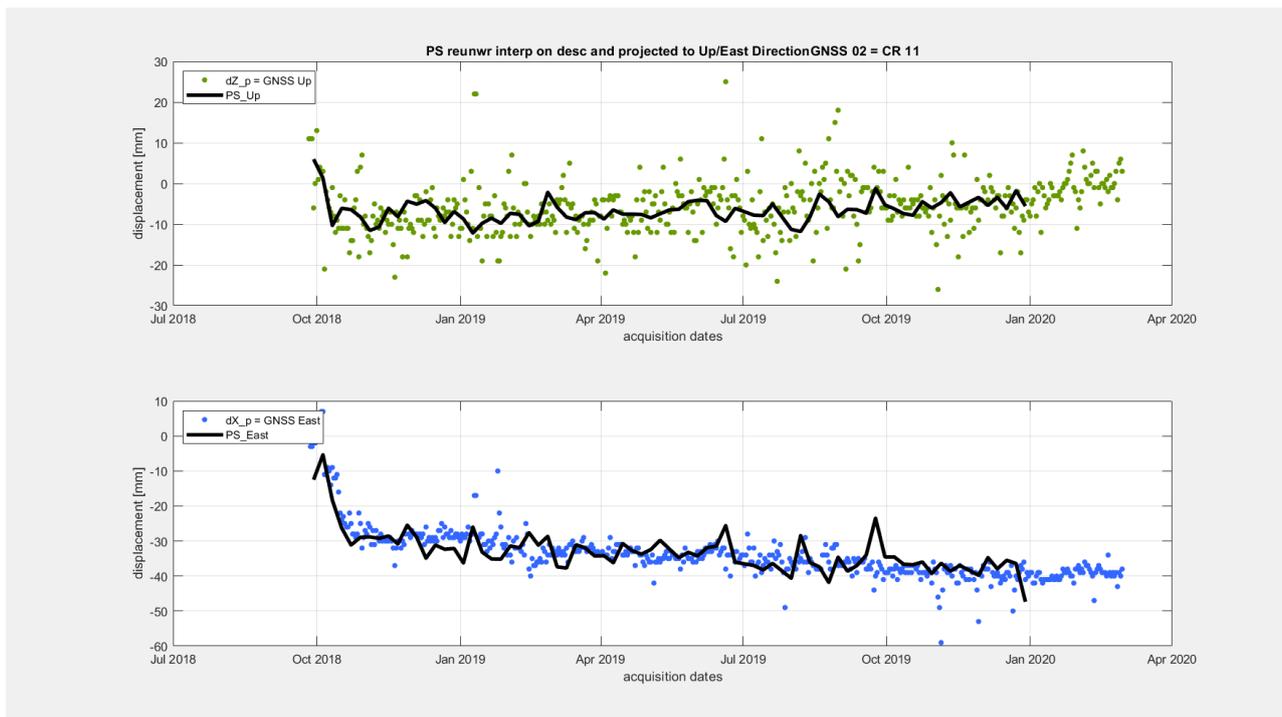


Figura 41: la figura in alto riporta la proiezione delle misure SAR in corrispondenza del Corner Reflector CR11 in direzione verticale (linea nera) unitamente alle misure di spostamento verticale GNSS (punti verdi) mentre la figura in basso riporta la proiezione delle misure SAR in direzione est (linea nera) unitamente alle misure GNSS nella stessa direzione (punti blu). Si nota un ottimo accordo a livello qualitativo.

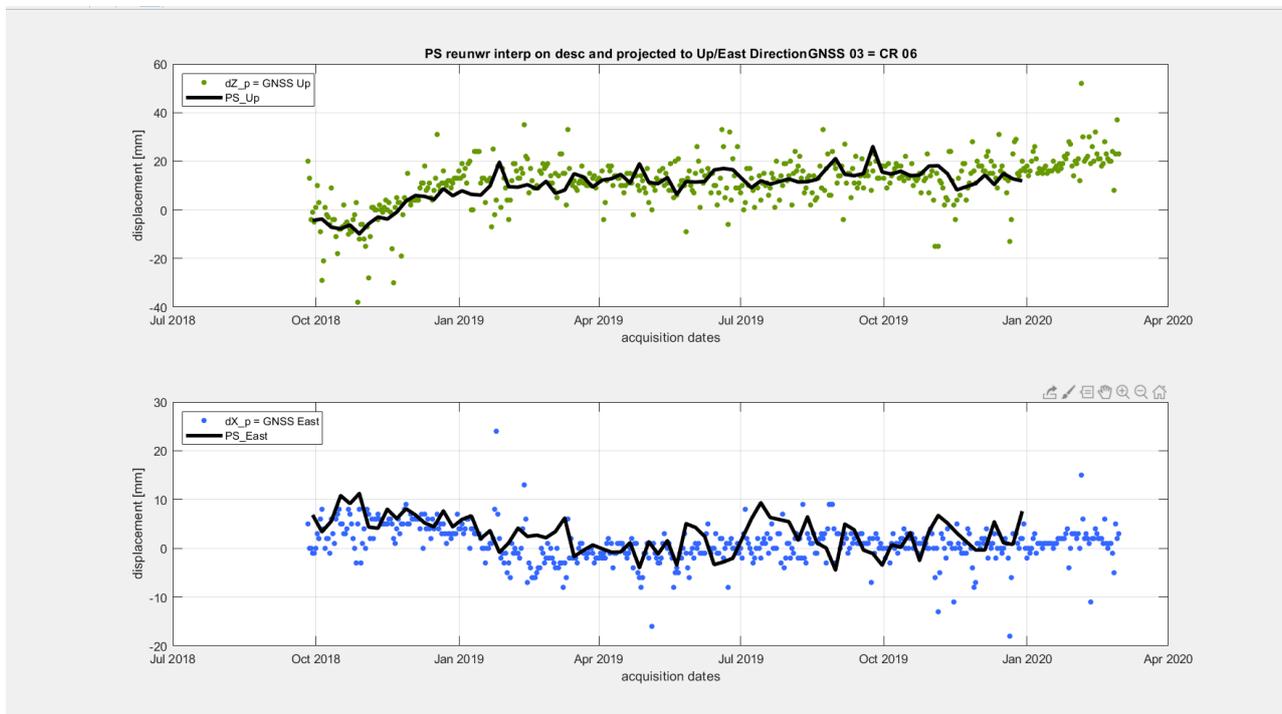


Figura 42: la figura in alto riporta la proiezione delle misure SAR in corrispondenza del Corner Reflector CR06 in direzione verticale (linea nera) unitamente alle misure di spostamento verticale GNSS (punti verdi) mentre la figura in basso riporta la proiezione delle misure SAR in direzione est (linea nera) unitamente alle misure GNSS nella stessa direzione (punti blu). Si nota un ottimo accordo a livello qualitativo.

1.5.3 Raffronti quantitativi tra misure GNSS e misure PS

I confronti quantitativi tra le misure GNSS e SAR sono stati effettuati in geometria SAR e pertanto proiettando le misure GNSS lungo le linee di vista dei passaggi ascendenti e discendenti del sistema SAR Sentinel-1.

Il sistema di riferimento temporale adottato è invece quello delle misure GNSS, come fatto anche nelle sezioni precedenti.

Nelle figure seguenti sono riportati i grafici di tali raffronti.

In particolare valgono le considerazioni riportate qui di seguito.

In ciascuna pagina si riportano i raffronti relativi ad un ben determinato corner reflector secondo la sequenza CR 01, CR 11 e CR 06.

In ciascuna pagina, il grafico in alto riporta il confronto sulla vista ascendente mentre il grafico in basso riporta il confronto sulla vista discendente.

Le linee continue rappresentano le misure SAR, i punti colorati rappresentano le misure GNSS, mentre le linee tratteggiate rappresentano il fit polinomiale del terzo ordine con componente sinusoidale stimato sui dati GNSS.

Sull'asse delle ascisse sono riportate le date di acquisizione delle misure, mentre sull'asse delle ordinate sono riportate le misure di spostamento espresse in mm.

Nel titolo di ciascuna figura si riportano due valori di deviazione standard, il primo riguardante lo scarto tra le misure GNSS ed il fit polinomiale ed il secondo riguardante lo scarto tra le misure PS ed il fit polinomiale.

Si nota che:

- la deviazione standard degli scostamenti SAR rispetto al modello è sempre inferiore a 5mm;
- la deviazione standard degli scostamenti SAR rispetto al modello è inferiore a quella degli scostamenti GNSS rispetto al medesimo modello, denotando quindi una minore rumorosità (rispetto al modello polinomiale) del dato SAR rispetto al dato GNSS.

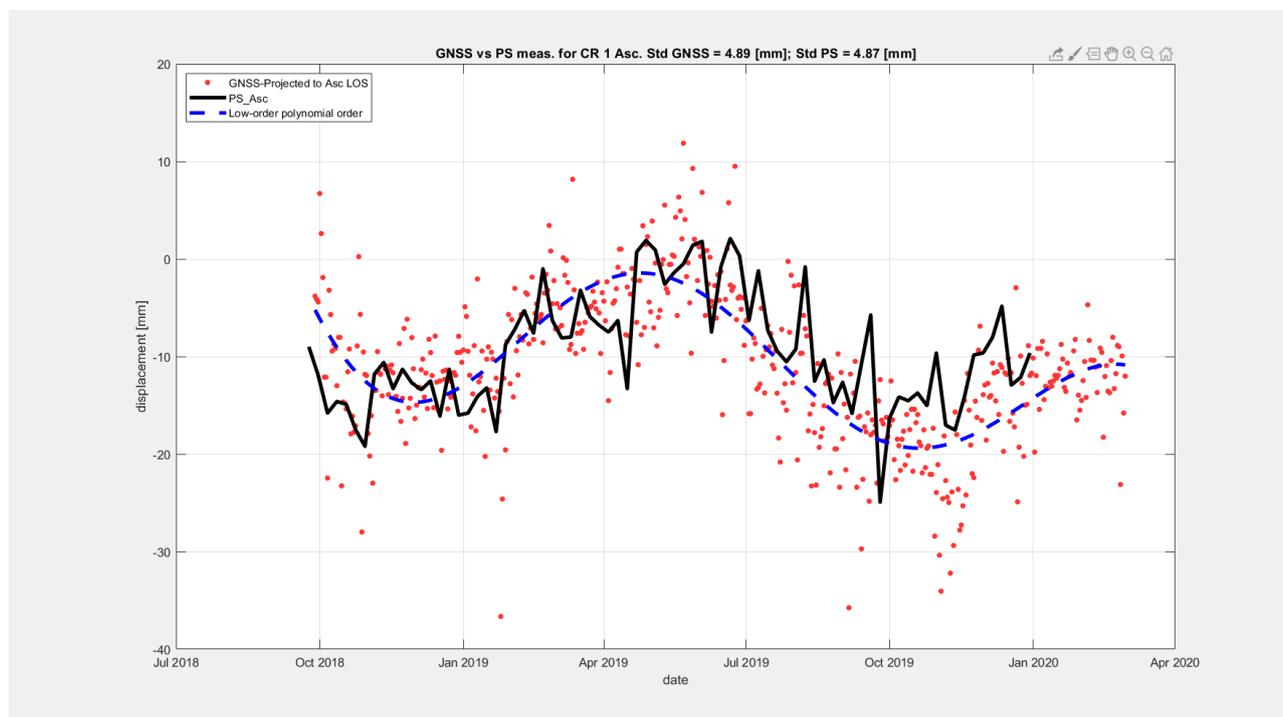


Figura 43: la figura rappresenta il confronto quantitativo effettuato in geometria SAR Ascending tra le misure GNSS (punti rossi) e SAR (linea nera) in corrispondenza del CR01. La linea blu tratteggiata rappresenta il fit polinomiale stimato sui dati GNSS. Il trend delle serie temporali GNSS e SAR e le relative deviazioni standard confermano un ottimo accordo anche a livello quantitativo.

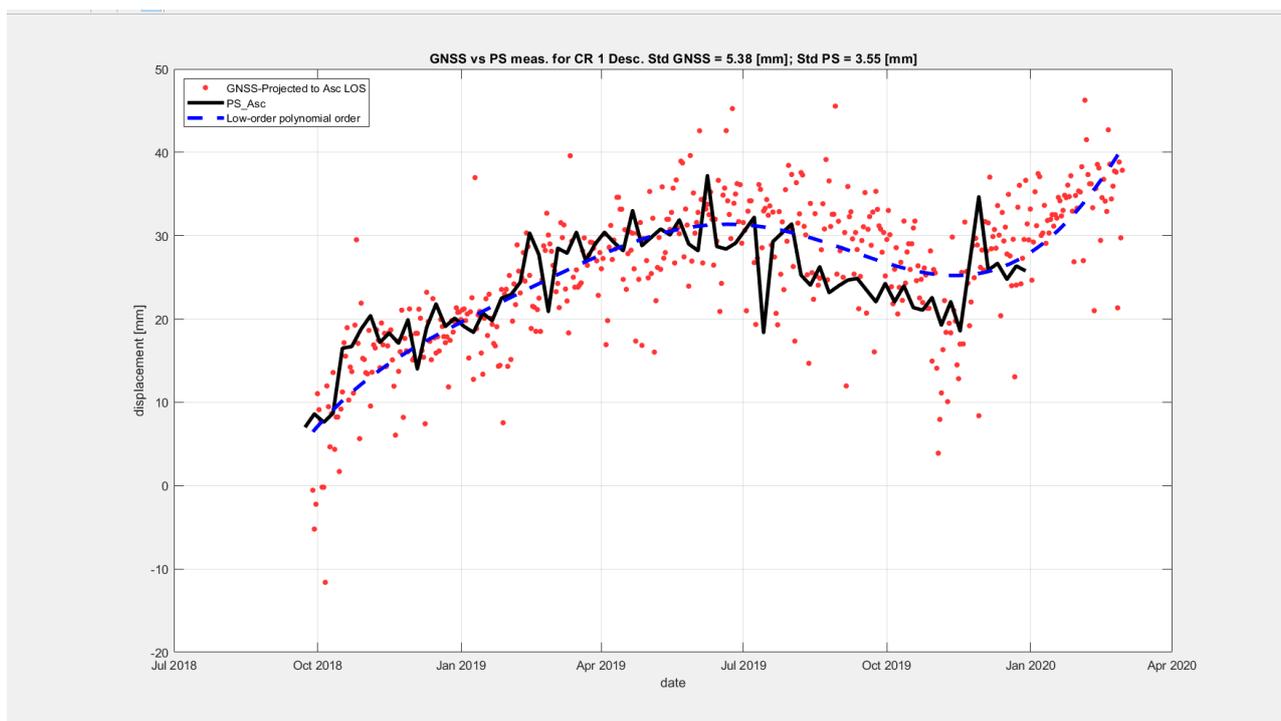


Figura 44: la figura rappresenta il confronto quantitativo effettuato in geometria SAR Descending tra le misure GNSS (punti rossi) e SAR (linea nera) in corrispondenza del CR01. La linea blu tratteggiata rappresenta il fit polinomiale stimato sui dati GNSS. Il trend delle serie temporali GNSS e SAR e le relative deviazioni standard confermano un ottimo accordo anche a livello quantitativo.

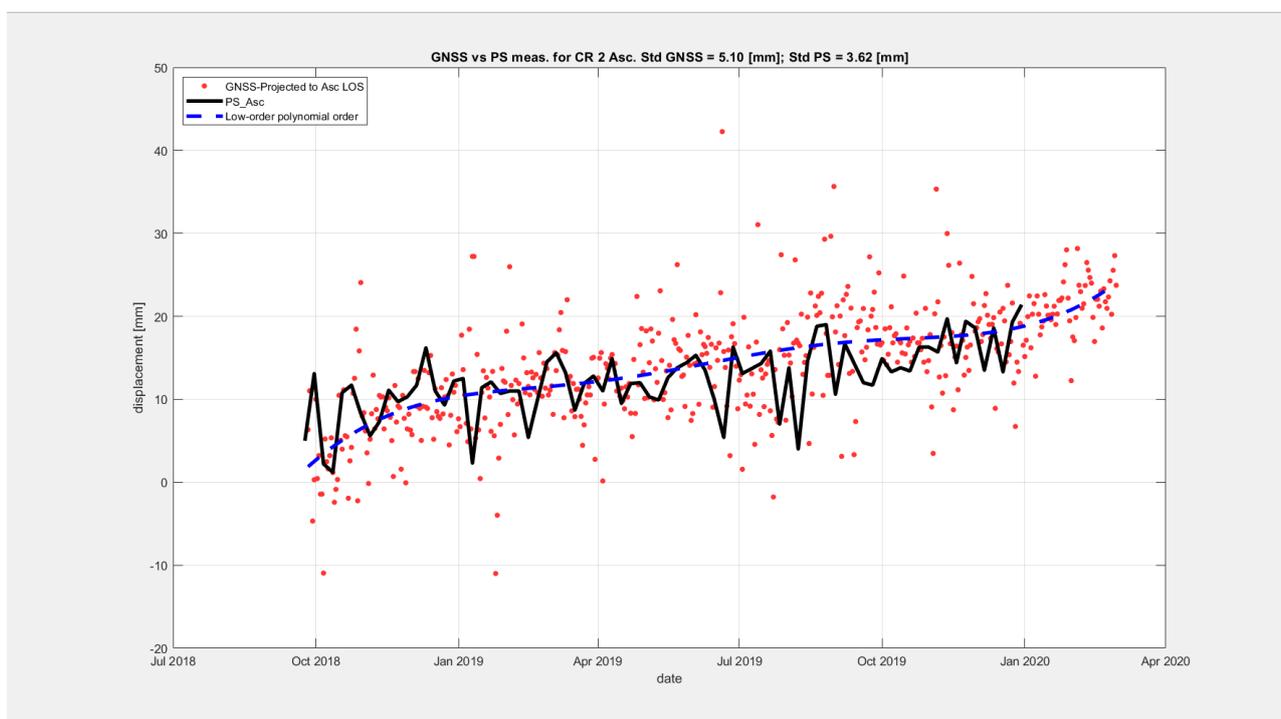


Figura 45: la figura rappresenta il confronto quantitativo effettuato in geometria SAR Ascending tra le misure GNSS (punti rossi) e SAR (linea nera) in corrispondenza del CR11. La linea blu tratteggiata rappresenta il fit polinomiale stimato sui dati GNSS. Il trend delle serie temporali GNSS e SAR e le relative deviazioni standard confermano un ottimo accordo anche a livello quantitativo.

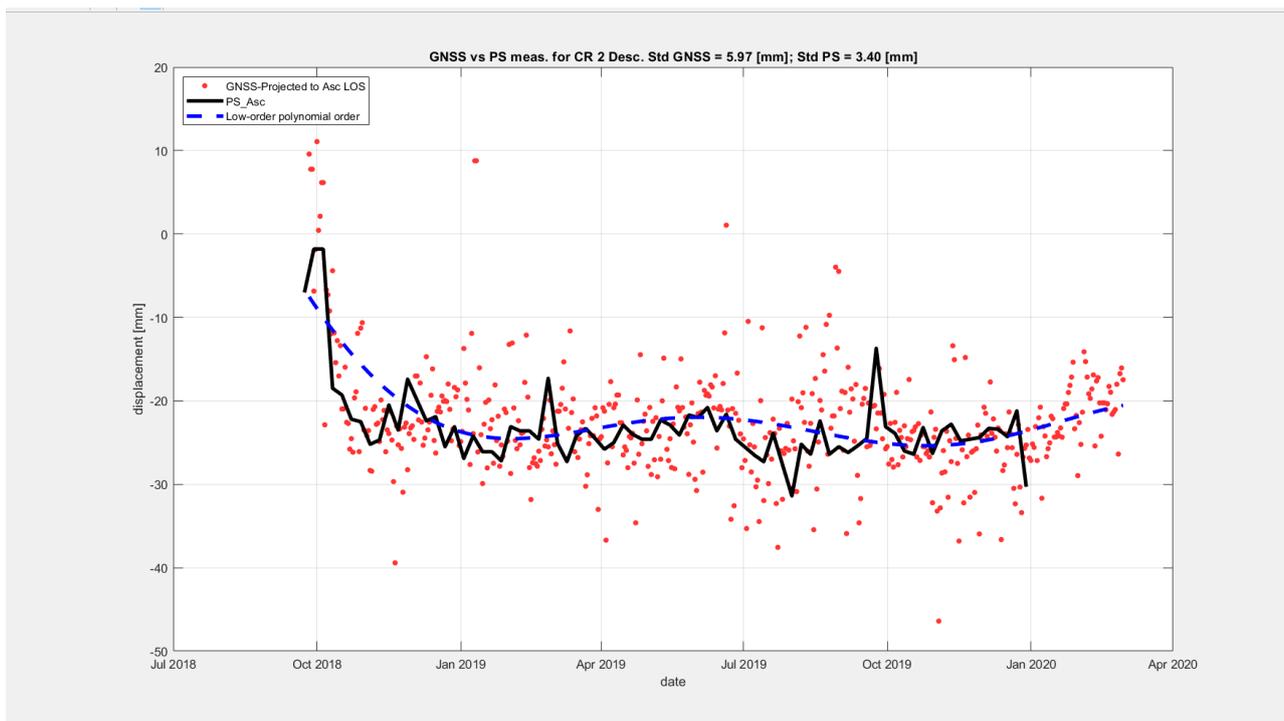


Figura 46: la figura rappresenta il confronto quantitativo effettuato in geometria SAR Descending tra le misure GNSS (punti rossi) e SAR (linea nera) in corrispondenza del CR11. La linea blu tratteggiata rappresenta il fit polinomiale stimato sui dati GNSS. Il trend delle serie temporali GNSS e SAR e le relative deviazioni standard confermano un ottimo accordo anche a livello quantitativo.

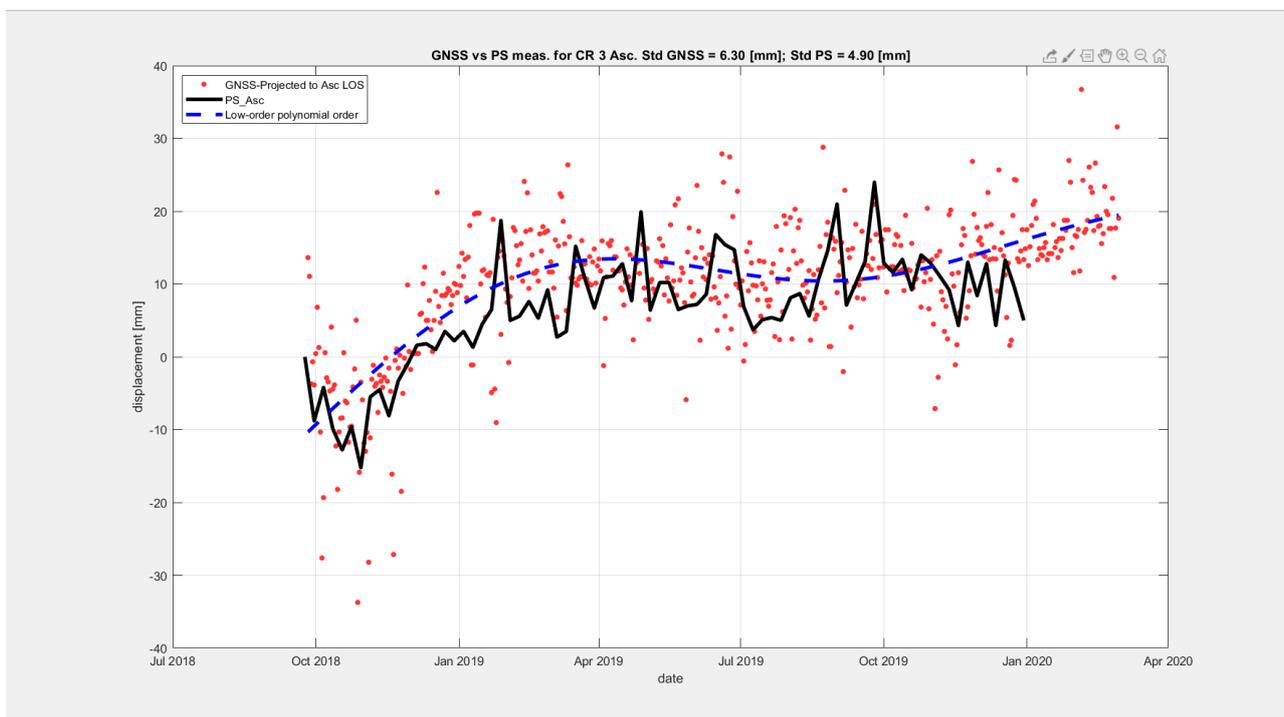


Figura 47: la figura rappresenta il confronto quantitativo effettuato in geometria SAR Ascending tra le misure GNSS (punti rossi) e SAR (linea nera) in corrispondenza del CR06. La linea blu tratteggiata rappresenta il fit polinomiale stimato sui dati GNSS. Il trend delle serie temporali GNSS e SAR e le relative deviazioni standard confermano un ottimo accordo anche a livello quantitativo.

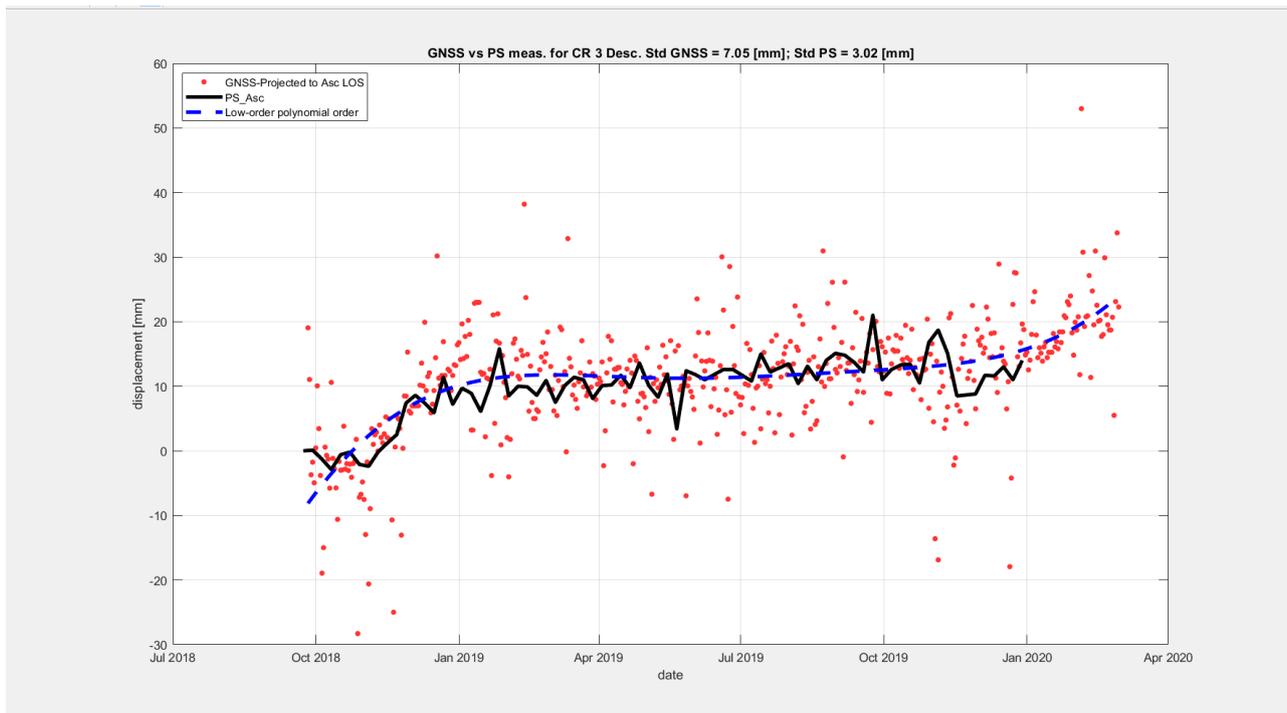


Figura 48: la figura rappresenta il confronto quantitativo effettuato in geometria SAR Descending tra le misure GNSS (punti rossi) e SAR (linea nera) in corrispondenza del CR06. La linea blu tratteggiata rappresenta il fit polinomiale stimato sui dati GNSS. Il trend delle serie temporali GNSS e SAR e le relative deviazioni standard confermano un ottimo accordo anche a livello quantitativo.

Dal confronto quantitativo effettuato tra le misure GNSS e SAR sui 3 Corner Reflectors CR 01, CR 06 e CR 11 è possibile concludere che esiste un ottimo accordo tra misure GNSS e SAR.

Conclusioni

L'elaborazione interferometrica ha permesso di aggiornare le informazioni quantitative sui fenomeni di spostamento in atto all'interno dell'area di interesse della concessione Gorgoglione estendendo l'intervallo temporale monitorato fino a Dicembre 2019, 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 aggiornati 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 confermate le 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 sui pozzi e sul Centro Olio non sono state registrate variazioni significative rispetto al precedente rapporto [RD6][RD5].

Dai confronti quantitativi effettuati tra le misure GNSS e SAR sui 3 Corner Reflectors CR 01, CR 06 e CR 11 sui quali sono montate le antenne GNSS è possibile concludere che esiste un ottimo accordo tra misure GNSS e SAR.

Nel prossimo rapporto le misure interferometriche di spostamento contenute in questo quarto rapporto e relative al periodo temporale complessivo Ottobre 2014 – Dicembre 2019 verranno integrate processando le nuove acquisizioni Sentinel-1 del periodo Dicembre 2019 – Giugno 2020.

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 Dicembre 2019, sia in configurazione ascendente che discendente.

Tabella 4 Elenco delle immagini Sentinel-1 Right/Ascending processate.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	(7 imm)	(28 imm)	(38 imm)	(61 imm)	(61 imm)	(60 imm)
1	15/10/14	19/01/15	02/01/16	02/01/17	03/01/18	04/01/19
2	27/10/14	31/01/15	14/01/16	08/01/17	09/01/18	10/01/19
3	08/11/14	12/02/15	26/01/16	14/01/17	15/01/18	16/01/19
4	20/11/14	24/02/15	07/02/16	20/01/17	21/01/18	22/01/19
5	02/12/14	08/03/15	19/02/16	26/01/17	27/01/18	28/01/19
6	14/12/14	20/03/15	02/03/16	01/02/17	02/02/18	03/02/19
7	26/12/14	01/04/15	14/03/16	07/02/17	08/02/18	09/02/19
8		13/04/15	26/03/16	13/02/17	14/02/18	15/02/19
9		25/04/15	07/04/16	19/02/17	20/02/18	21/02/19
10		07/05/15	19/04/16	25/02/17	26/02/18	27/02/19
11		19/05/15	01/05/16	03/03/17	04/03/18	05/03/19
12		31/05/15	13/05/16	09/03/17	10/03/18	11/03/19
13		12/06/15	25/05/16	15/03/17	16/03/18	17/03/19
14		06/07/15	06/06/16	21/03/17	22/03/18	23/03/19
15		18/07/15	30/06/16	27/03/17	28/03/18	29/03/19
16		30/07/15	12/07/16	02/04/17	03/04/18	04/04/19
17		11/08/15	24/07/16	08/04/17	09/04/18	10/04/19
18		23/08/15	05/08/16	14/04/17	15/04/18	16/04/19
19		04/09/15	17/08/16	20/04/17	21/04/18	22/04/19
20		16/09/15	29/08/16	26/04/17	27/04/18	28/04/19
21		28/09/15	10/09/16	02/05/17	03/05/18	04/05/19
22		10/10/15	22/09/16	08/05/17	09/05/18	10/05/19
23		22/10/15	28/09/16	14/05/17	15/05/18	16/05/19
24		03/11/15	04/10/16	20/05/17	21/05/18	22/05/19
25		15/11/15	10/10/16	26/05/17	27/05/18	28/05/19
26		27/11/15	16/10/16	01/06/17	02/06/18	03/06/19
27		09/12/15	22/10/16	07/06/17	08/06/18	09/06/19
28		21/12/15	28/10/16	13/06/17	14/06/18	15/06/19
29			03/11/16	19/06/17	20/06/18	21/06/19
30			09/11/16	25/06/17	26/06/18	27/06/19
31			15/11/16	01/07/17	02/07/18	03/07/19
32			21/11/16	07/07/17	08/07/18	09/07/19
33			27/11/16	13/07/17	14/07/18	15/07/19
34			03/12/16	19/07/17	20/07/18	21/07/19
35			09/12/16	25/07/17	26/07/18	27/07/19
36			15/12/16	31/07/17	01/08/18	02/08/19
37			21/12/16	06/08/17	07/08/18	08/08/19
38			27/12/16	12/08/17	13/08/18	14/08/19

39				18/08/17	19/08/18	20/08/19
40				24/08/17	25/08/18	26/08/19
41				30/08/17	31/08/18	01/09/19
42				05/09/17	06/09/18	07/09/19
43				11/09/17	12/09/18	19/09/19
44				17/09/17	18/09/18	25/09/19
45				23/09/17	24/09/18	01/10/19
46				29/09/17	30/09/18	07/10/19
47				05/10/17	06/10/18	13/10/19
48				11/10/17	12/10/18	19/10/19
49				17/10/17	18/10/18	25/10/19
50				23/10/17	24/10/18	31/10/19
51				29/10/17	30/10/18	06/11/19
52				04/11/17	05/11/18	12/11/19
53				10/11/17	11/11/18	18/11/19
54				16/11/17	17/11/18	24/11/19
55				22/11/17	23/11/18	30/11/19
56				28/11/17	29/11/18	06/12/19
57				04/12/17	05/12/18	12/12/19
58				10/12/17	11/12/18	18/12/19
59				16/12/17	17/12/18	24/12/19
60				22/12/17	23/12/18	30 /12/19
61				28/12/17	29/12/18	

Tabella 5 - Elenco delle immagini Sentinel-1 Right/Descending processate

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	(4 imm)	(25 imm)	(37 imm)	(60 imm)	(61 imm)	(58 imm)
1	14/10/14	18/01/15	01/01/16	01/01/17	02/01/18	03/01/19
2	26/10/14	30/01/15	13/01/16	07/01/17	08/01/18	09/01/19
3	01/12/14	11/02/15	25/01/16	13/01/17	14/01/18	15/01/19
4	25/12/14	23/02/15	06/02/16	19/01/17	20/01/18	21/01/19
5		07/03/15	18/02/16	25/01/17	26/01/18	27/01/19
6		19/03/15	01/03/16	31/01/17	01/02/18	02/02/19
7		31/03/15	13/03/16	06/02/17	07/02/18	08/02/19
8		12/04/15	25/03/16	12/02/17	13/02/18	14/02/19
9		24/04/15	06/04/16	18/02/17	19/02/18	20/02/19
10		06/05/15	18/04/16	24/02/17	25/02/18	26/02/19
11		18/05/15	30/04/16	02/03/17	03/03/18	04/03/19
12		30/05/15	12/05/16	08/03/17	09/03/18	10/03/19
13		11/06/15	24/05/16	14/03/17	15/03/18	16/03/19
14		23/06/15	05/06/16	20/03/17	21/03/18	22/03/19
15		17/07/15	29/06/16	26/03/17	27/03/18	28/03/19
16		29/07/15	11/07/16	01/04/17	02/04/18	03/04/19
17		22/08/15	23/07/16	07/04/17	08/04/18	09/04/19
18		03/09/15	04/08/16	13/04/17	14/04/18	15/04/19
19		15/09/15	16/08/16	19/04/17	20/04/18	21/04/19
20		21/10/15	09/09/16	25/04/17	26/04/18	27/04/19

21		02/11/15	21/09/16	01/05/17	02/05/18	03/05/19
22		14/11/15	27/09/16	07/05/17	08/05/18	09/05/19
23		26/11/15	03/10/16	13/05/17	14/05/18	15/05/19
24		08/12/15	09/10/16	19/05/17	20/05/18	21/05/19
25		20/12/15	15/10/16	25/05/17	26/05/18	27/05/19
26			21/10/16	31/05/17	01/06/18	02/06/19
27			27/10/16	06/06/17	07/06/18	08/06/19
28			02/11/16	12/06/17	13/06/18	14/06/19
29			08/11/16	18/06/17	19/06/18	20/06/19
30			14/11/16	24/06/17	25/06/18	26/06/19
31			20/11/16	30/06/17	01/07/18	08/07/19
32			26/11/16	06/07/17	07/07/18	14/07/19
33			02/12/16	12/07/17	13/07/18	20/07/19
34			08/12/16	24/07/17	19/07/18	01/08/19
35			14/12/16	30/07/17	25/07/18	07/08/19
36			20/12/16	05/08/17	31/07/18	13/08/19
37			26/12/16	11/08/17	06/08/18	19/08/19
38				17/08/17	12/08/18	25/08/19
39				23/08/17	18/08/18	31/08/19
40				29/08/17	24/08/18	06/09/19
41				04/09/17	30/08/18	12/09/19
42				10/09/17	05/09/18	18/09/19
43				16/09/17	11/09/18	24/09/19
44				22/09/17	17/09/18	30/09/19
45				28/09/17	23/09/18	06/10/19
46				04/10/17	29/09/18	12/10/19
47				10/10/17	05/10/18	18/10/19
48				16/10/17	11/10/18	24/10/19
49				22/10/17	17/10/18	30/10/19
50				28/10/17	23/10/18	05/11/19
51				03/11/17	29/10/18	11/11/19
52				09/11/17	04/11/18	17/11/19
53				15/11/17	10/11/18	29/11/19
54				21/11/17	16/11/18	05/12/19
55				27/11/17	22/11/18	11/12/19
56				03/12/17	28/11/18	17/12/19
57				09/12/17	04/12/18	23/12/19
58				15/12/17	10/12/18	29/12/19
59				21/12/17	16/12/18	
60				27/12/17	22/12/18	
61					28/12/18	

Allegato B – Dettagli e grafici a supporto dell'analisi dei CR

Corner Reflector CR01

1.1.1. Dataset Ascending

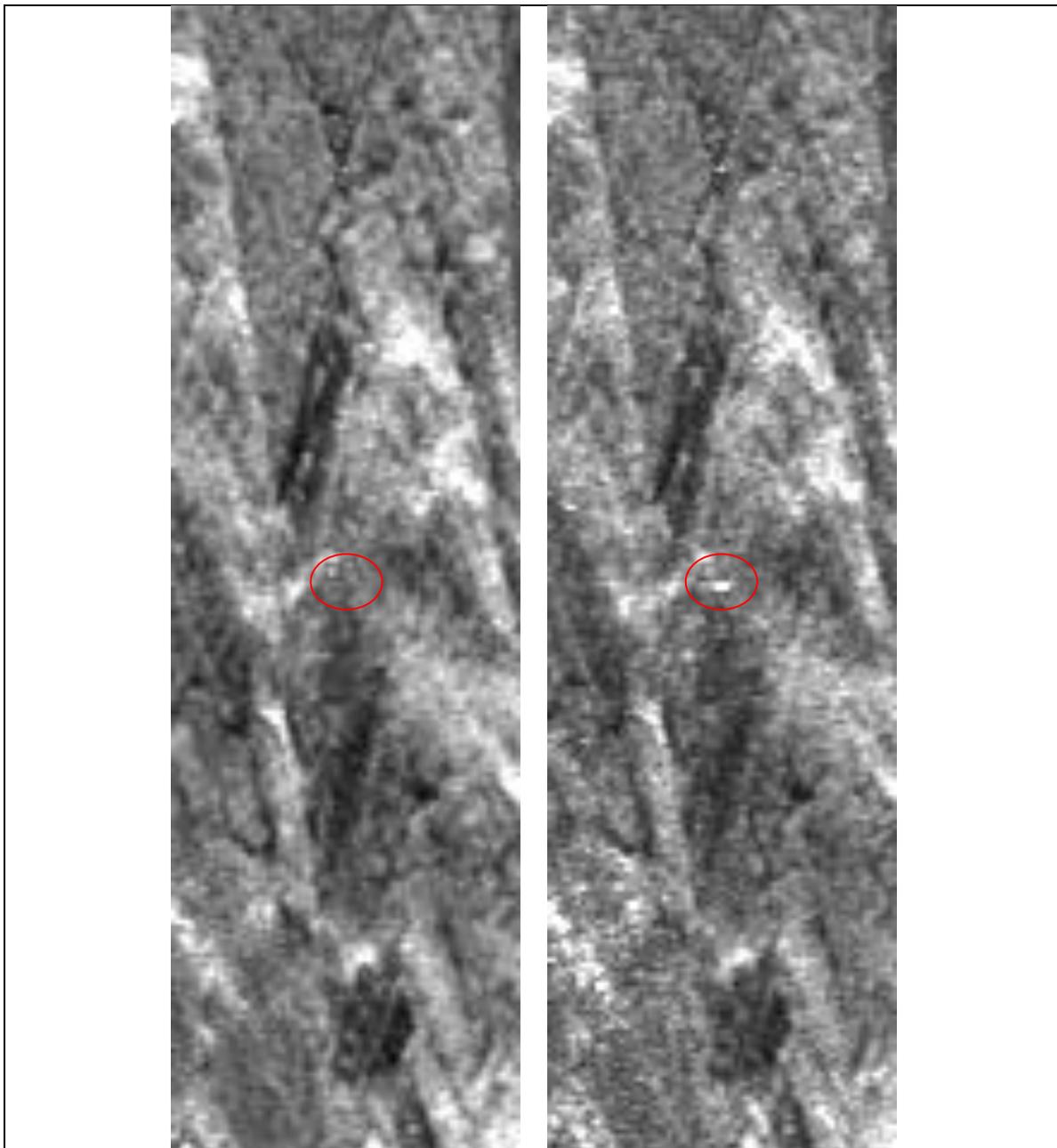


Fig. 0.1: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR01. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

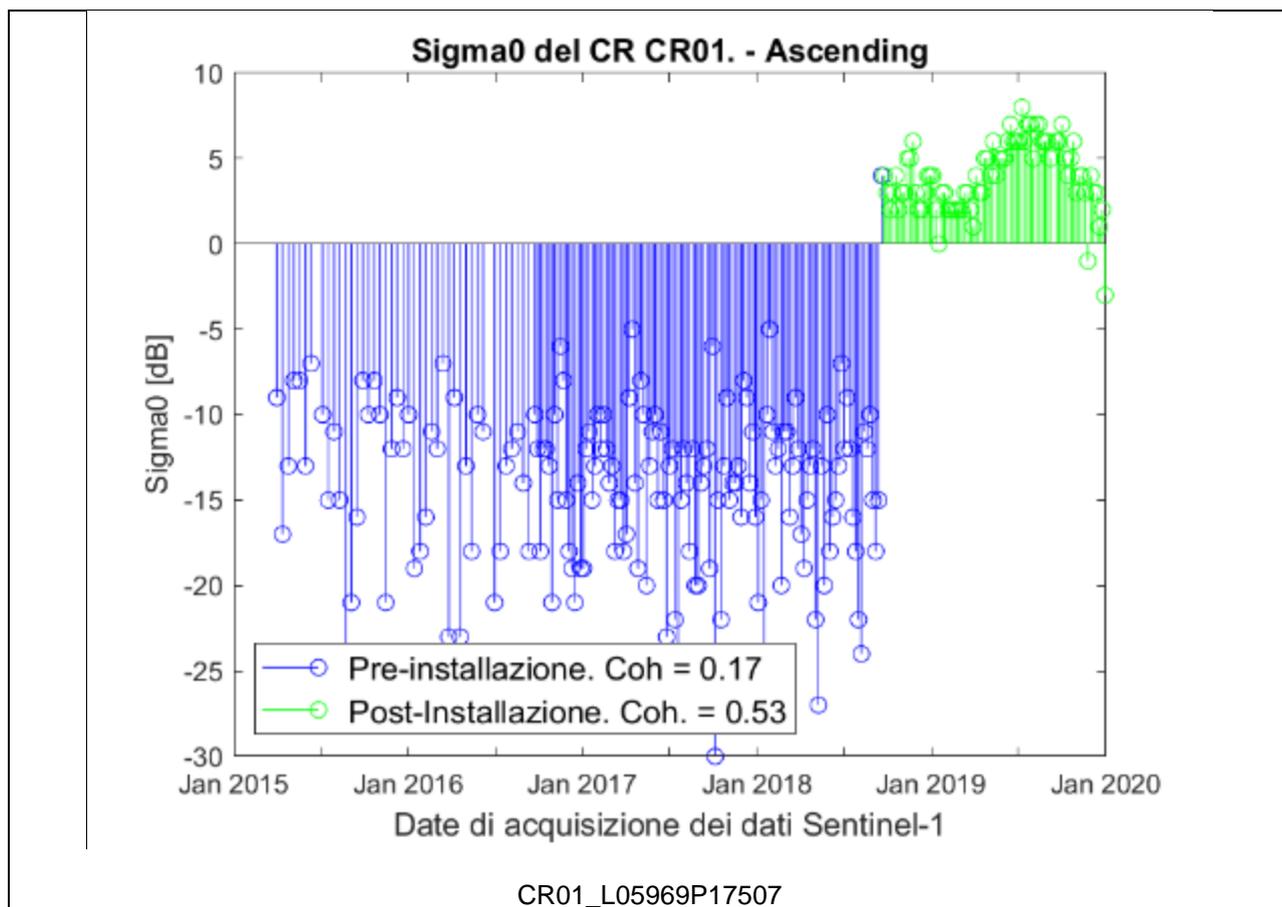


Fig. 0.2: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR01. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.2. Dataset Descending

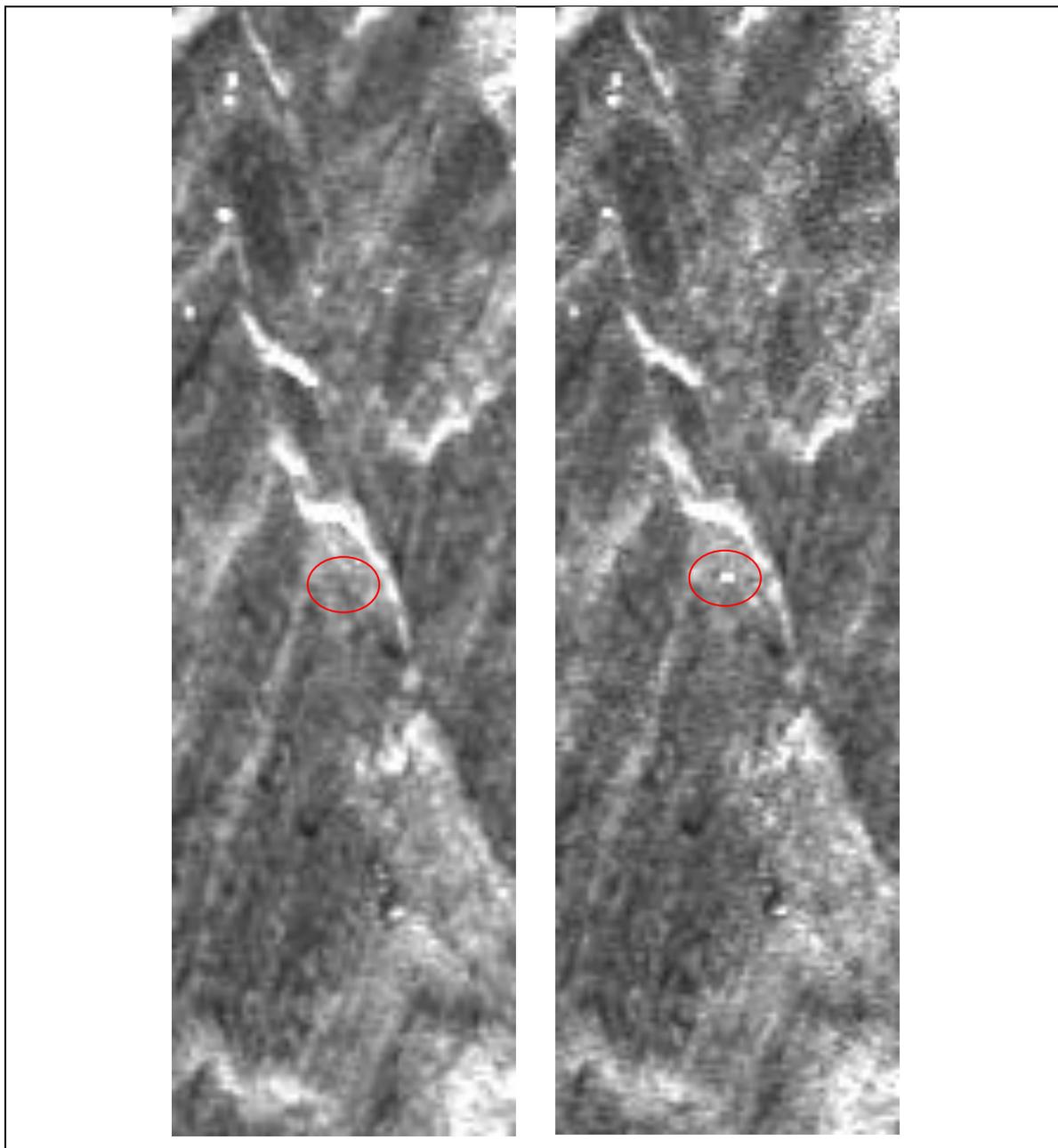


Fig. 0.3: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR01. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

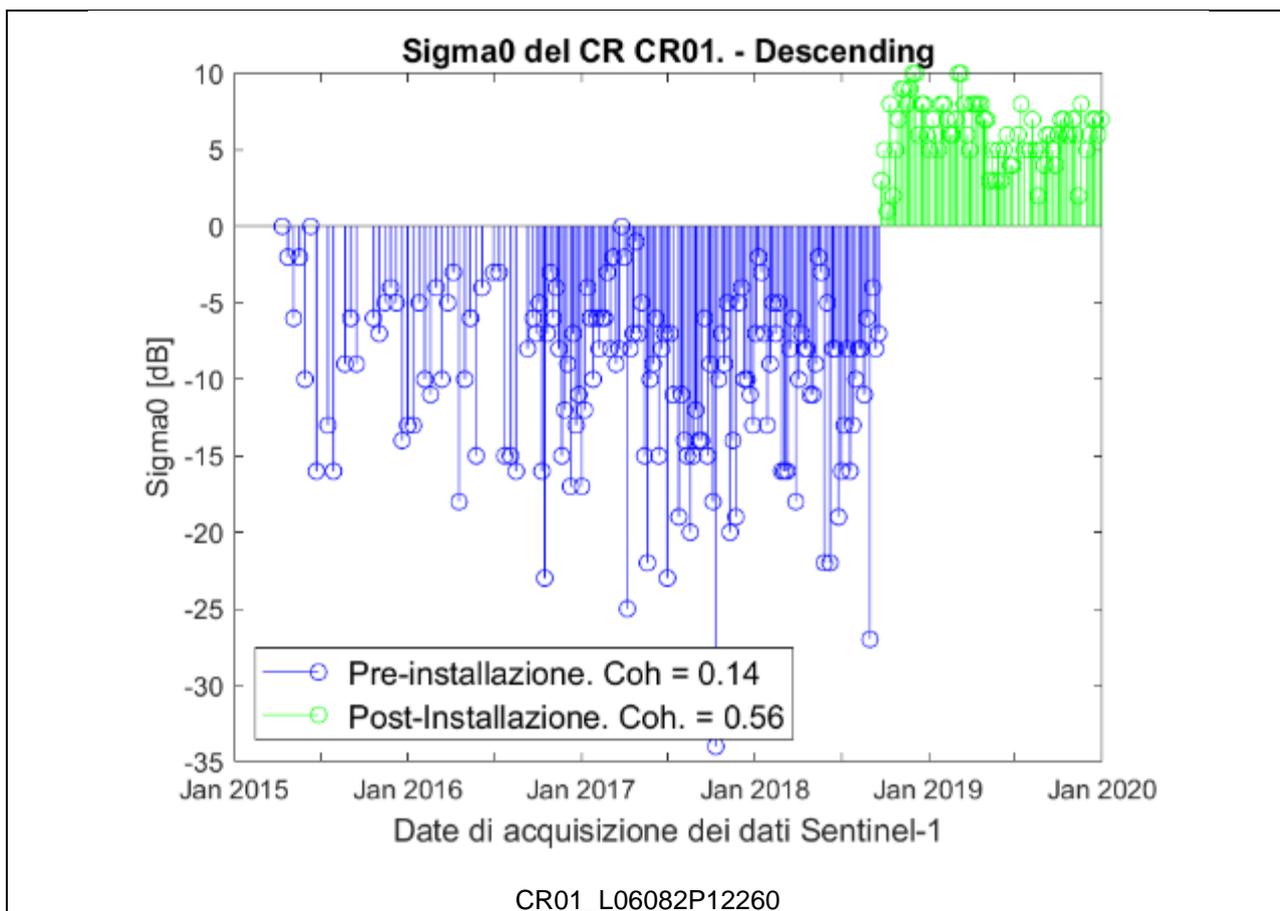


Fig. 0.4: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR01. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR02

1.1.3. Dataset Ascending

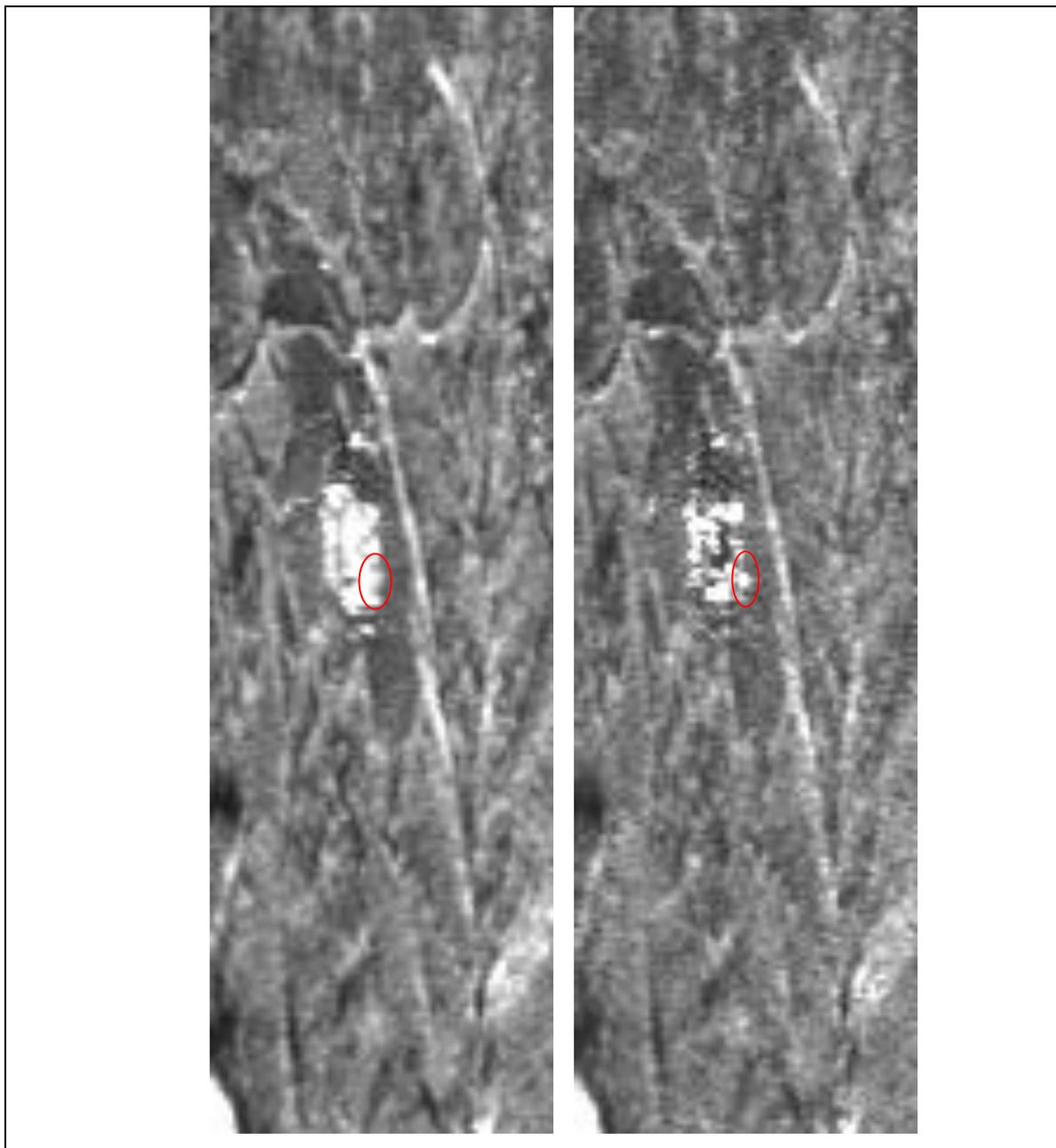


Fig. 0.5: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR02. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

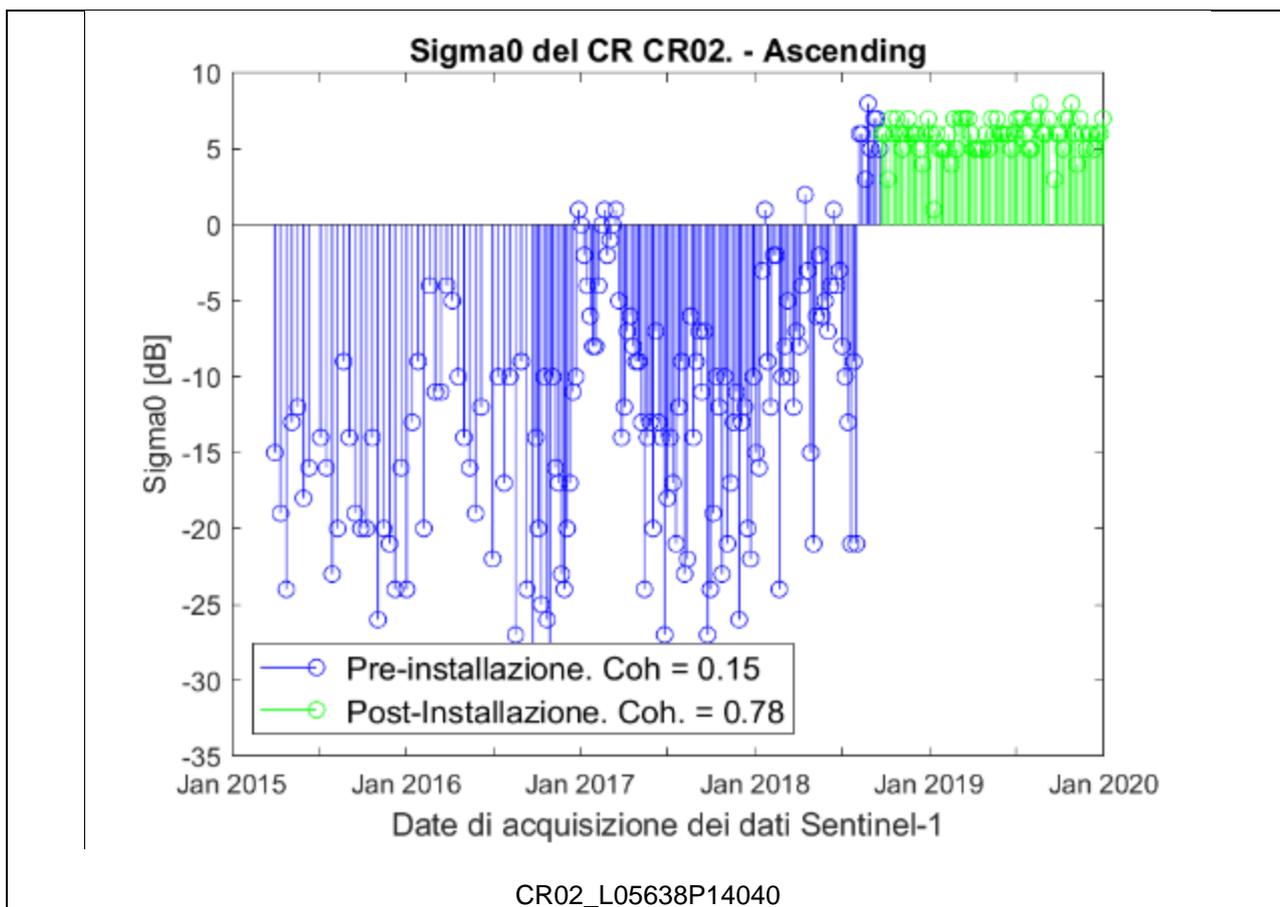


Fig. 0.6: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR02. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.4. Dataset Descending

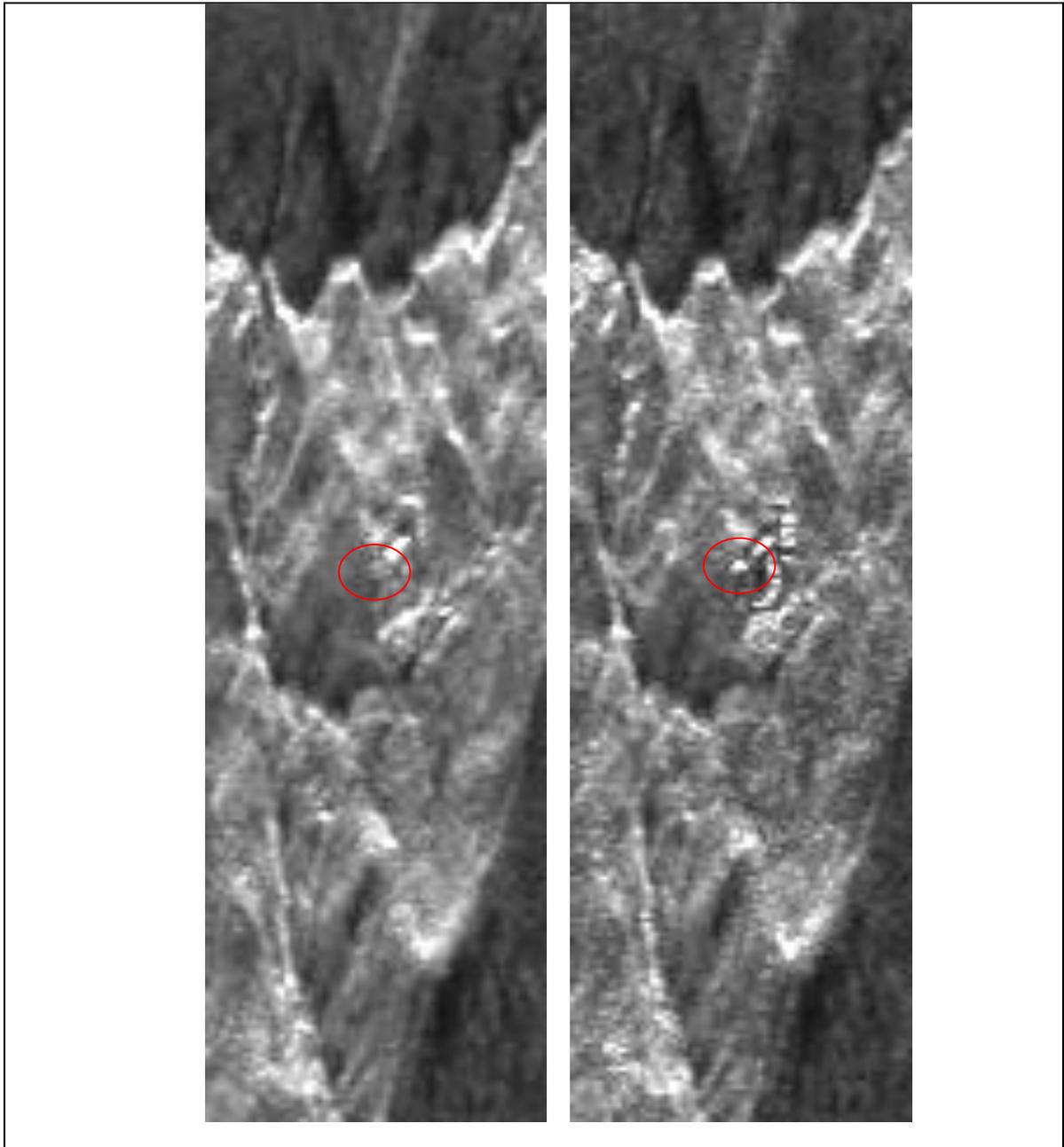


Fig. 0.7: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR02. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

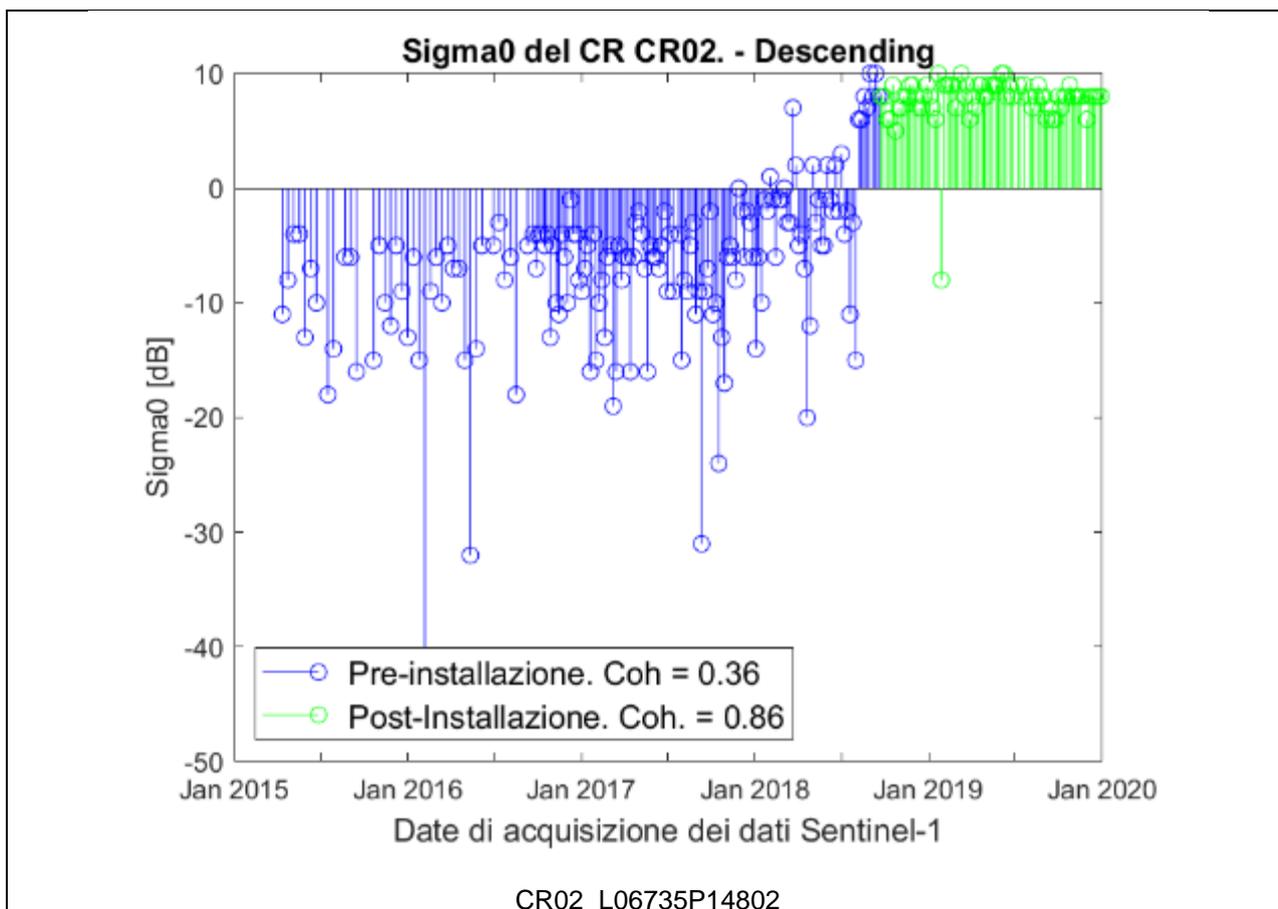


Fig. 0.8: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR02. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR03

1.1.5. Dataset Ascending

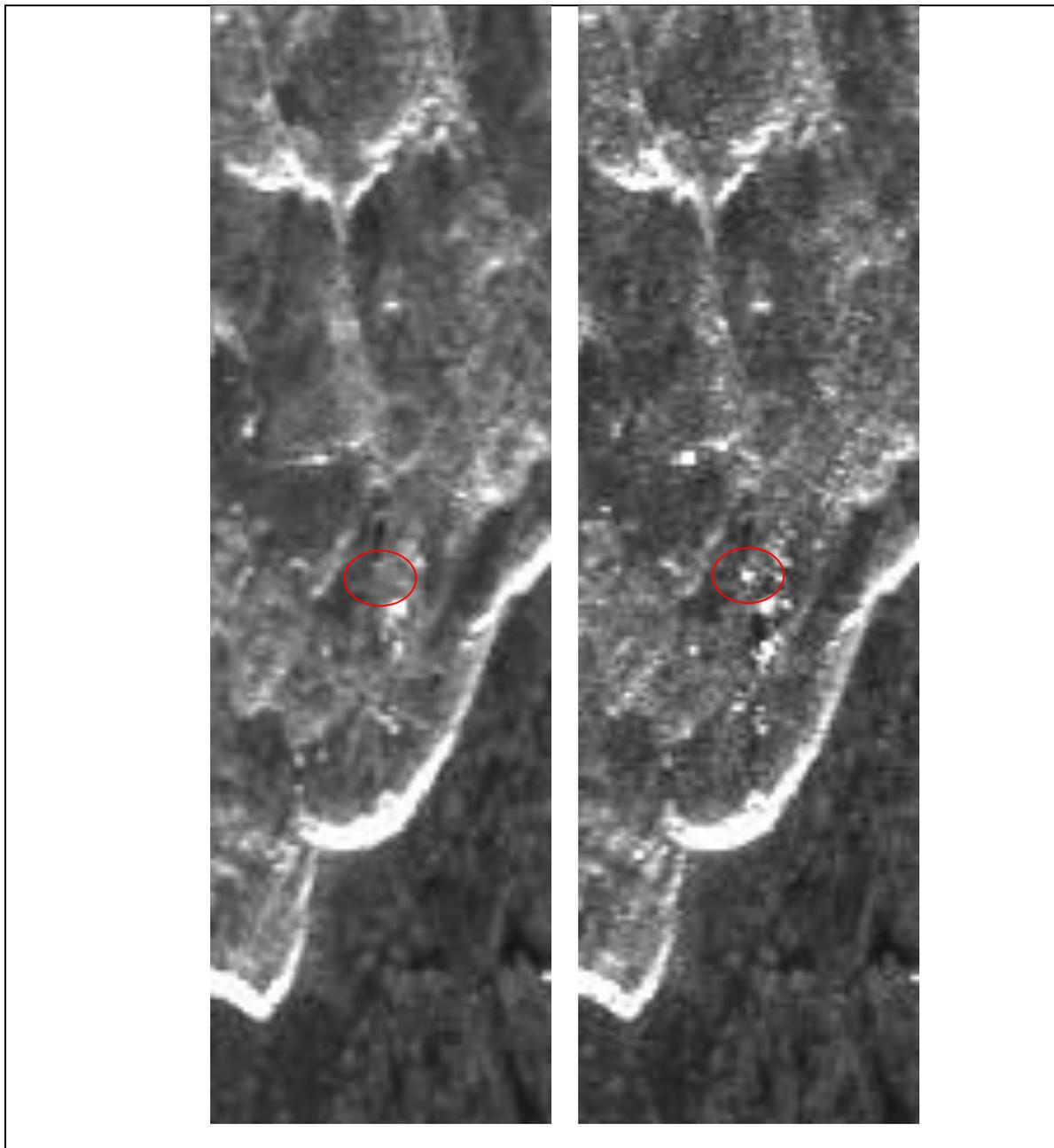


Fig. 0.9: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR03. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

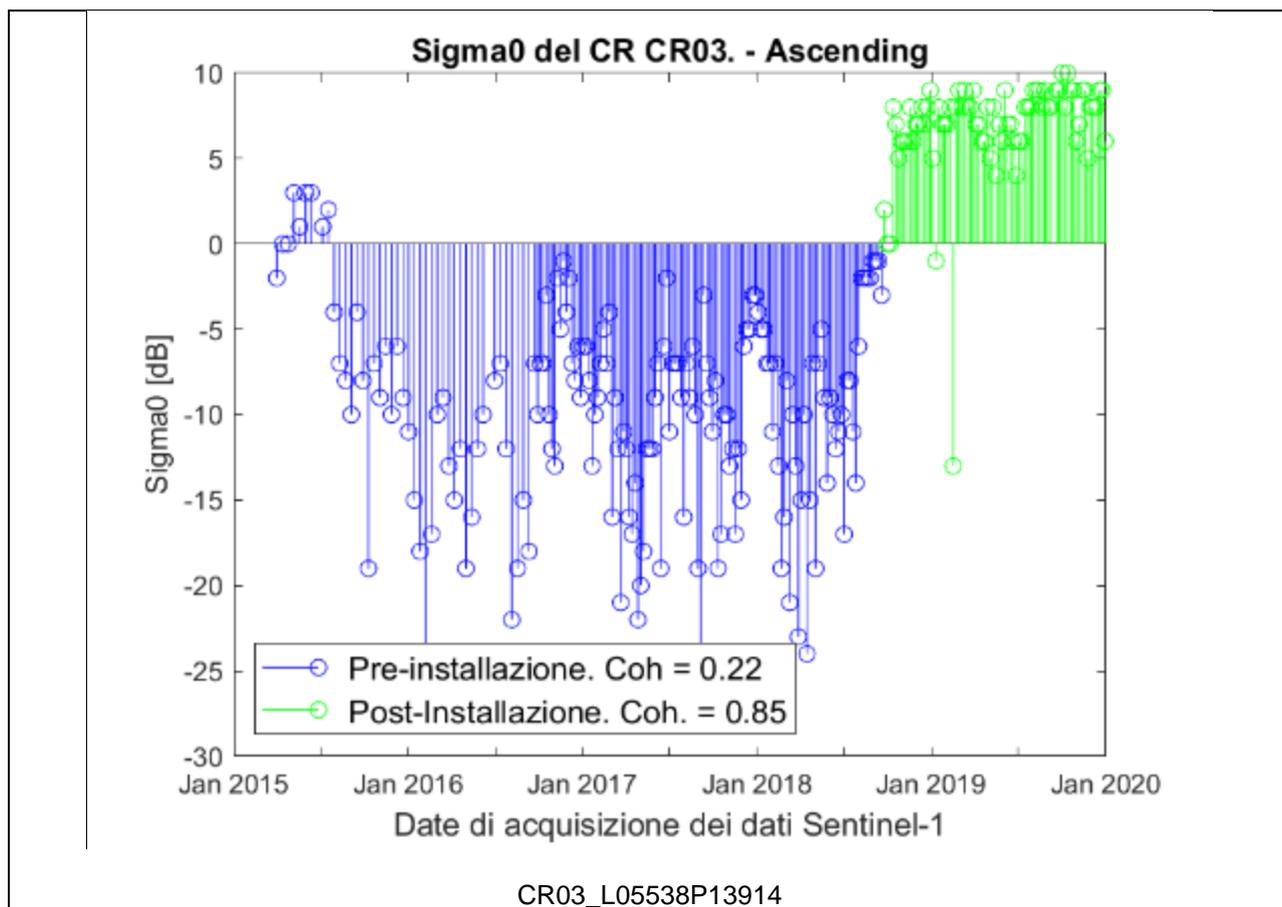


Fig. 0.10: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR03. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.6. Dataset Descending

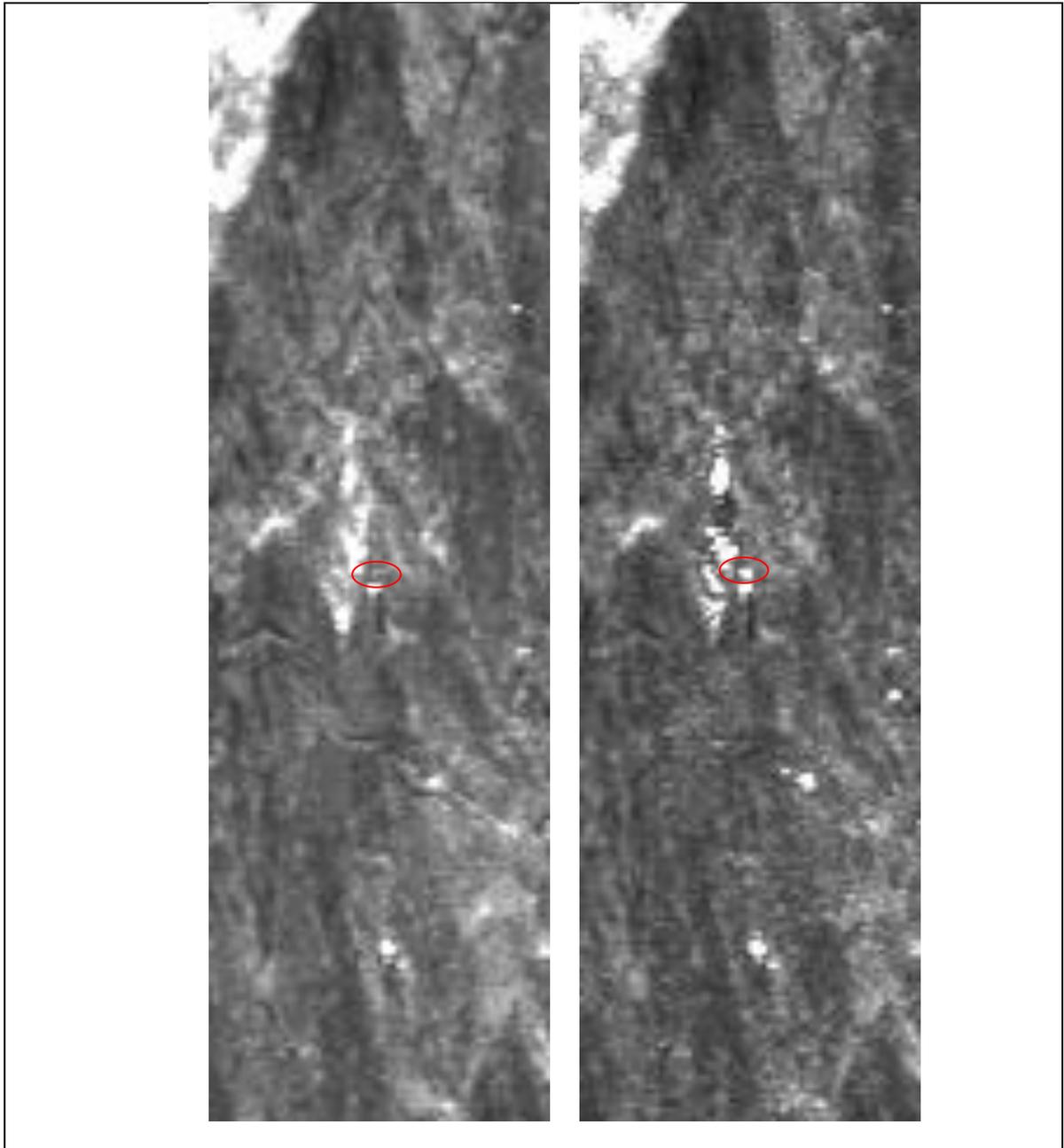


Fig. 0.11: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR03. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

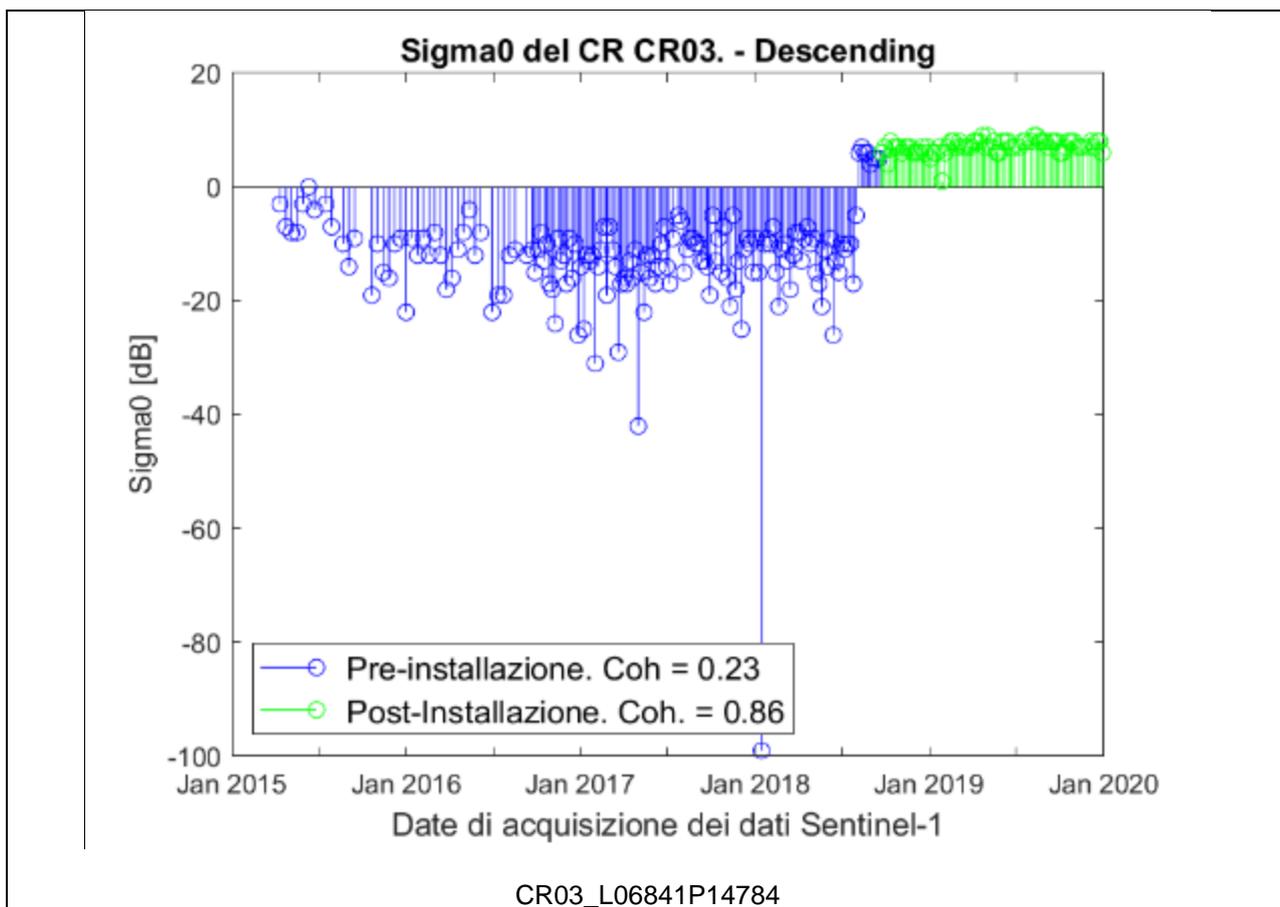


Fig. 0.12: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR03. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR04

1.1.7. Dataset Ascending

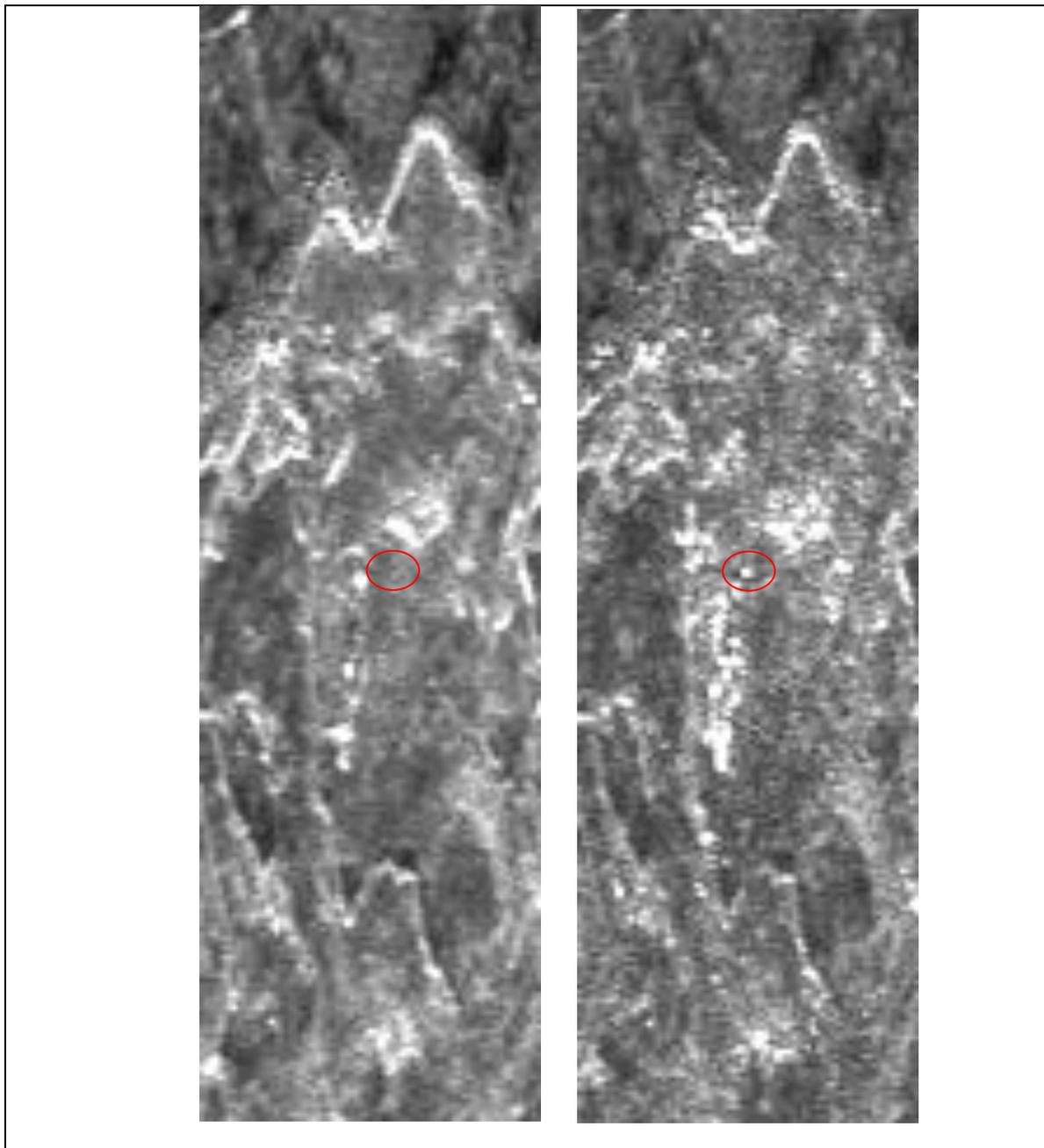


Fig. 0.13: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR04. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

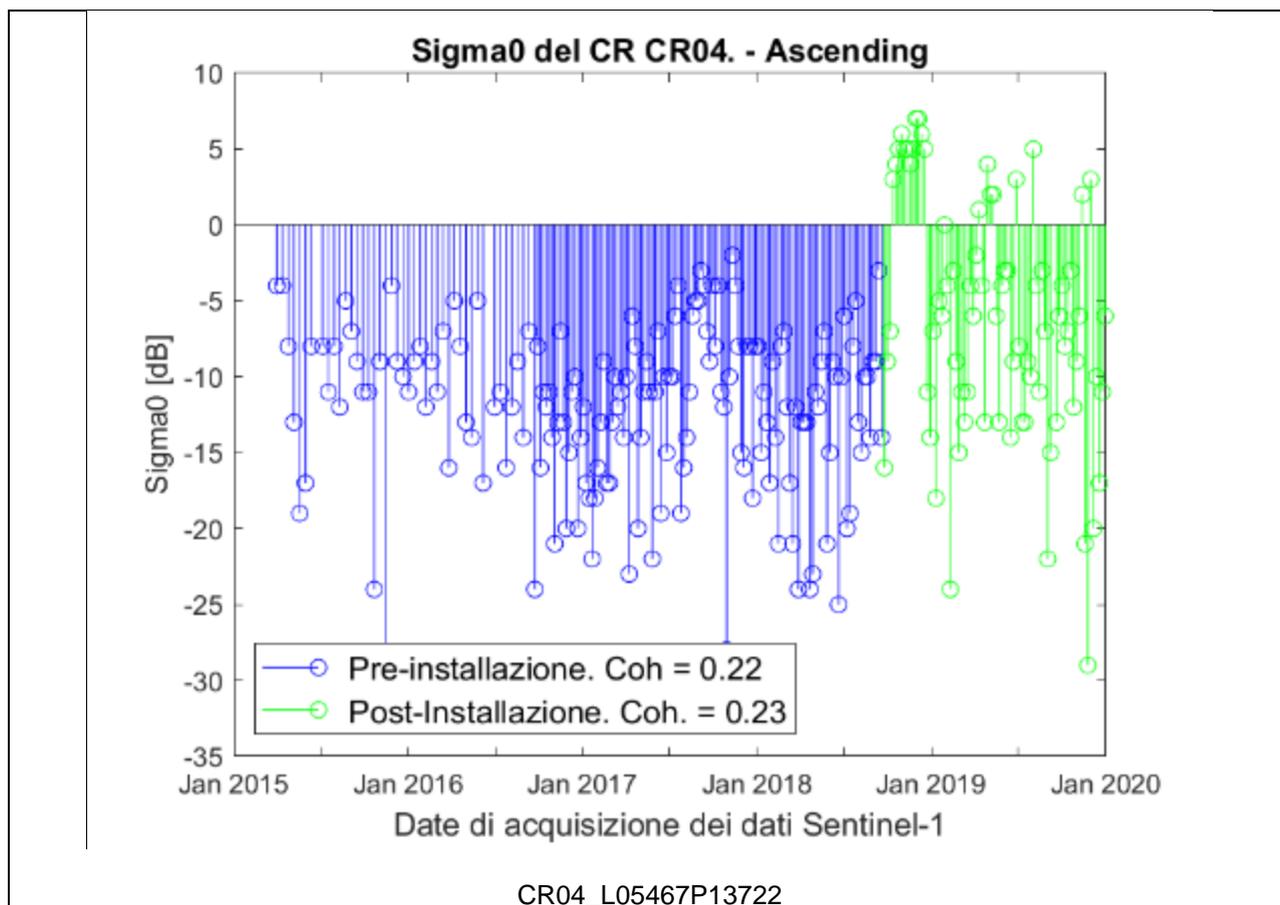


Fig. 0.14: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR04. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione. Una corretta installazione del corner dovrebbe fare apprezzare nella fase di post-installazione un segnale con maggiore intensità. Ciò non accade in questa figura. In particolare, la risposta di ampiezza esibisce una notevole variabilità.

1.1.8. Dataset Descending

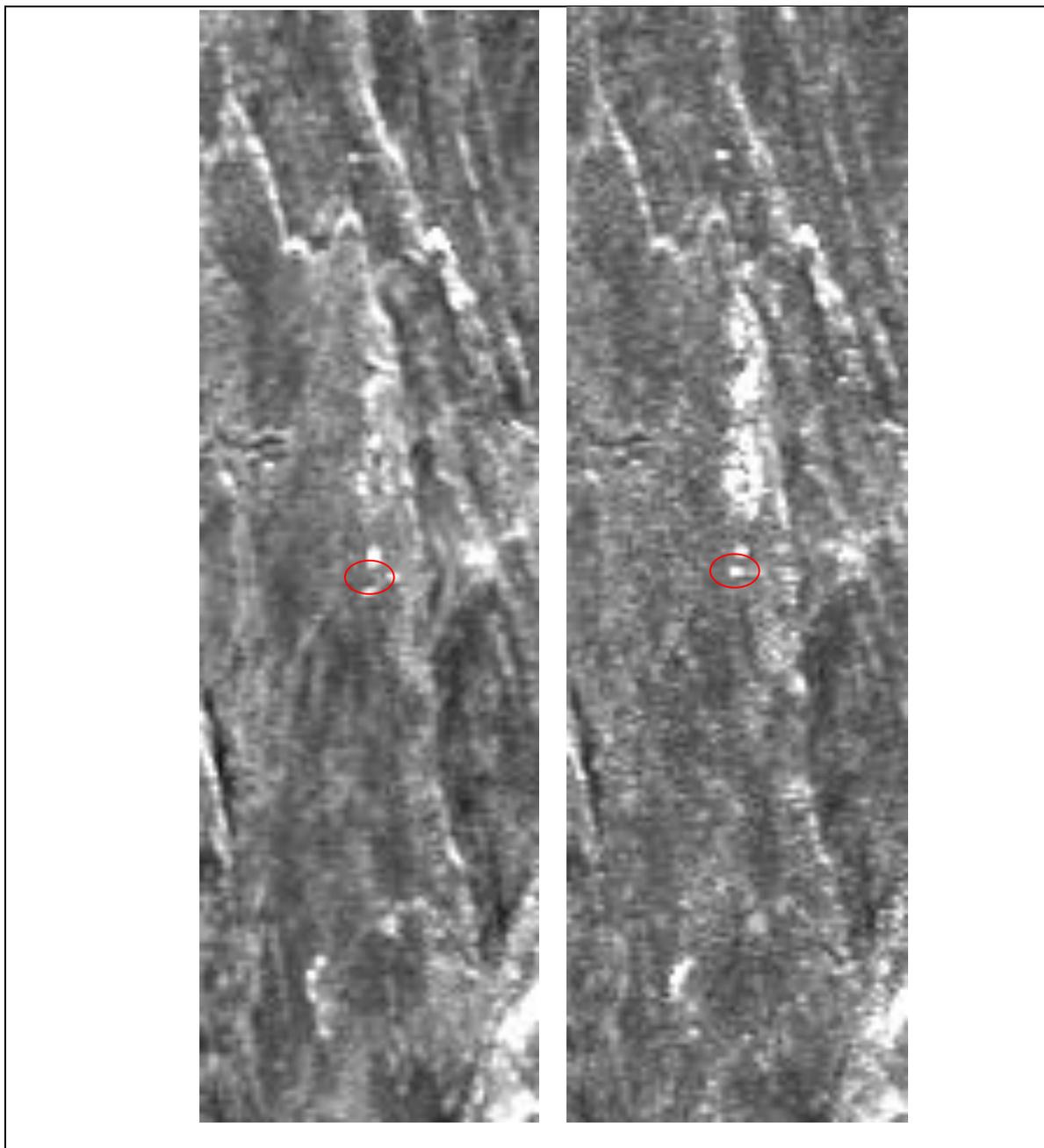


Fig. 0.15: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR04. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector. La risposta di ampiezza esibisce una notevole variabilità.

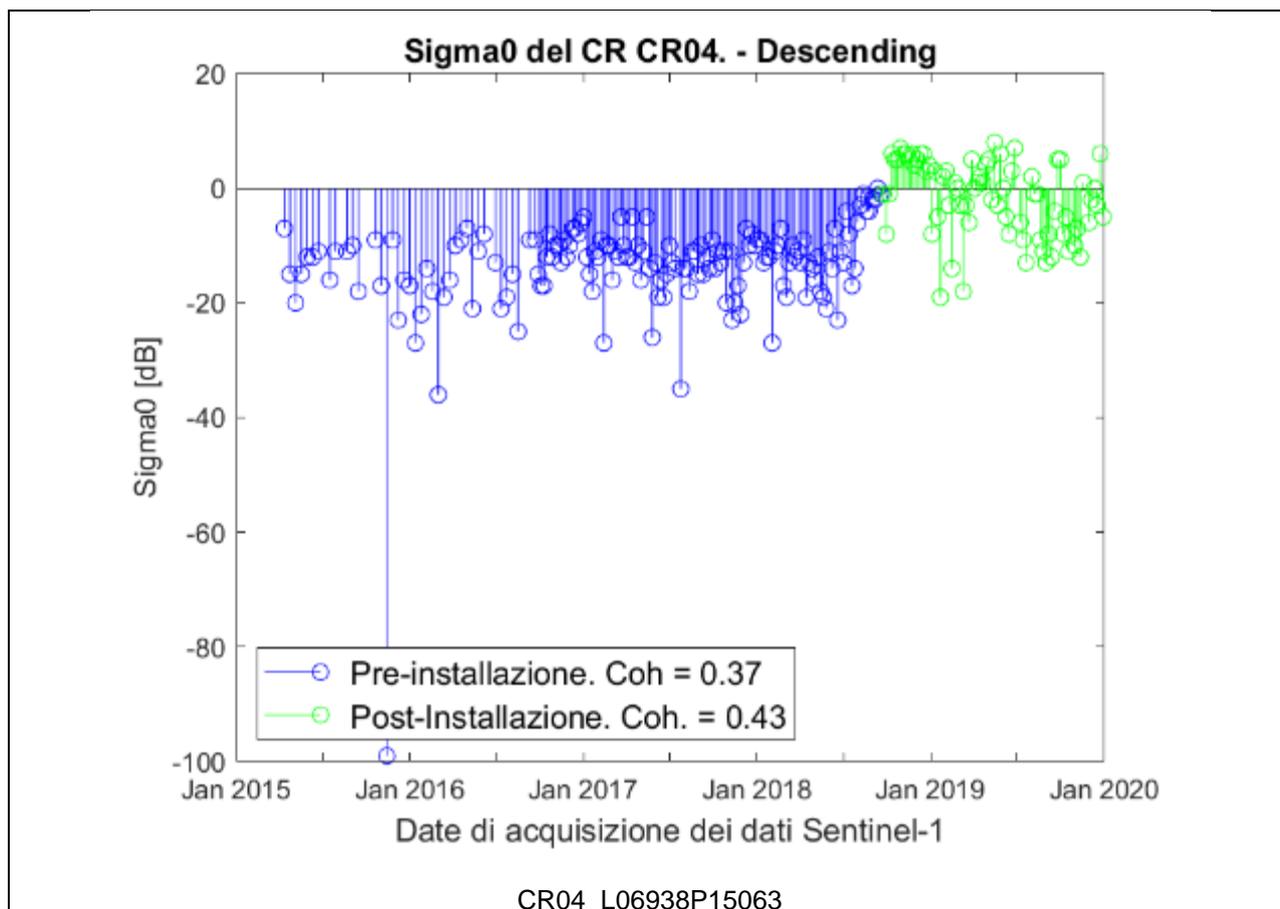


Fig. 0.16: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR04. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione. Una corretta installazione del corner dovrebbe fare apprezzare nella fase di post-installazione un segnale con maggiore intensità. Ciò non accade in questa figura. In particolare la risposta di ampiezza segna un brusco calo dell'intensità radar del corner reflector.

Corner Reflector CR05

1.1.9. Dataset Ascending

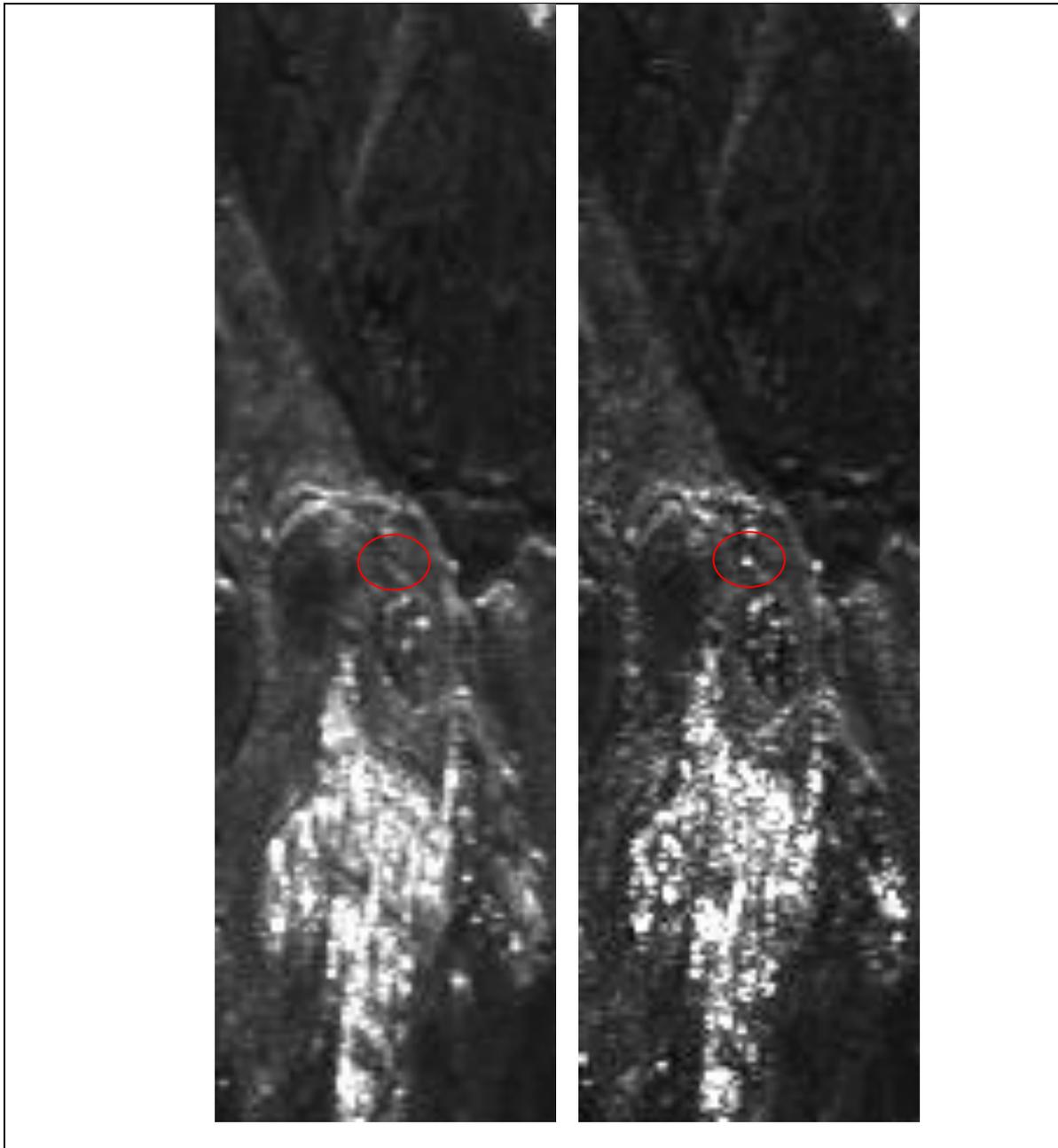


Fig. 0.17: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR05. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

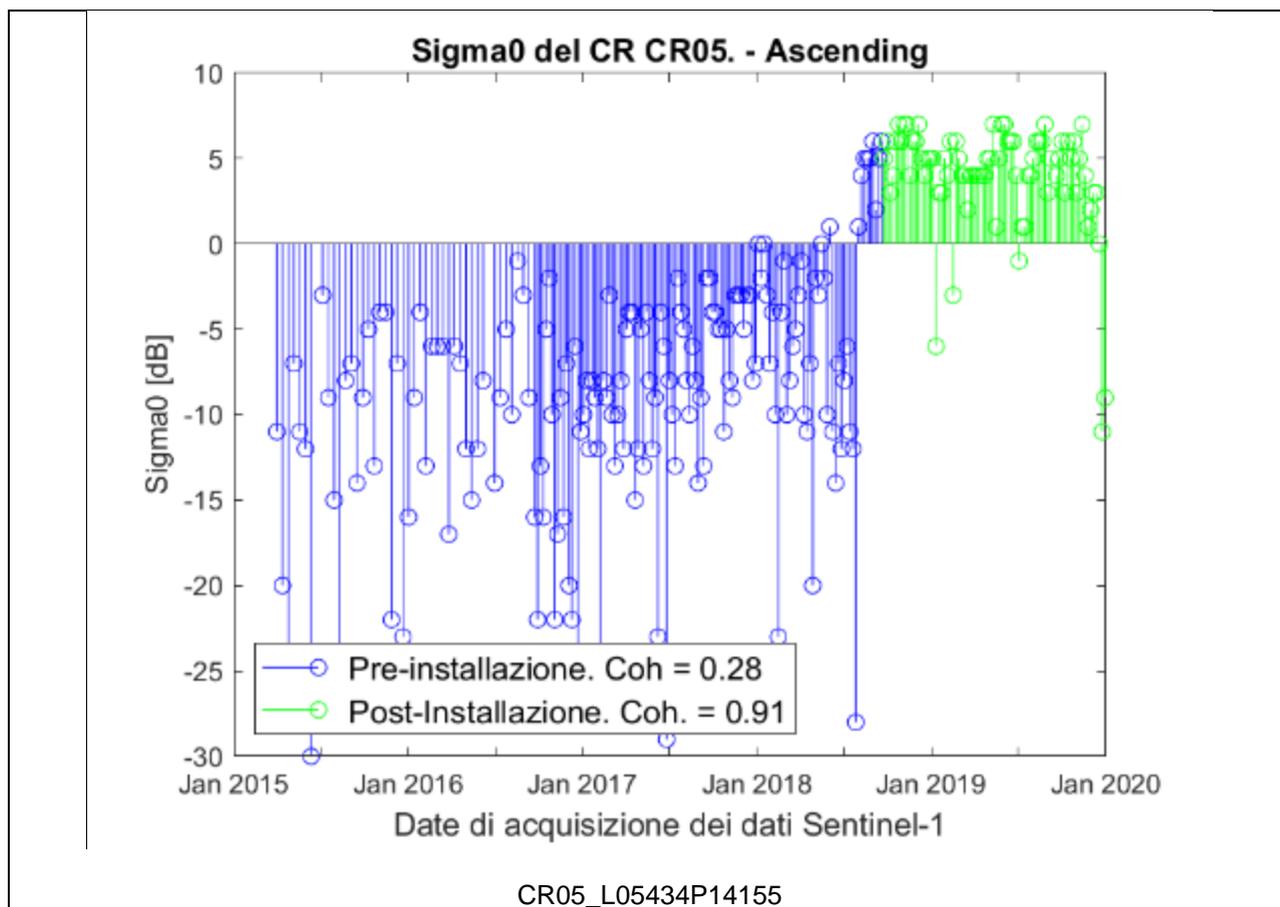


Fig. 0.18: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR05. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.10. Dataset Descending

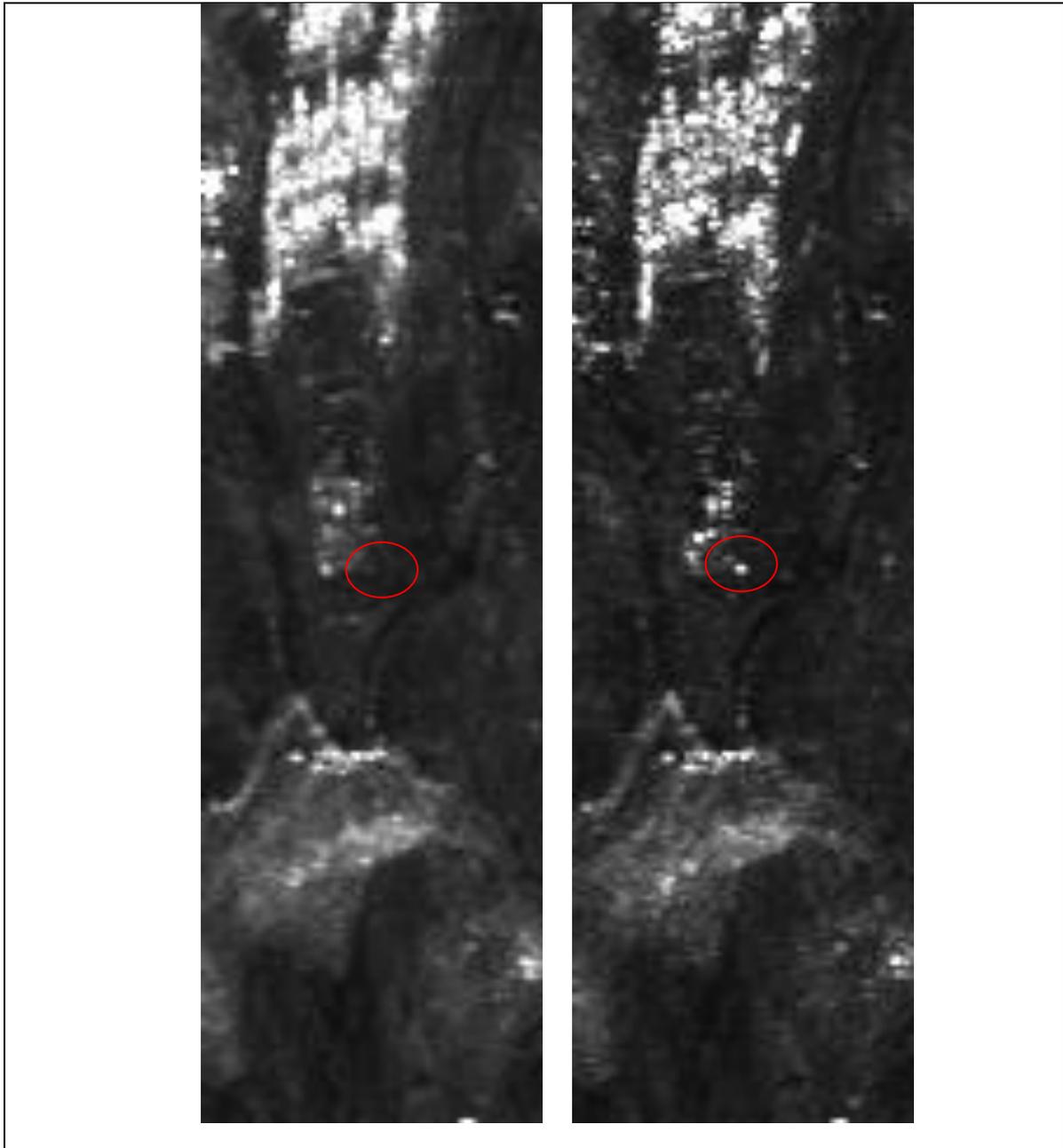


Fig. 0.19: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR05. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

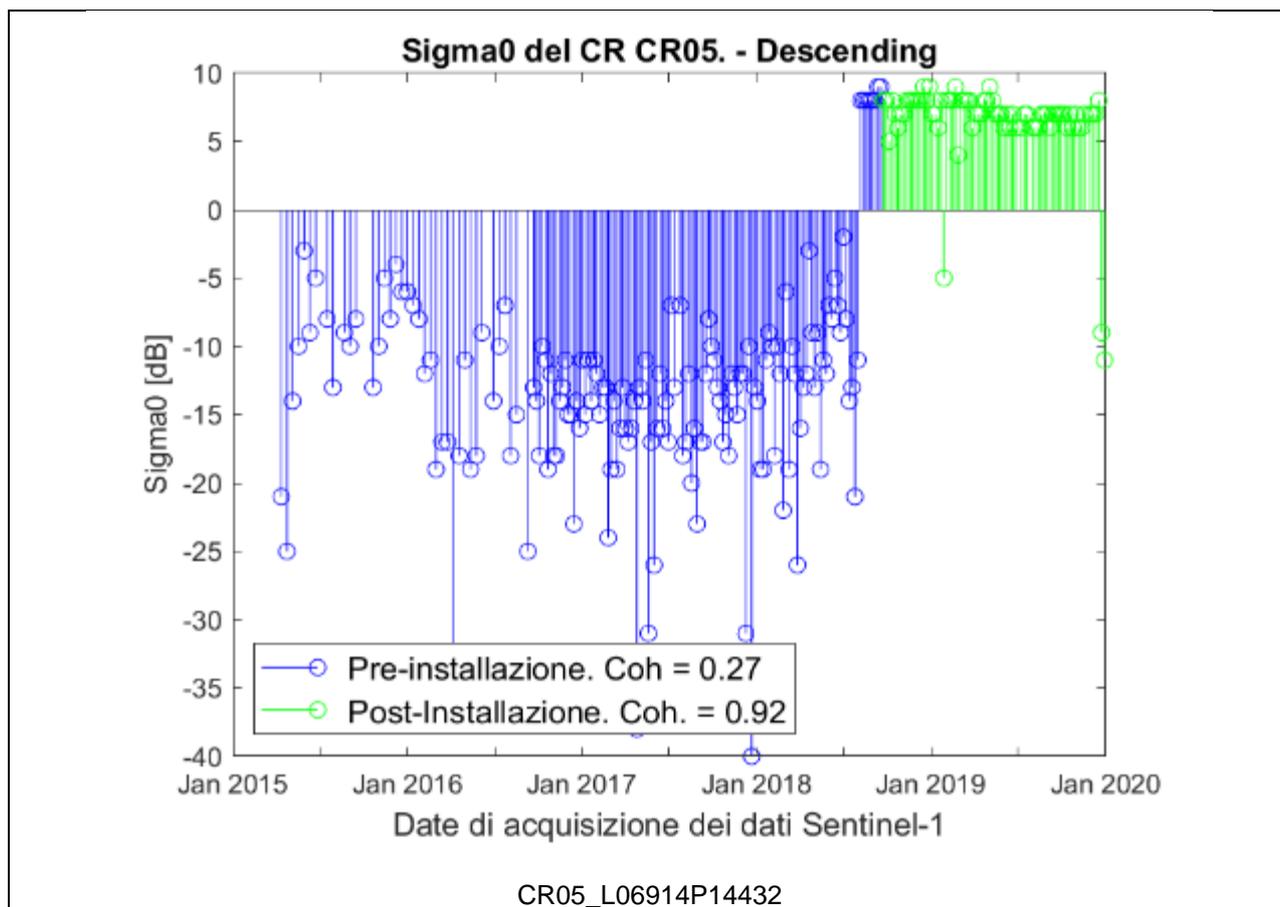


Fig. 0.20: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR05. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR06

1.1.11. Dataset Ascending

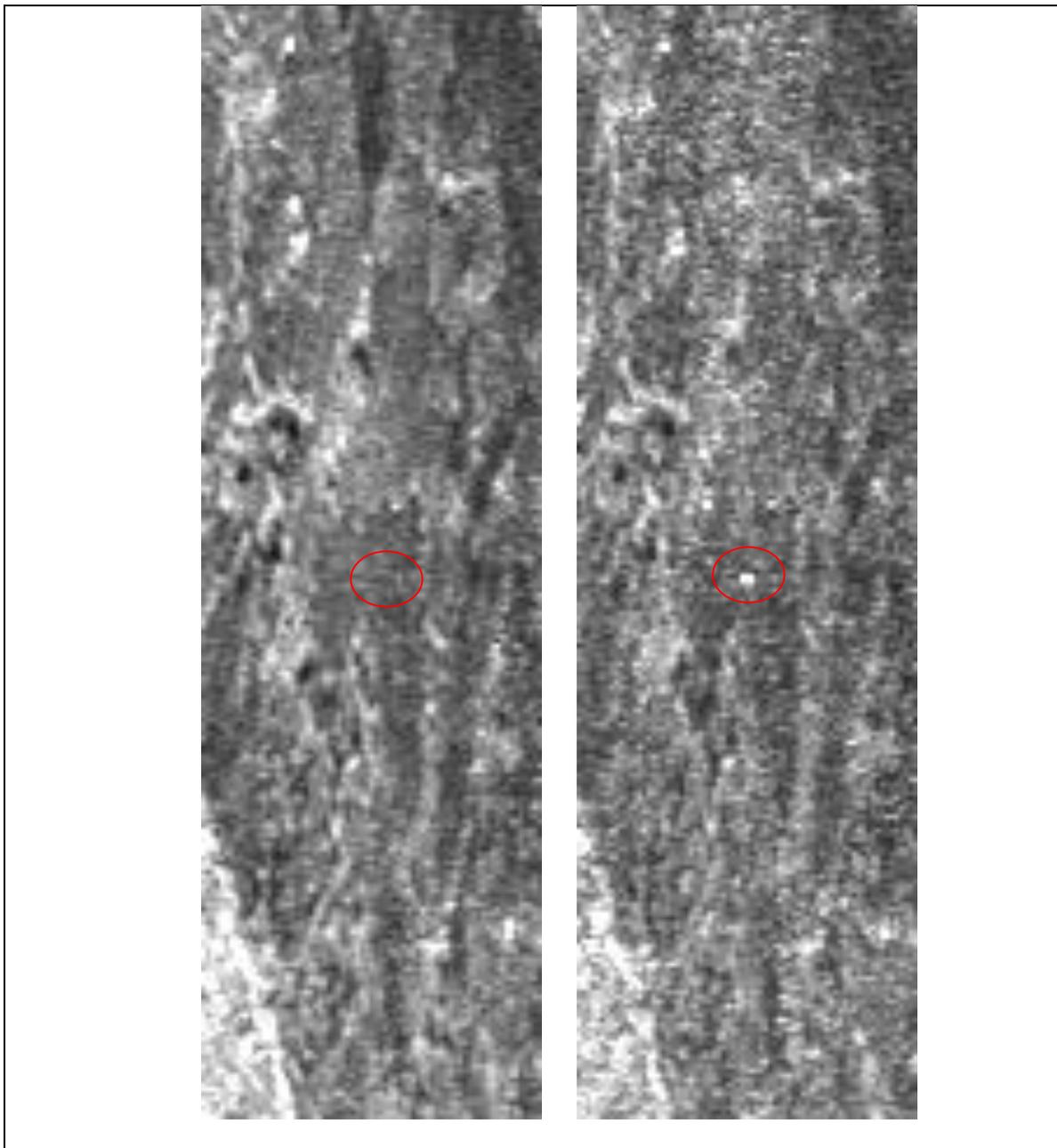


Fig. 0.21: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR06. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

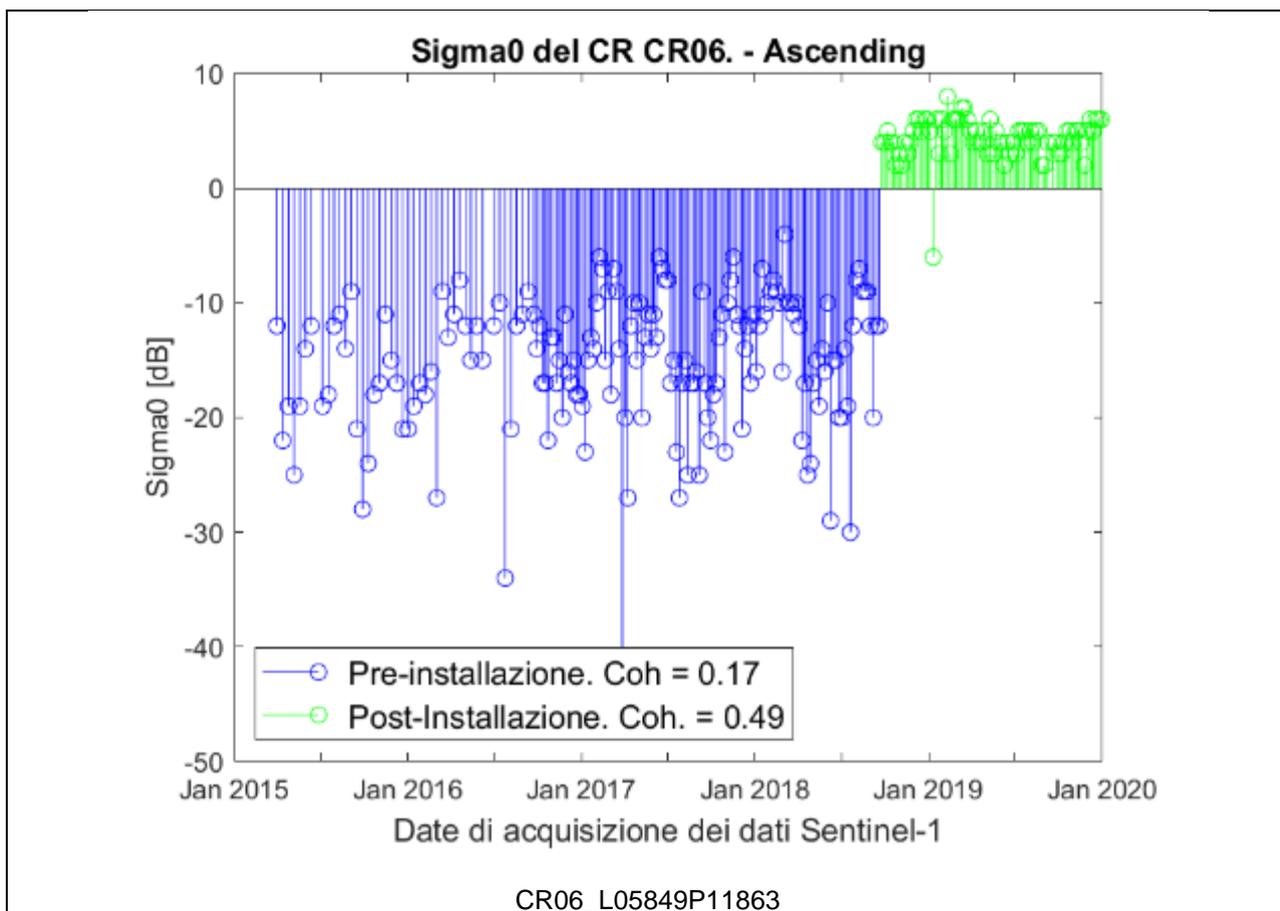


Fig. 0.22: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR06. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.12. Dataset Descending

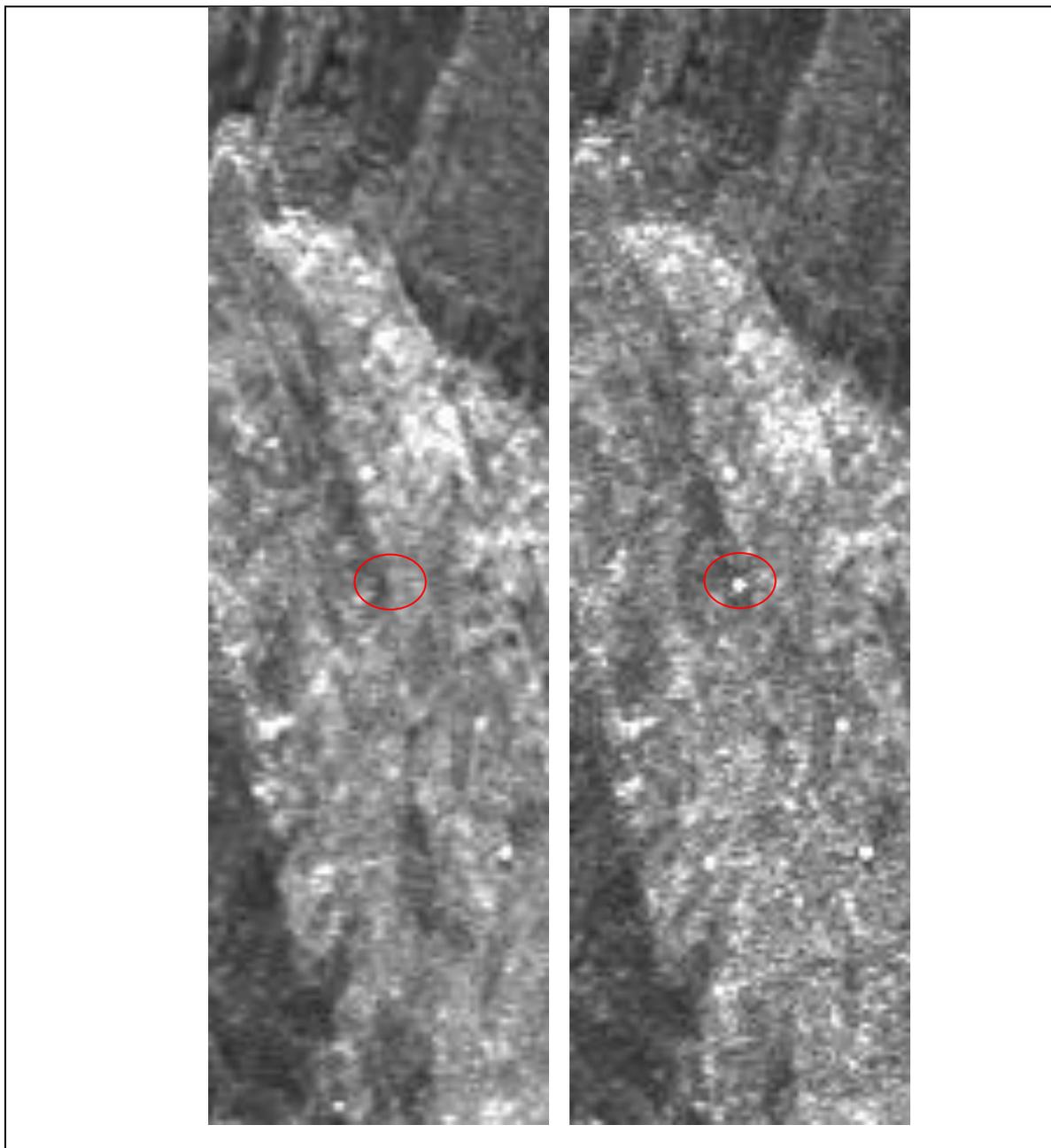


Fig. 0.23: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR06. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

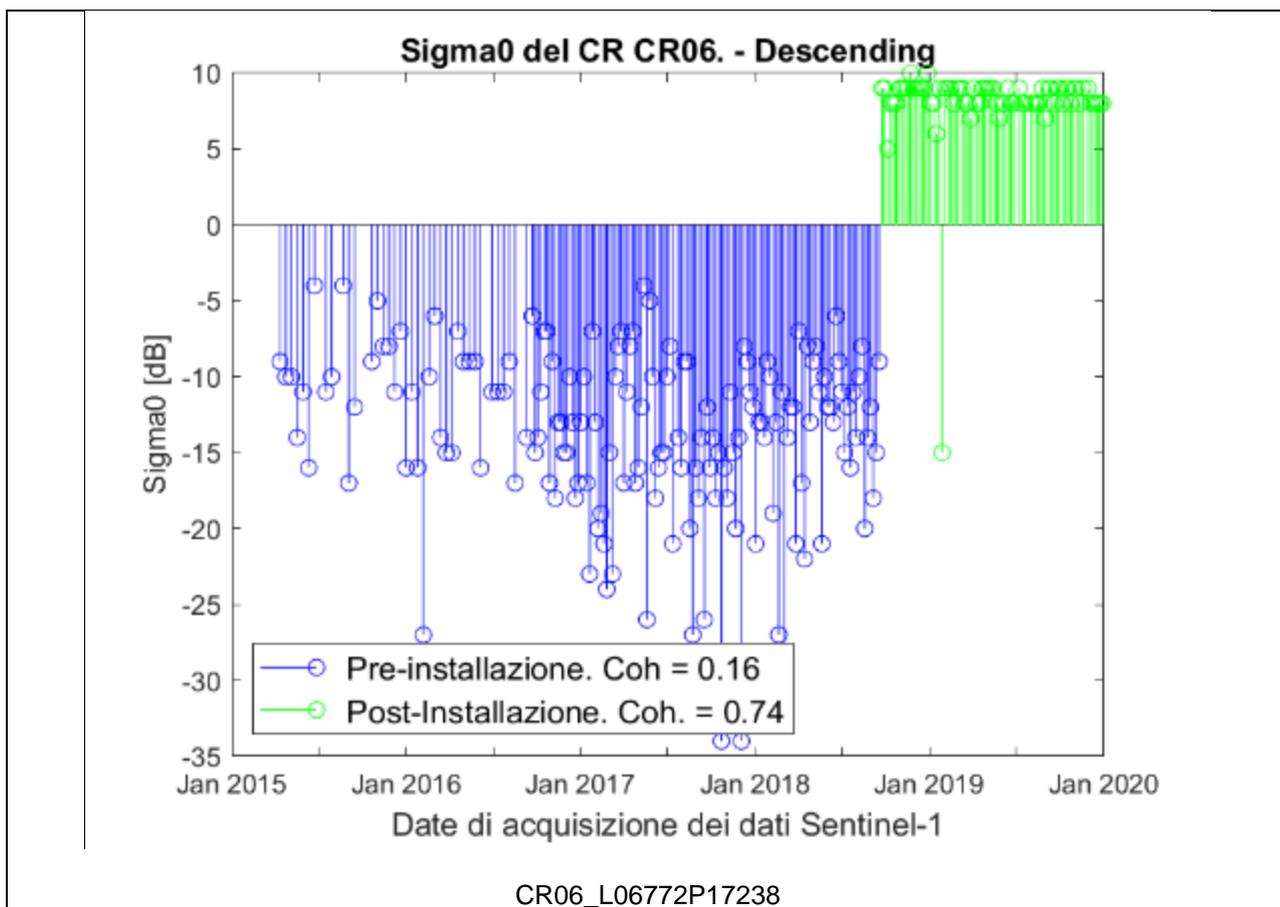


Fig. 0.24: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR06. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR07

1.1.13. Dataset Ascending

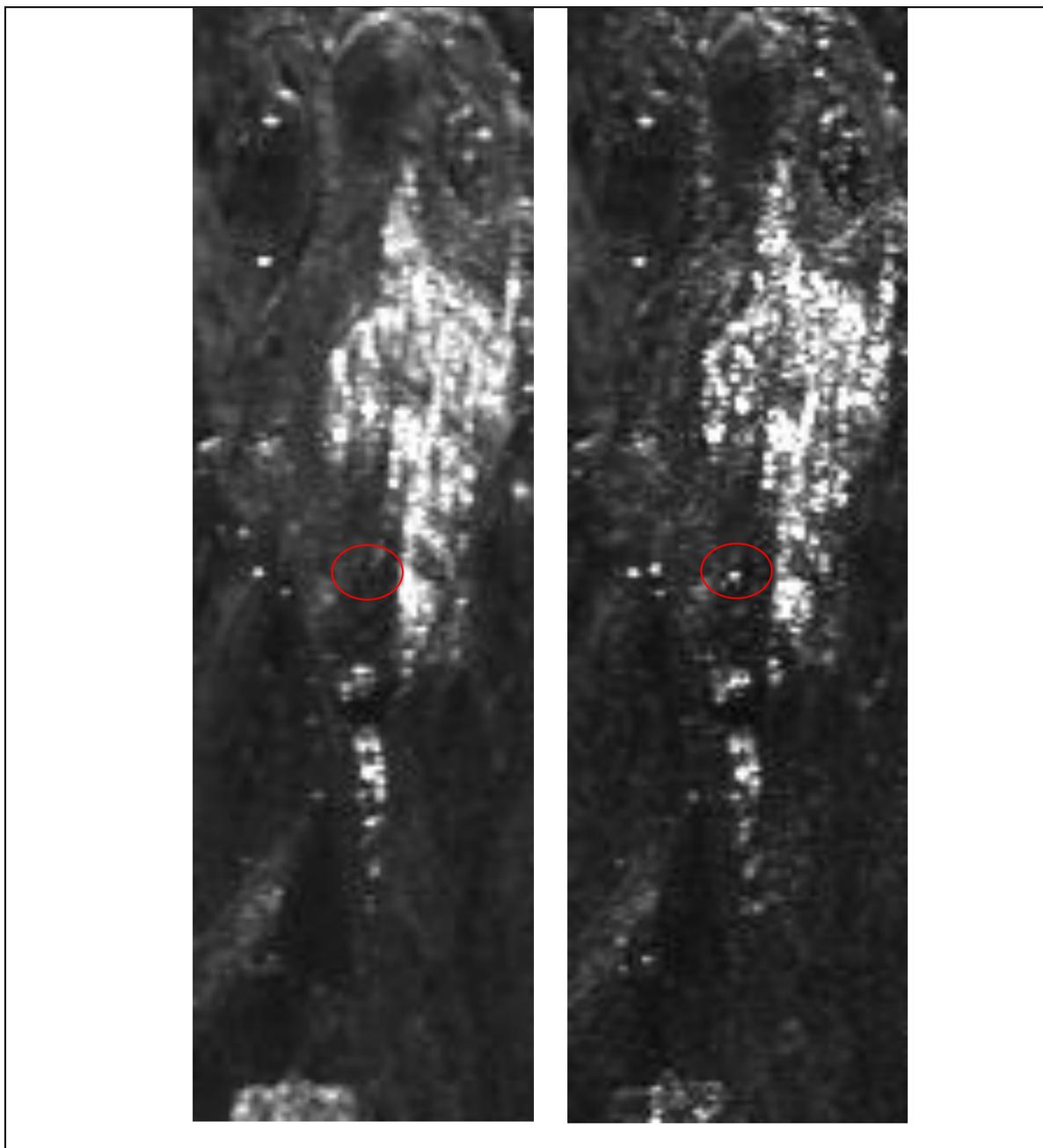


Fig. 0.25: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR07. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

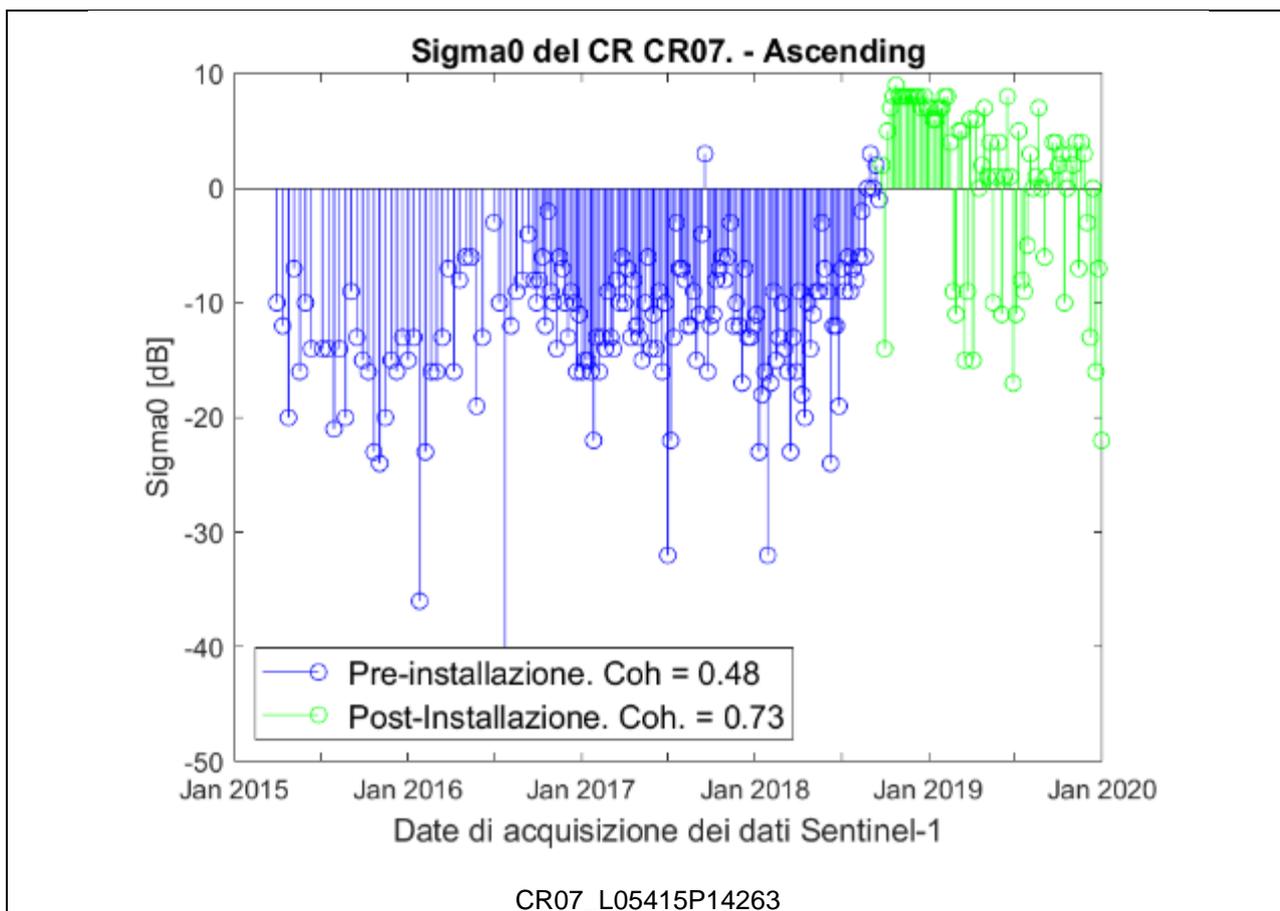


Fig. 0.26: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR07. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione. Per alcune date sono evidenti misure rumorose.

1.1.14. Dataset Descending

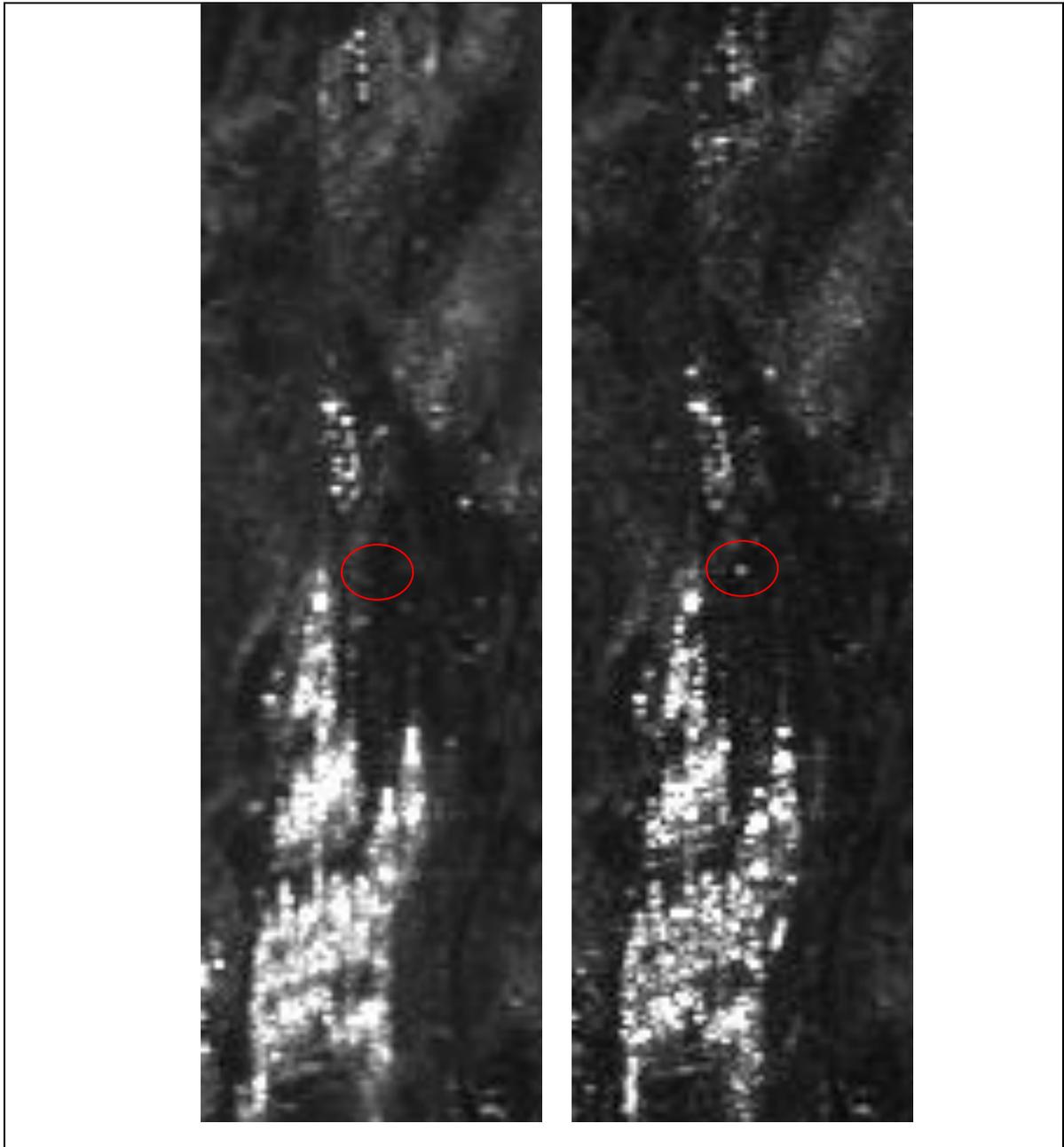


Fig. 0.27: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR07. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

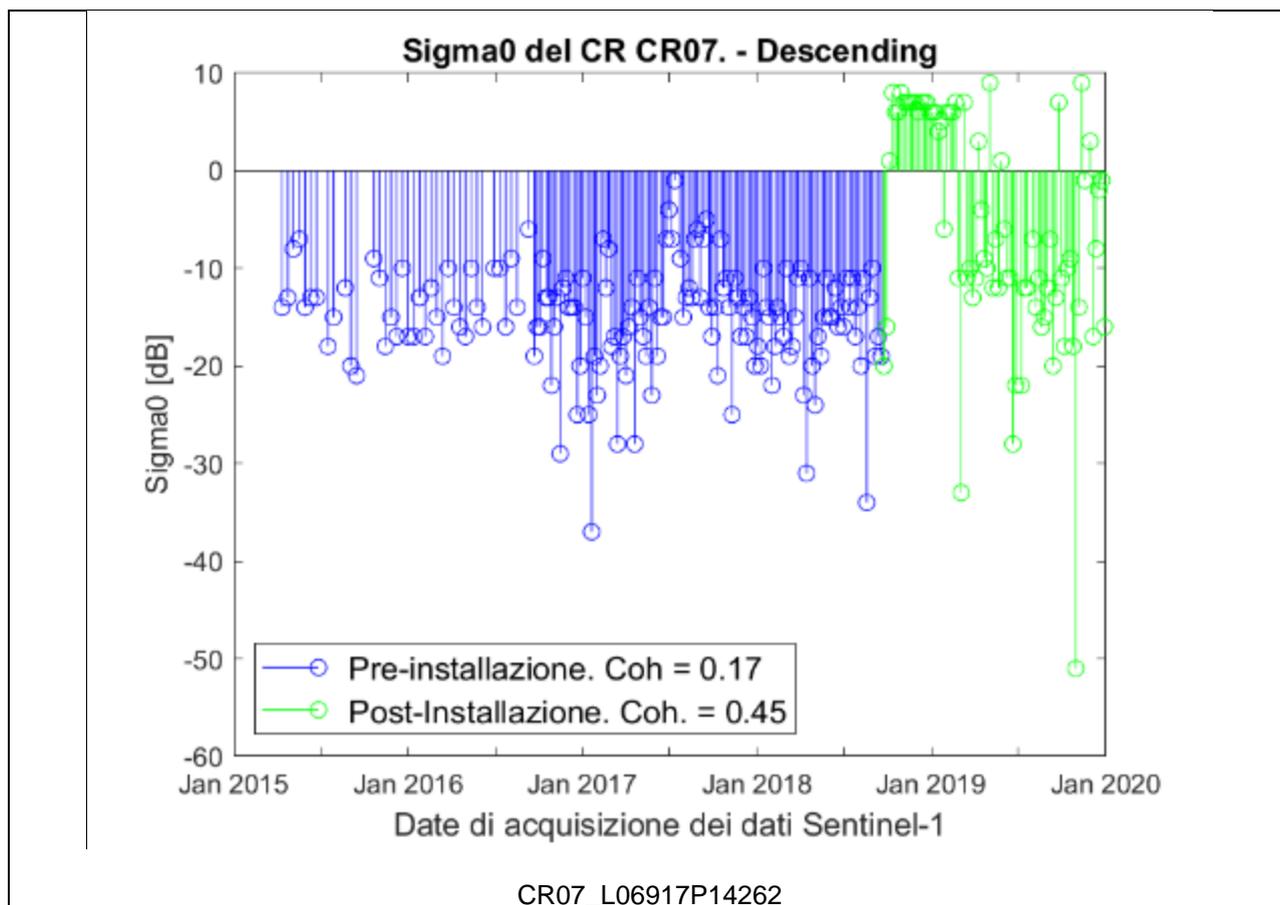


Fig. 0.28: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR07. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione. Una corretta installazione del corner dovrebbe fare apprezzare nella fase di post-installazione un segnale con maggiore intensità. Nel caso in questione, le misure post-installazione risultano disturbate e con valori di sigma0 molto inferiori ai valori attesi.

Corner Reflector CR08

1.1.15. Dataset Ascending

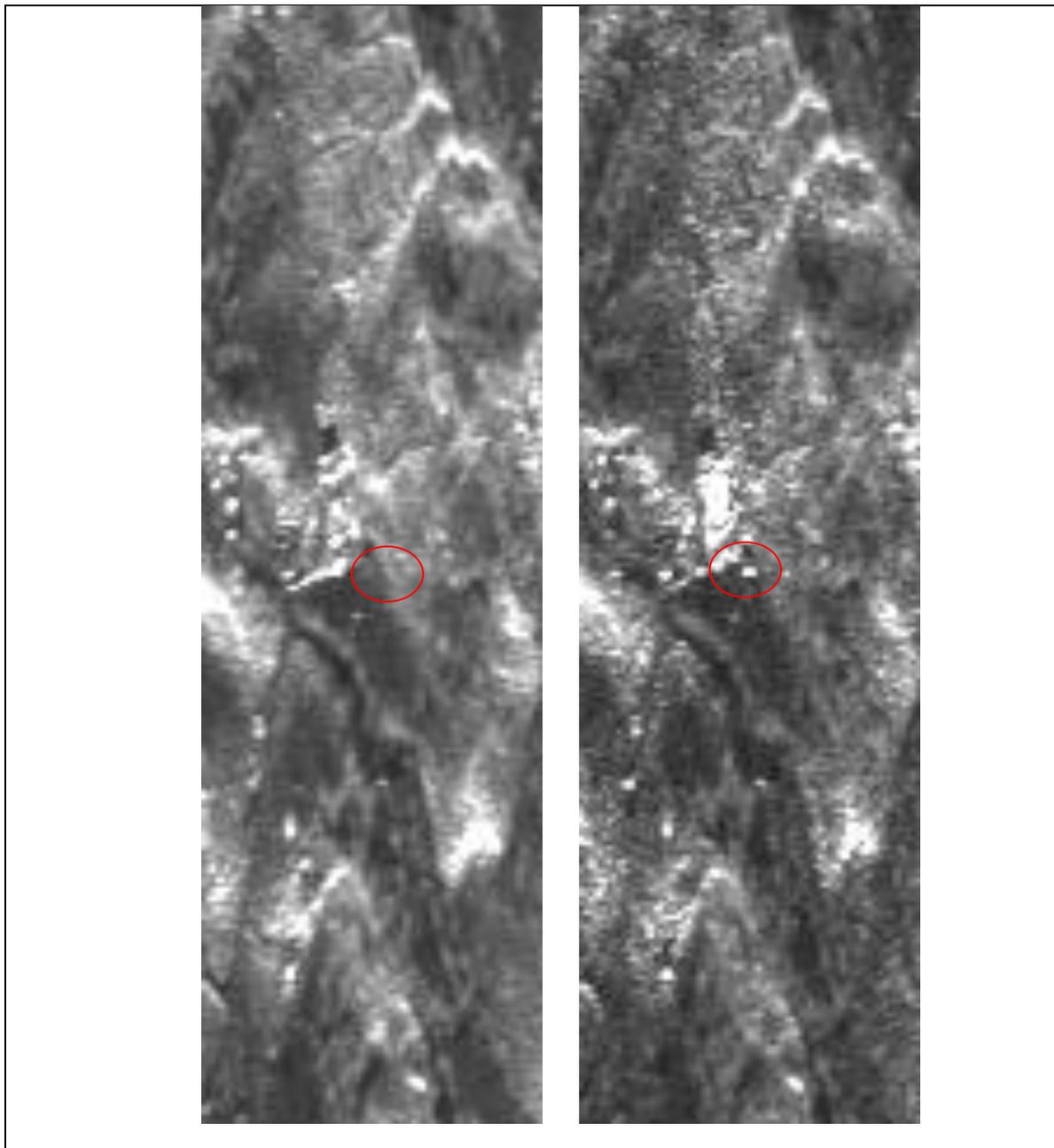


Fig. 0.29: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR08. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

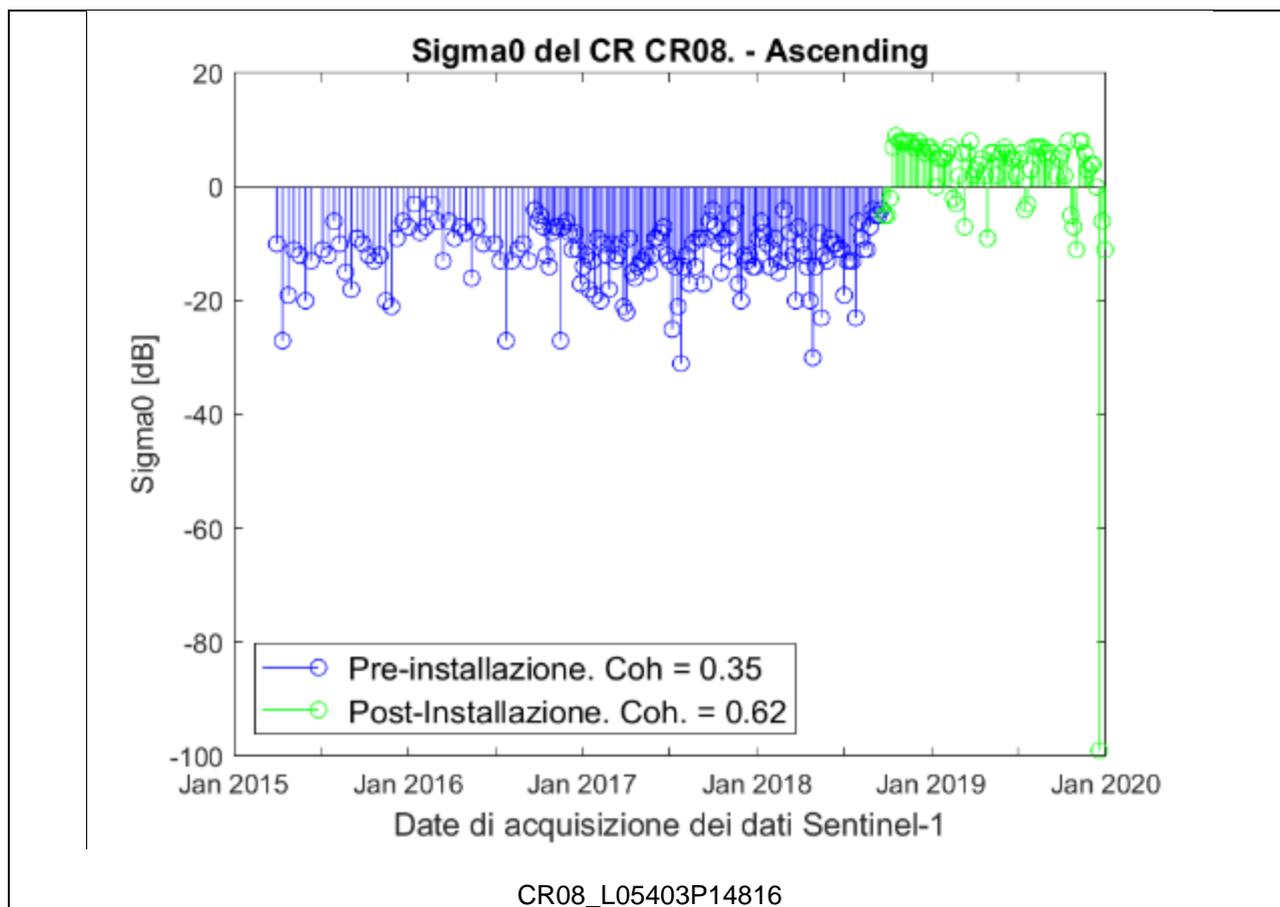


Fig. 0.30: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR08. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.16. Dataset Descending

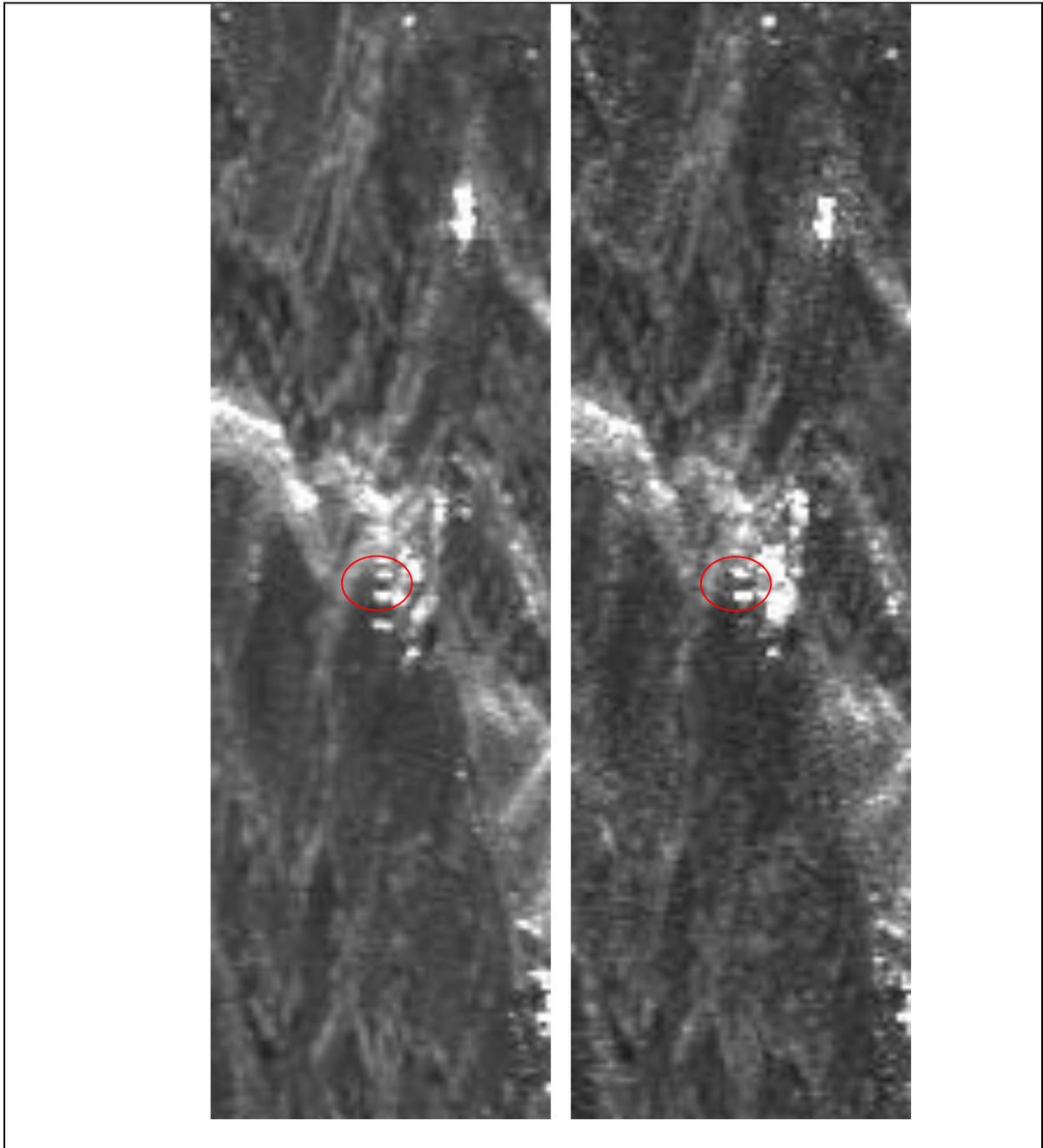


Fig. 0.31: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR08. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

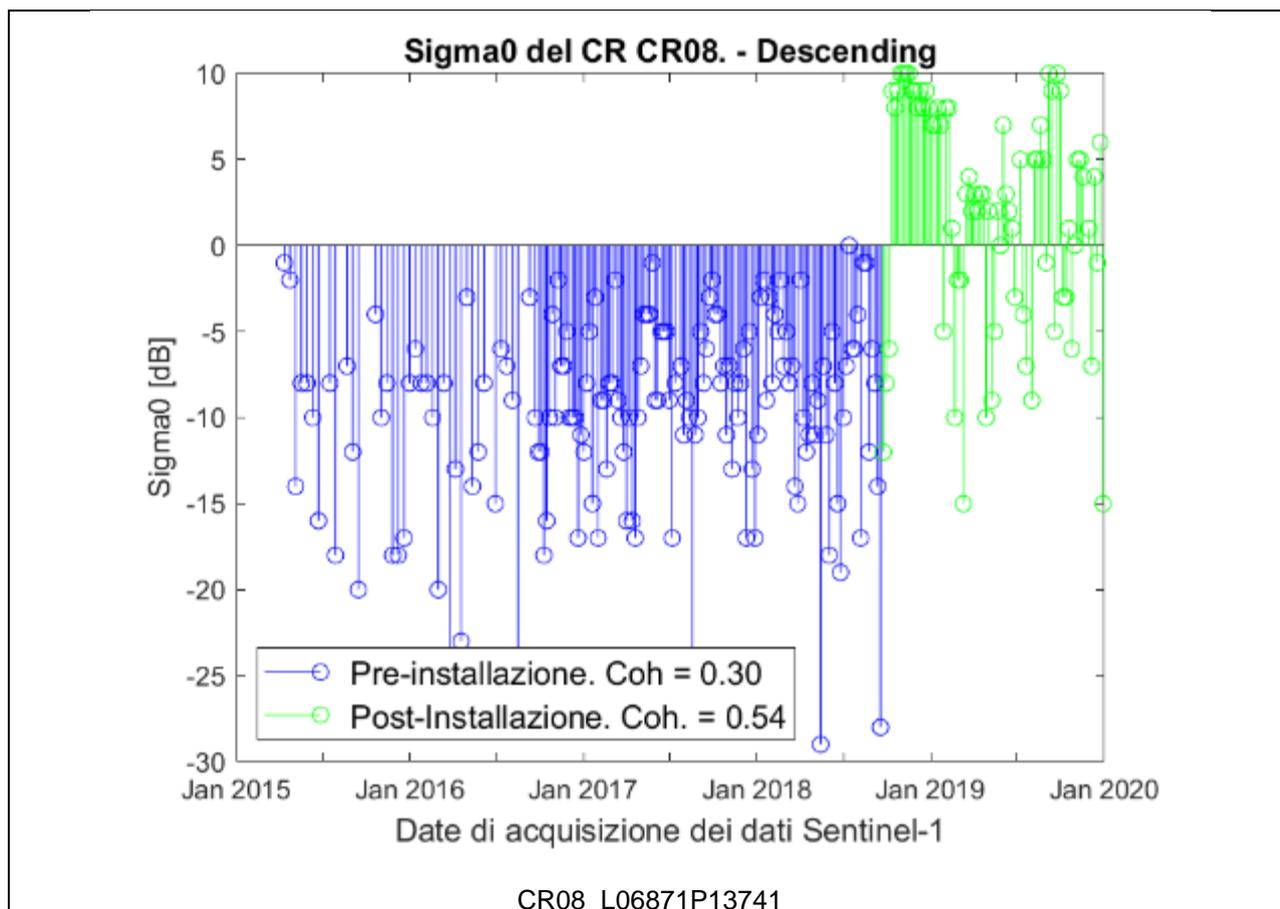


Fig. 0.32: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR08. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione. Le misure (soprattutto le più recenti) risultano disturbate ed esibiscono valori di sigma0 inferiori ai valori attesi.

Corner Reflector CR09

1.1.17. Dataset Ascending

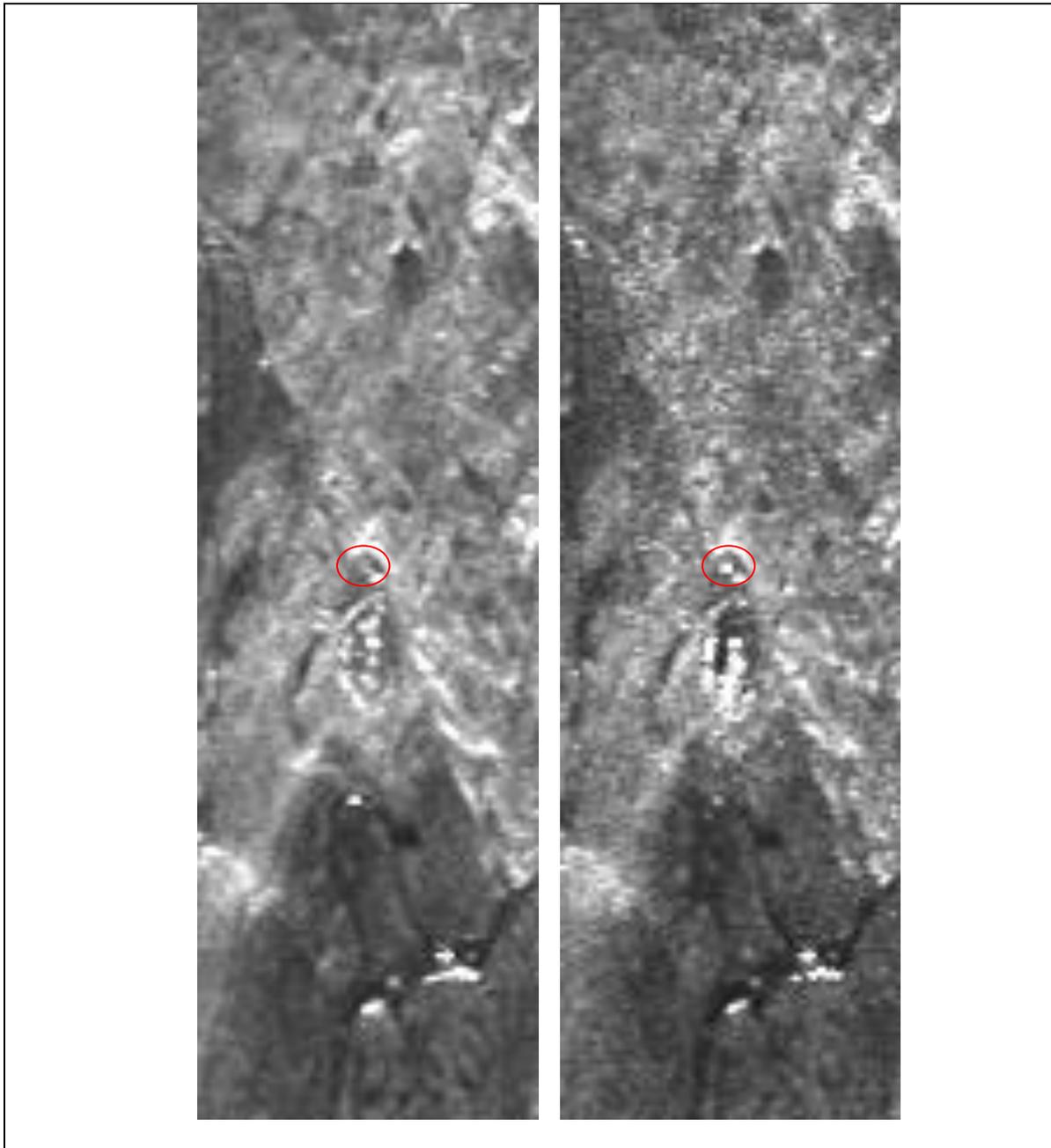


Fig. 0.33: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR09. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

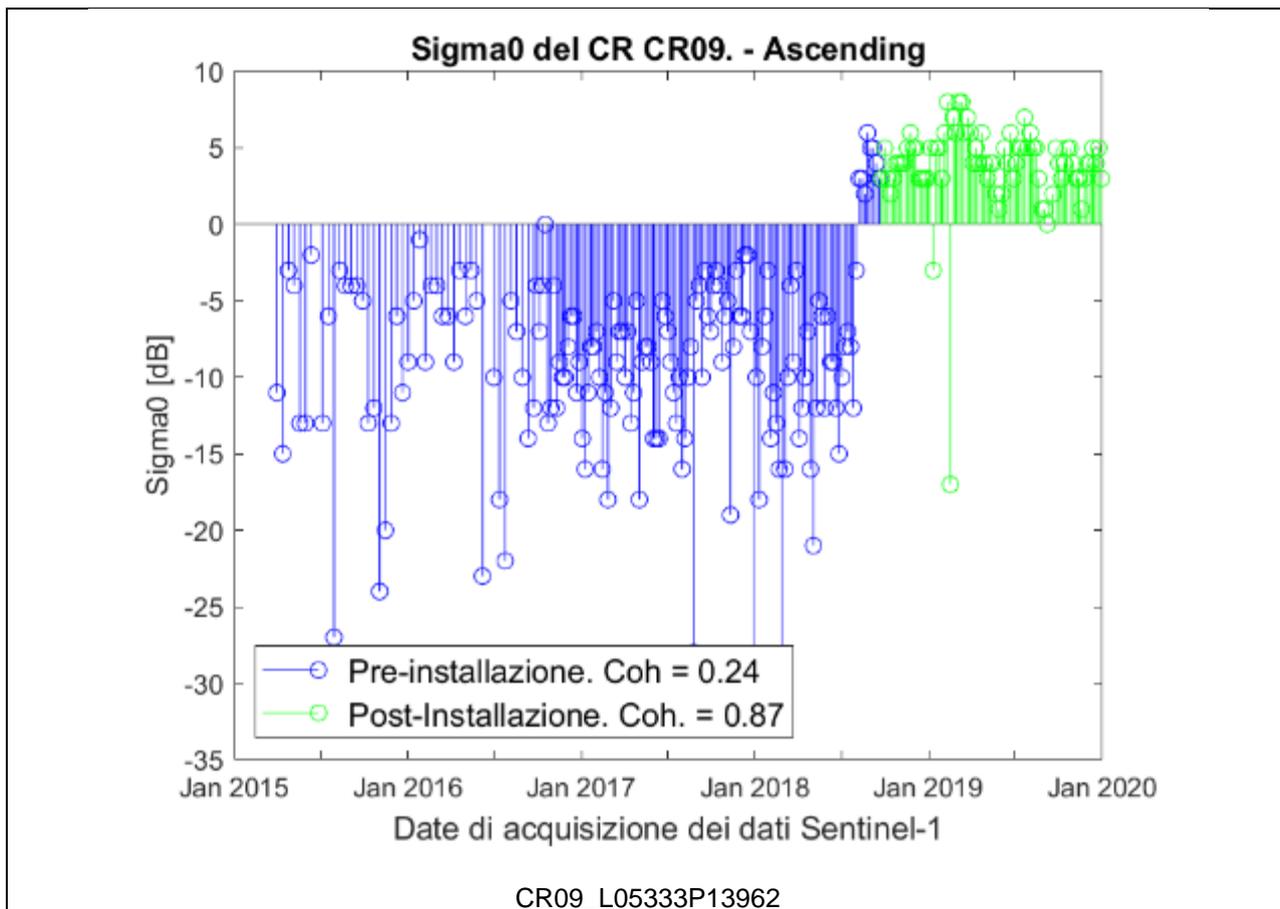


Fig. 0.34: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR09. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.18. Dataset Descending

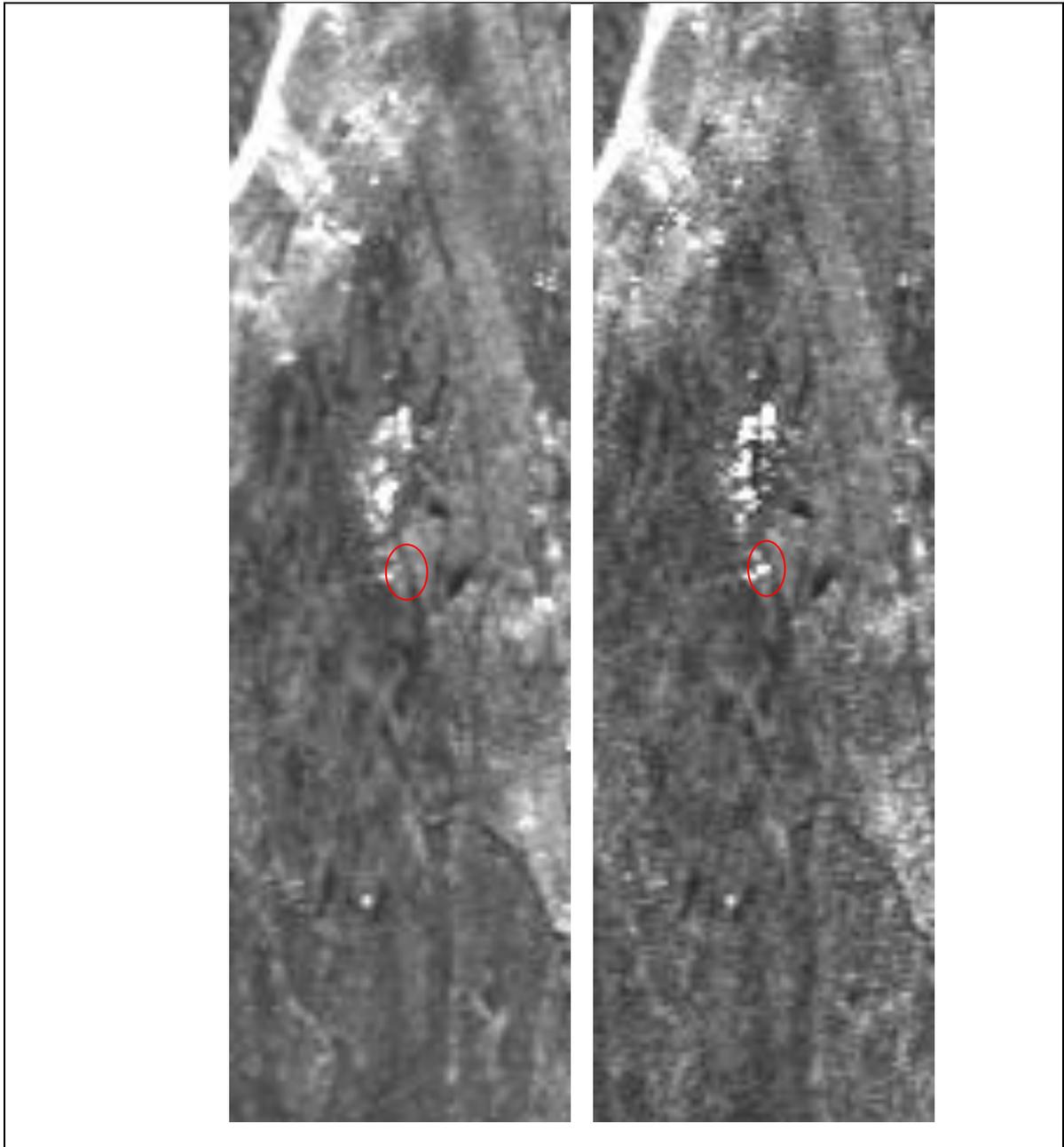


Fig. 0.35: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR09. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

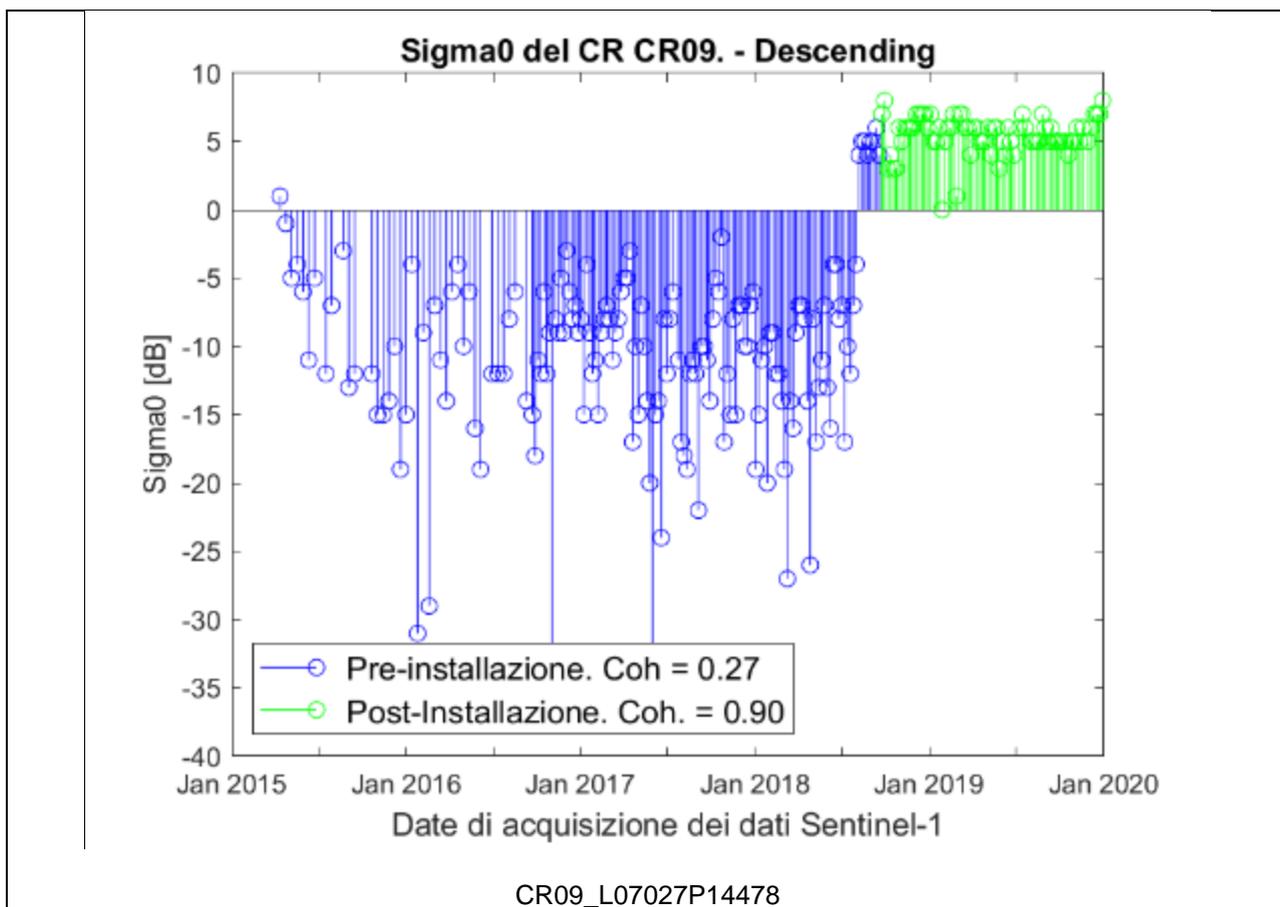


Fig. 0.36: Analisi radometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR09. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR10

1.1.19. Dataset Ascending

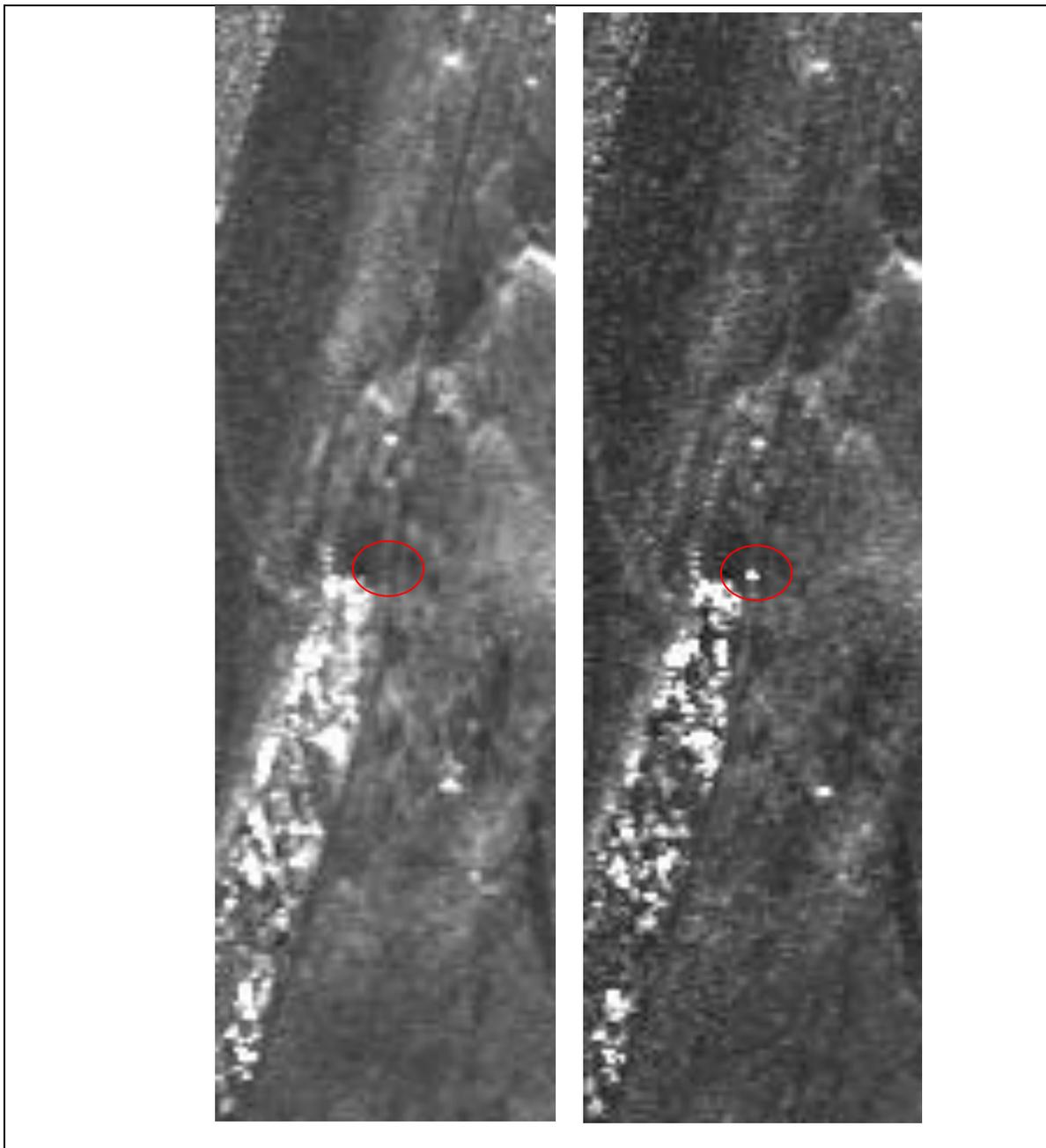


Fig. 0.37: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR10. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

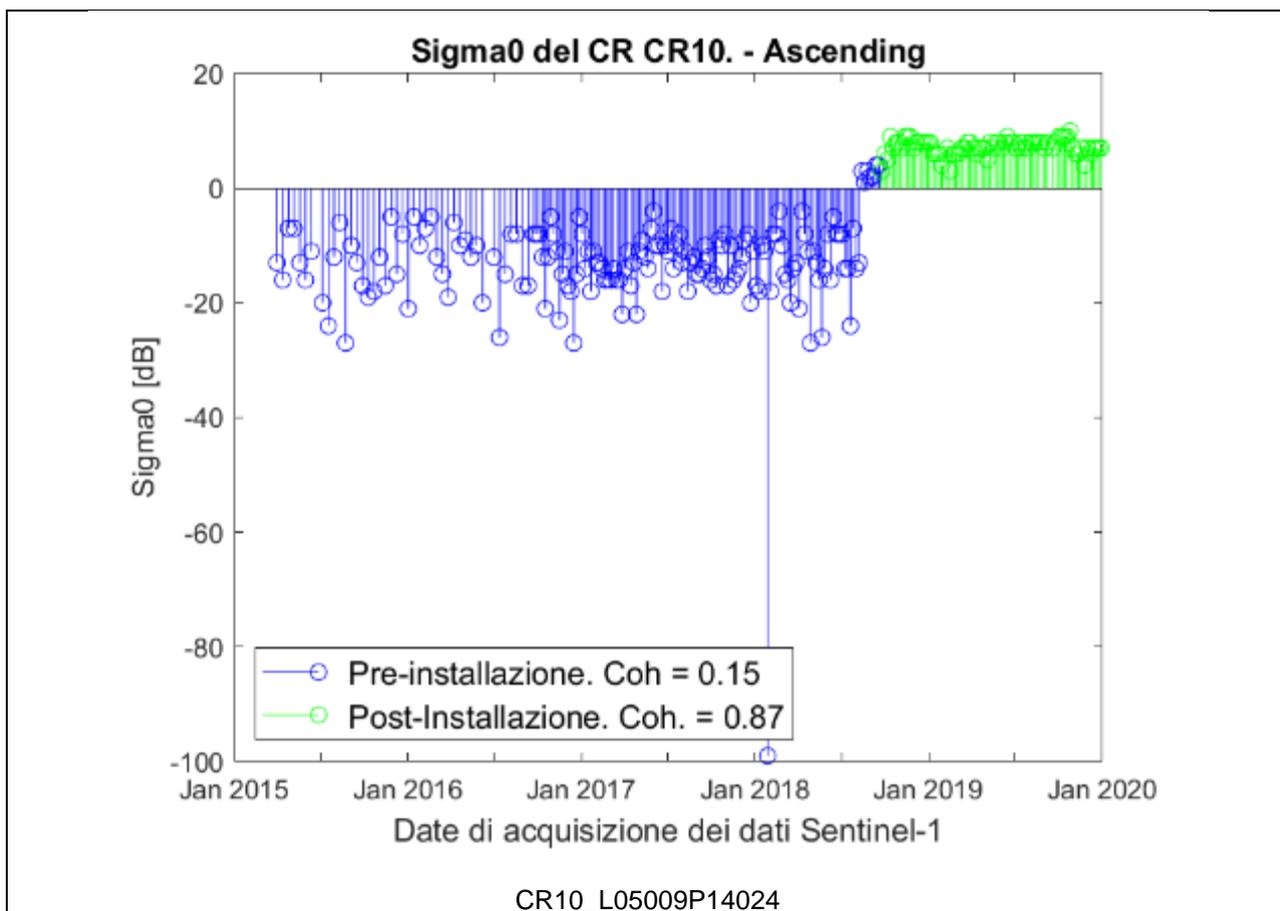


Fig. 0.38: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR10. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.20. Dataset Descending

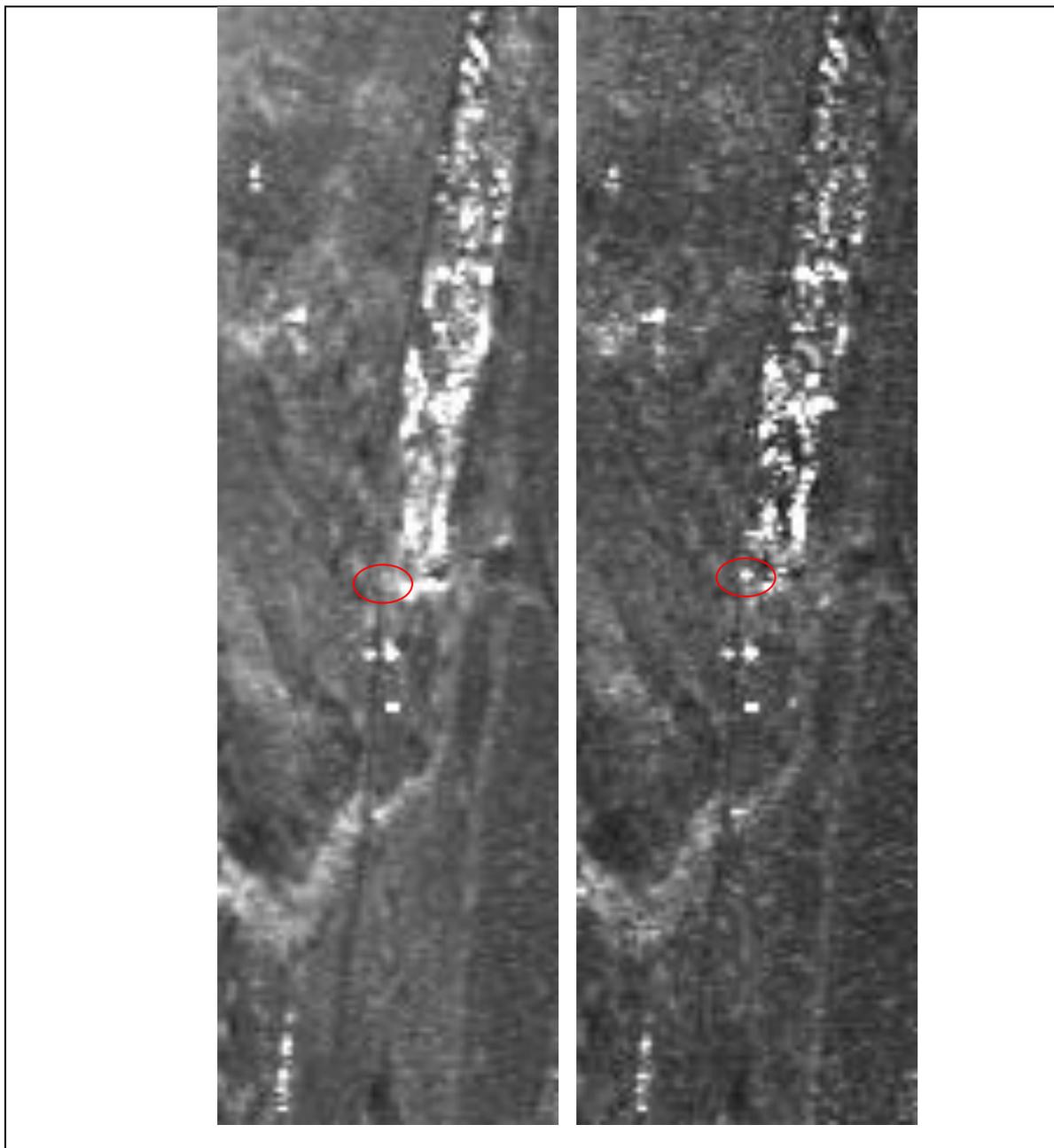


Fig. 0.39: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR10. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

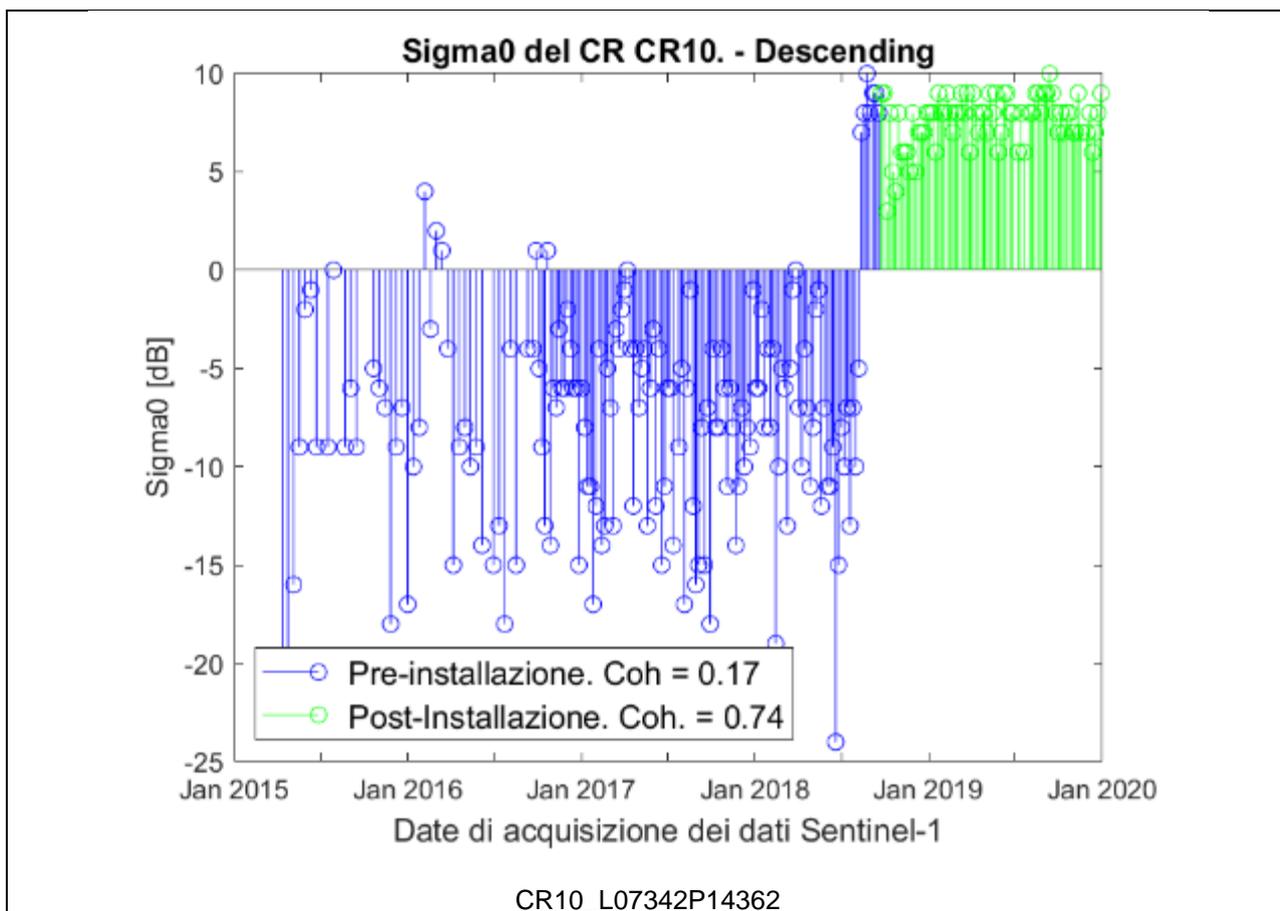


Fig. 0.40: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR10. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

Corner Reflector CR11

1.1.21. Dataset Ascending

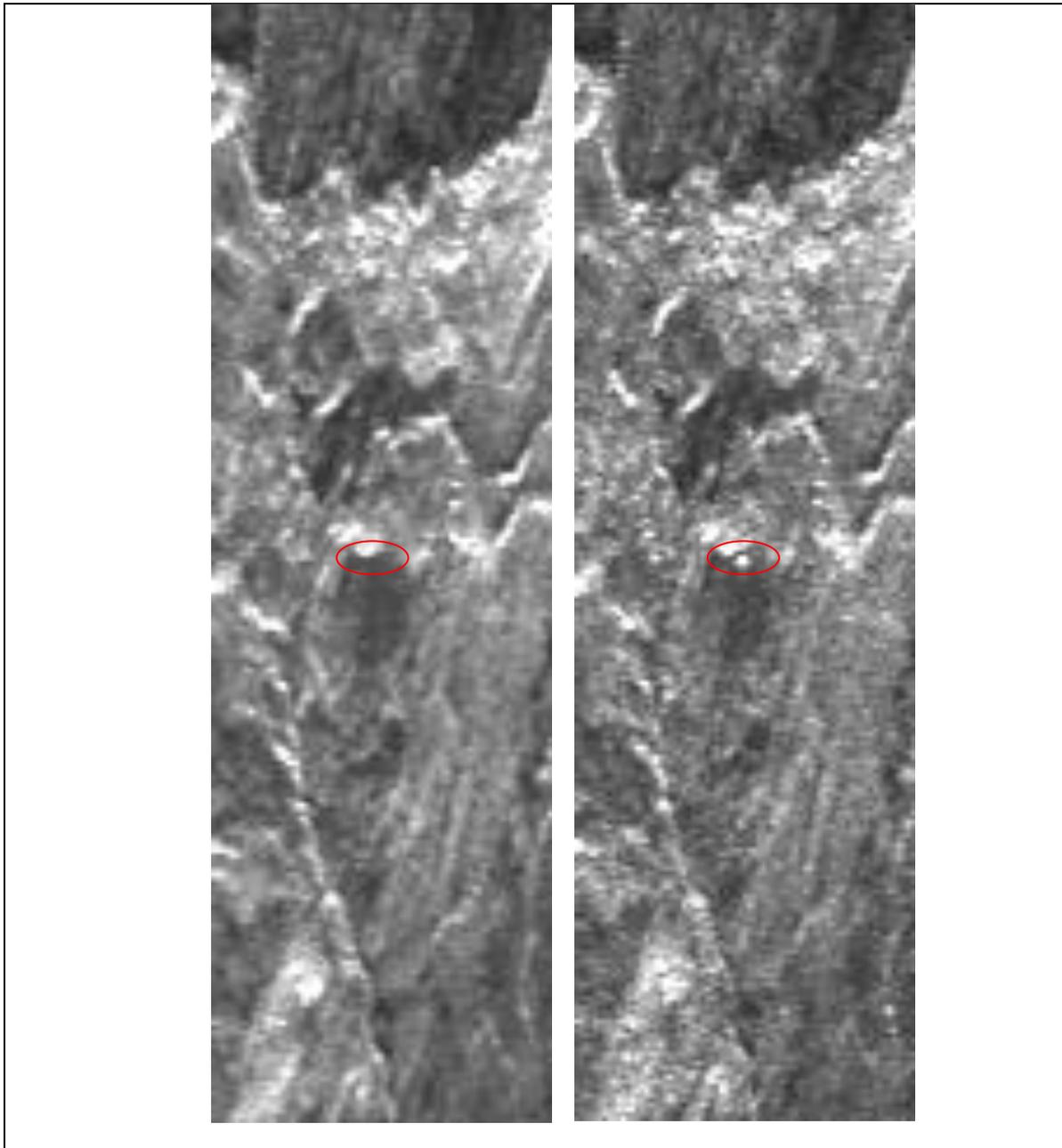


Fig. 0.41: Immagini di intensità in modalità ascending centrate sul corner reflector CR11. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

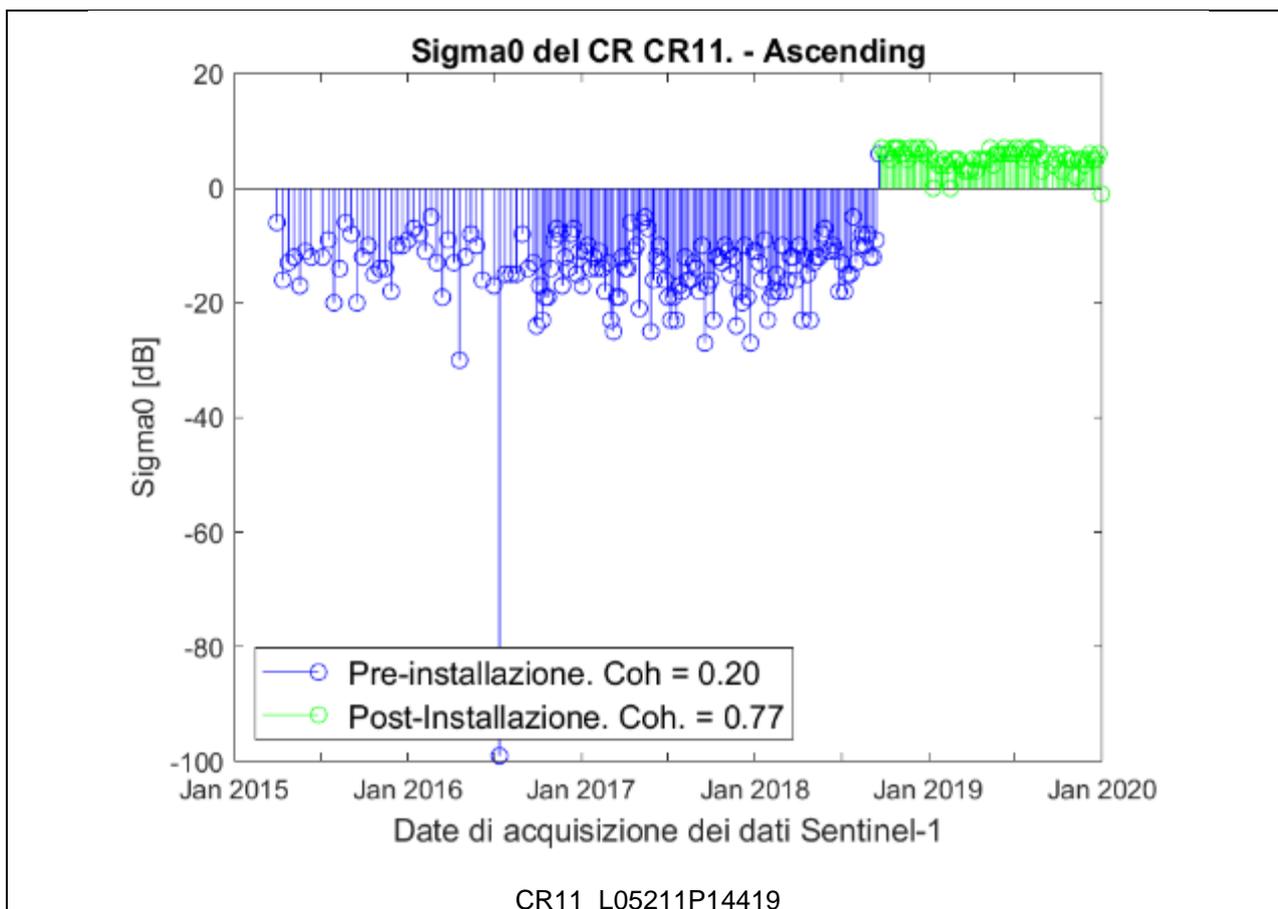


Fig. 0.42: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità ascending) in corrispondenza del corner reflector CR11. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.

1.1.22. Dataset Descending

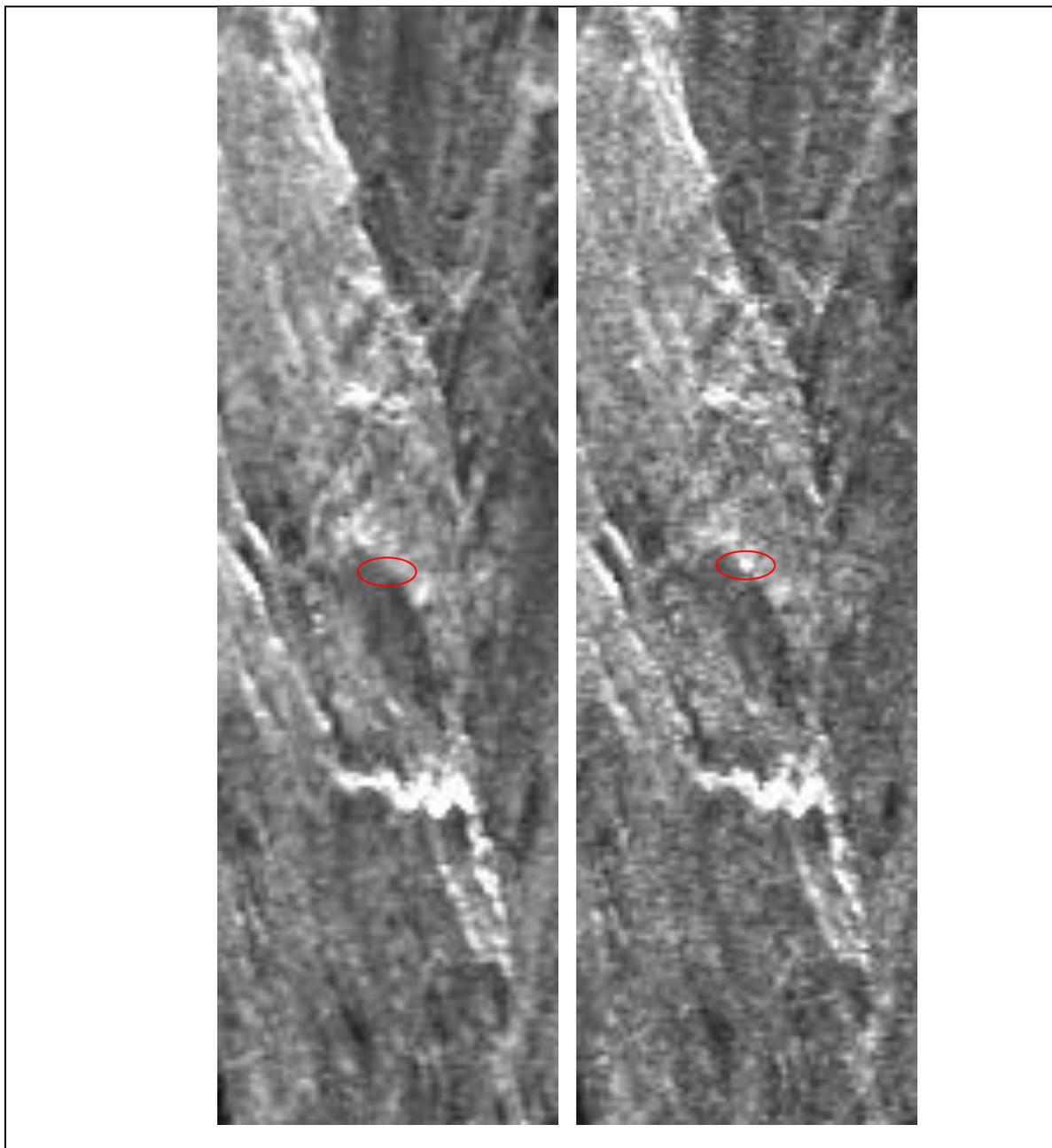


Fig. 0.43: Immagini di intensità in modalità descending centrate sul corner reflector CR11. A sinistra: immagine pre-installazione. A destra: immagine post-installazione. Il cerchio di colore rosso indica la posizione del corner reflector.

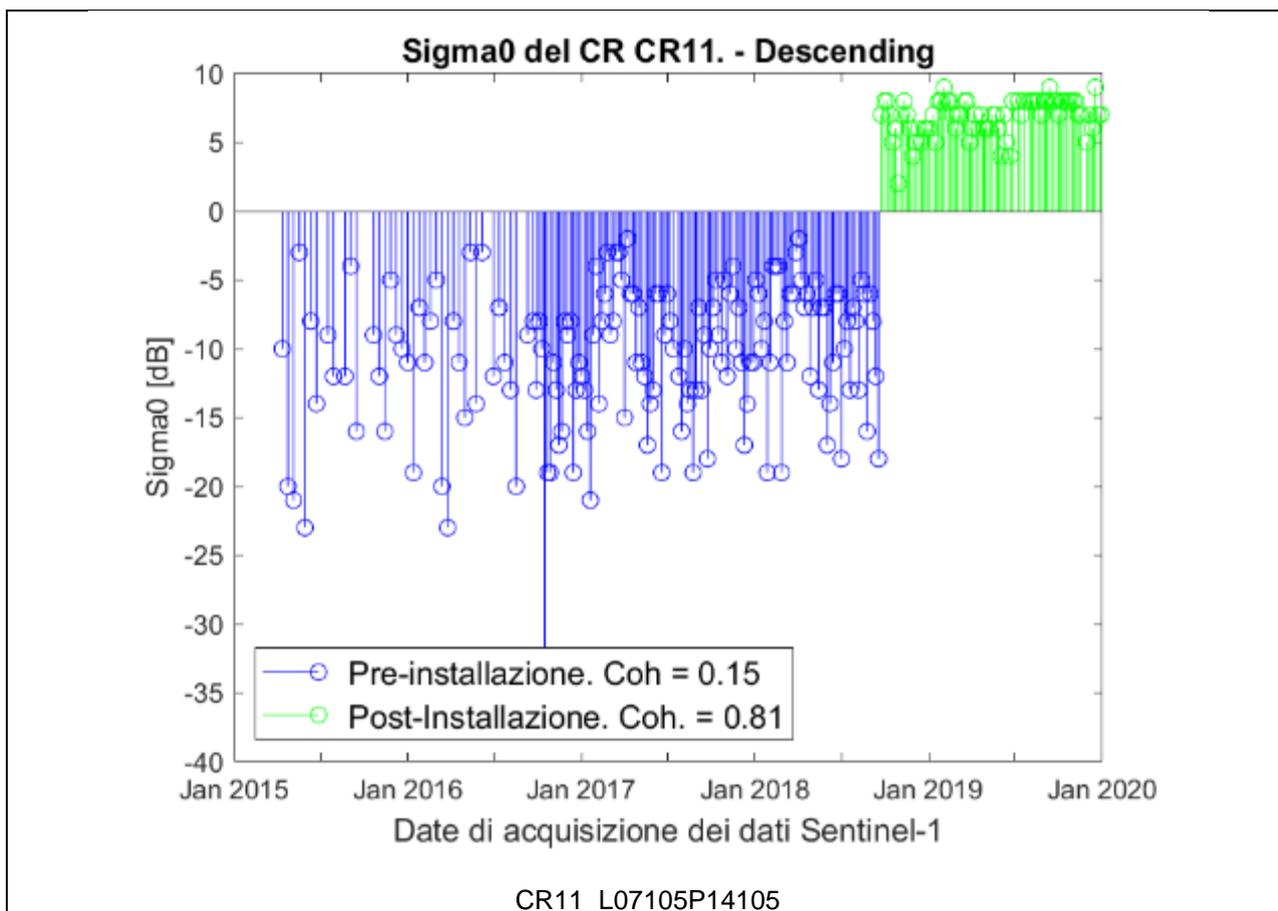


Fig. 0.44: Analisi radiometrica della serie temporale (modalità descending) in corrispondenza del corner reflector CR11. In blu sono indicate le misure pre-installazione. In verde sono indicate le misure post-installazione.