

REGIONE
ABRUZZO



LOCALITÀ
SANTA MARIA
CHIETI

DATA DI EMISSIONE
APRILE '26

RAPPORTO DI MONITORAGGIO

Accordo ex Articolo 15 legge n. 241/1990 tra il Comune di Chieti e l'Università degli Studi di Chieti-Pescara Dipartimento di Scienze - Stato di emergenza in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatesi nei mesi di maggio-giugno 2023 - Supporto tecnico-scientifico per la formulazione di un piano di monitoraggio.

Delibera Giunta Comunale n. 725/2025 trasmessa al Dipartimento di Scienze con protocollo n. 39877 del 6/06/2025

REPORT 1

COMUNE DI CHIETI

C.SO MARRUCINO, 81 66100 CHIETI (CH)

RELAZIONE A CURA DI:

PROF. NICOLA SCIARRA

ORDINARIO DI GEOLOGIA APPLICATA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI "G. D'ANNUNZIO" CHIETI-PESCARA

e-mail: nicola.sciarra@unich.it

GEOL. MASSIMO MANGIFESTA

PHD RESEARCH FELLOW

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI "G. D'ANNUNZIO" CHIETI-PESCARA

e-mail: mmangifesta@unich.it

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| PREMESSA | 3 |
| 1.0 INTRODUZIONE..... | 3 |
| 2.0 PROBLEMATICHE DI FRANOSITÀ..... | 4 |
| 3.0 PERIMETRAZIONI PAI | 9 |
| 4.0 INTERFEROMETRIA SATELLITARE | 11 |
| 5.0 INTEGRAZIONE DEL DATO INTERFEROMETRICO..... | 17 |
| 6.0 ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO SUPERFICIALE | 24 |
| 7.0 ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO PROFONDO | 38 |
| 8.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 47 |

Allegati:

- 1 – Carta della perimetrazione delle zone a differente pericolosità
- 2 – Certificati prove inclinometriche
- 3 – Certificati di calibrazione del tiltmetri
- 4 – Certificati di calibrazione dei piezometri
- 5 – Certificati di linearità dei fessurimetri

LA PRESENTE RELAZIONE È COMPOSTA DA 51 PAGINE E 62 FIGURE

Premessa

In data 06.06.2025 tra il Comune di Chieti ed il Dipartimento di Scienze dell'Università di Chieti-Pescara è stato siglato un Accordo di collaborazione per lo studio delle problematiche di dissesto geo-idrologico della parte nord dell'abitato (zona Santa Maria), in particolare al fine di verificare con un attento e minuzioso lavoro di monitoraggio la reale pericolosità ed il relativo rischio residuo. Il monitoraggio, come da convenzione, sarà protratto per un periodo di ulteriori due anni. Nel seguente rapporto sono riportate le considerazioni sulle criticità riscontrate nel quartiere Santa Maria, basate su dati geognostici e su misure di monitoraggio e redatta una **carta di perimetrazione delle zone di pericolosità** distinta per due differenti classi.

1.0 Introduzione

La problematica riscontrata nel quartiere di Santa Maria nel Comune di Chieti rappresenta un'emergenza critica di rischio idrogeologico urbano. Storicamente, il tessuto cittadino e le sue aree limitrofe sono stati interessati da fenomeni franosi ricorrenti, caratterizzati da un'intensità tale da condizionare significativamente l'evoluzione urbanistica e la sicurezza delle infrastrutture. L'instabilità del versante non è un evento episodico, bensì la manifestazione di un equilibrio già precario dettato dalla complessa interazione tra morfologia, assetto litostratigrafico e soprattutto fattori antropici.

Dal punto di vista geologico, il sottosuolo dell'area urbana è riconducibile a due unità litostratigrafiche principali. Queste formazioni mostrano un'elevata eterogeneità, con variazioni litologiche sia verticali che laterali, influenzando direttamente le proprietà meccaniche dei terreni. Nello specifico, la successione stratigrafica può essere schematizzata (dal basso verso l'alto) da un intervallo Argilloso-Sabbioso (Inferiore), che costituisce la porzione più profonda ed è costituita principalmente da una frazione fina a bassa permeabilità, e da un intervallo Arenaceo-Sabbioso (superiore), spesso rimaneggiato da precedenti movimenti di versante, dove si osserva una transizione verso litotipi a grana più grossolana.

Il passaggio tra i due intervalli non avviene tramite un contatto netto, bensì attraverso una spessa zona di transizione, con un progressivo arricchimento dei termini limoso/argillosi man mano che si scende in profondità. L'assetto litostratigrafico agisce come principale fattore predisponente per la genesi e la riattivazione dei fenomeni di instabilità, a causa di una complessa interazione tra le proprietà idrauliche e meccaniche dei terreni. Il marcato contrasto di permeabilità tra gli orizzonti superficiali e quelli basali determina una circolazione idrica sotterranea complessa. La sovrapposizione di depositi a diversa conducibilità idraulica

favorisce infatti l'instaurarsi di orizzonti acquiferi e falde idriche, le cui sovrappressioni neutre riducono drasticamente le tensioni efficaci lungo i versanti. Tale condizione è aggravata dalla natura della zona di transizione dovuta ad un contatto graduale tra le unità, caratterizzato dall'intercalazione di lenti sabbiose e argillose, che costituisce un elemento di debolezza strutturale predisponente per lo sviluppo di superfici di scorrimento preferenziali. Infine, l'estrema eterogeneità dell'alternanza litologica espone il sistema a una selettiva degradazione delle caratteristiche geomeccaniche. In particolare, a seguito di eventi meteorici intensi o prolungati, si innescano processi di decadimento della resistenza al taglio, portando il pendio, già in condizioni precarie, verso condizioni di equilibrio critico o di rottura incipiente.

2.0 Problematiche di franosità

Gran parte del territorio comunale è stato da sempre oggetto di fenomeni d'instabilità gravitativi con tipologie di movimento non tutte facilmente identificabili. I lineamenti caratteristici come superfici di scorrimento, volumi mobilitati e geometrie di movimento sono molto variabili, poiché variabili sono le cause che innescano ed hanno innescato le frane stesse. La maggior parte di questi fenomeni, sono classificati come scivolamenti roto-traslativi, che sono innescati da un concorso di diversi fattori geologici quali stratificazione in senso verticale e/o orizzontale, caratteristiche meccaniche dei terreni interessati, circolazione idrica sotterranea, oltre che da una forte acclività dei versanti e, in alcuni casi, anche da fattori antropici.

Molti degli edifici presenti nell'area del quartiere di Santa Maria (es. Via Don Minzoni, Via Arenazze e Viale Gran Sasso) presentano evidenti lesioni strutturali che in alcuni casi hanno comportato anche lo sgombero di interi condomini. Le lesioni sono presenti principalmente su strutture molto alte a più piani, ma in alcuni casi anche su strutture più basse e leggere. Nei pressi della spalla a monte del viadotto di Viale Gran Sasso, durante la campagna geognostica del 2023 è stato posizionato un inclinometro in prossimità delle scuole Corradi (lungo Viale Gran Sasso) con una profondità pari a 40 metri dal piano campagna, (l'ubicazione della posizione è mostrata nella figura successiva). L'inclinometro è stato installato nel febbraio 2023 e già dalle prime letture è evidente la presenza di una deformazione importante a circa 22.0 metri dal piano campagna. Si registrano 2.4 mm nella lettura del 21/04/2023 e 5.6 mm il 19/05/2023. Nei grafici successivi si riportano le elaborazioni delle risultanti per punti e per sommatoria. Inoltre, dal grafico polare, si registra un orientamento Nord Nord-Est del movimento, quindi circa

sull'allineamento del viadotto lungo Viale Gran Sasso. Ad oggi l'inclinometro risulta non più leggibile a causa dell'eccessiva deformazione del tubo guida.

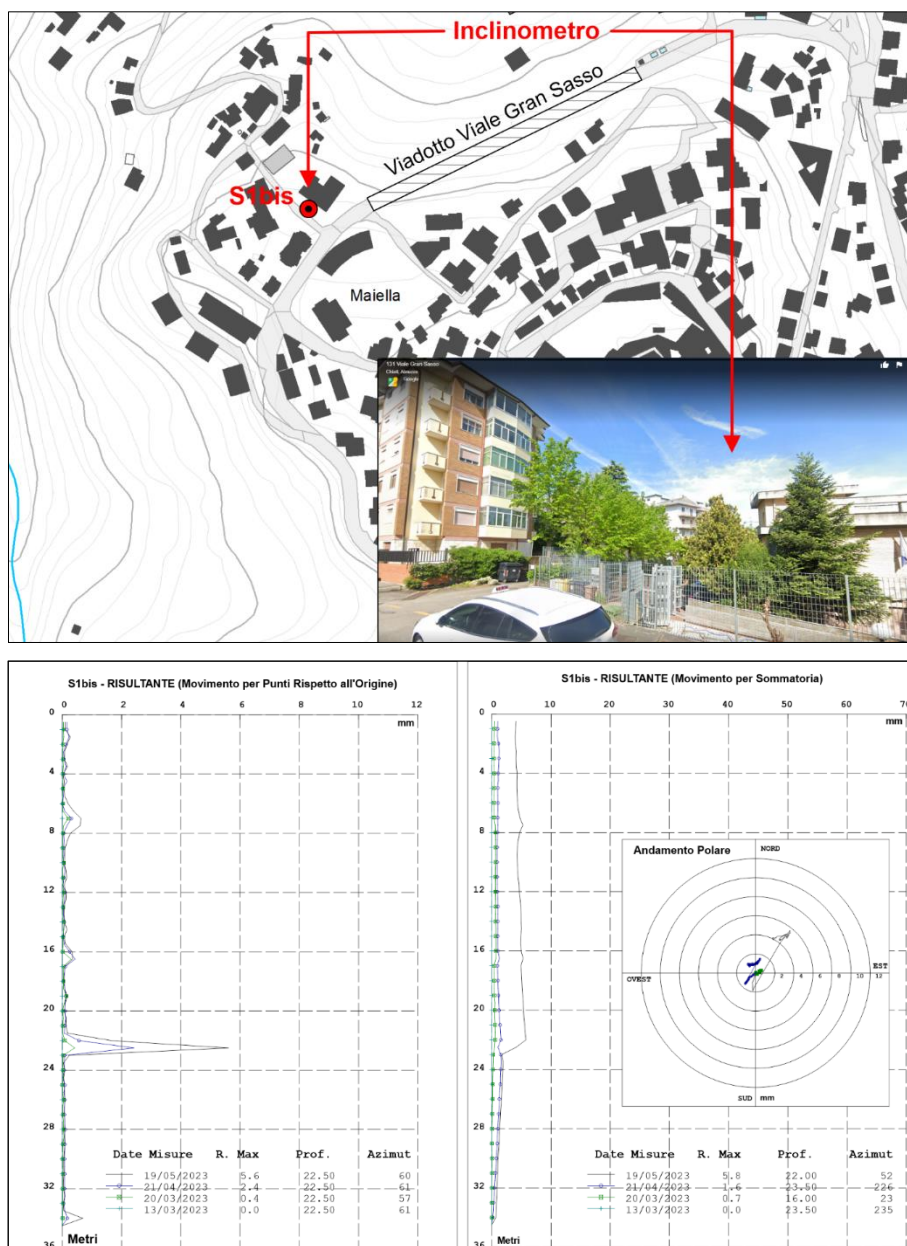


Figura 1 – Inclinometro scuole Corradi. Campagna geognostica 2023.

Sul lato fronte strada di Viale Gran Sasso, in corrispondenza del condominio al civico 121, nonostante i vari interventi di sistemazione, si continua a manifestare un significativo avvallamento del manto stradale. Parallelamente, sulla stessa via, è ben evidente un'importante fenditura che ha interessato la pavimentazione e il piazzale di una pertinenza privata. Questo fenomeno fessurativo presenta una preoccupante continuità, in quanto ha compromesso in modo significativo il muro di cinta (sia nella

sua porzione posteriore che in quella anteriore) della proprietà privata. Inoltre, la lesione prosegue il suo sviluppo verso monte, attraversando la sede stradale di Viale Gran Sasso e intercettando la struttura posta di fronte al civico 126 (ad oggi evacuata), suggerendo che la causa scatenante sia un fenomeno di natura geologica a scala molto ampia. La gravità della situazione è ulteriormente confermata dalle evidenze riscontrate sulla struttura al civico 121. L'edificio manifesta una evidente perdita di verticalità, indicando una significativa rotazione in direzione Nord-Est (visibile anche ad occhio nudo) dovuta al movimento del terreno sottostante.



Figura 2 – Individuazione della fenditura presente sul terreno.



Figura 3 – Condominio al civico 121 ed evidente rotazione

Le indagini dirette eseguite anche tramite un sondaggio nei pressi delle scuole Corradi hanno permesso di caratterizzare nel dettaglio la transizione litologica. Nella

figura 4 si evidenzia un elemento di particolare criticità tra le profondità di 15.40 m e 19.50 m dal piano campagna per la presenza di sabbie sciolte intercalato tra unità di limi argillosi e sabbiosi marcatamente più consistenti, creando una netta variazione di rigidezza e resistenza all'interno della colonna stratigrafica; trend confermato anche in altre zone dell'area.

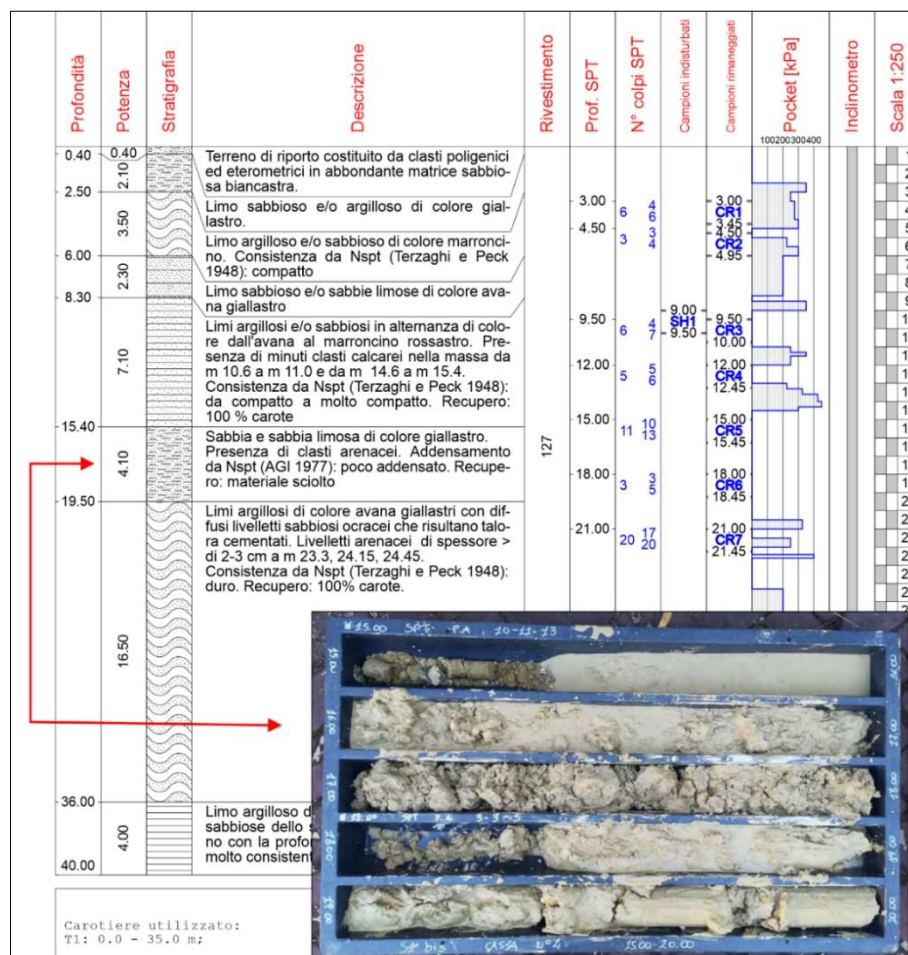


Figura 4 – Log stratigrafico sondaggio S1Bis (campagna indagini 2023).

L'evoluzione deformativa si presenta caratterizzata da una franosità complessa abbastanza lenta nel tempo ma continua. Il fenomeno tende a riattivarsi nei periodi di massima intensità piovosa dovuta ad una circolazione idrica nel complesso sabbioso regolato anche dalla presenza di abbondante materiale limoso che spesso isola interi livelli di sabbie sciolte. Infatti, i dati estrapolati dall'inclinometro posizionato in prossimità della spalla alta del viadotto hanno evidenziato una correlazione significativa con i dati pluviometrici raccolti nei mesi di aprile e maggio 2023. Il repentino peggioramento risulta coincidente con gli eccezionali eventi pluviometrici che hanno interessato l'area nel periodo di misura, suggerendo una chiara risposta

idrogeologica del corpo di frana all'infiltrazione e all'aumento della pressione interstiziale indotti dalle precipitazioni intense.

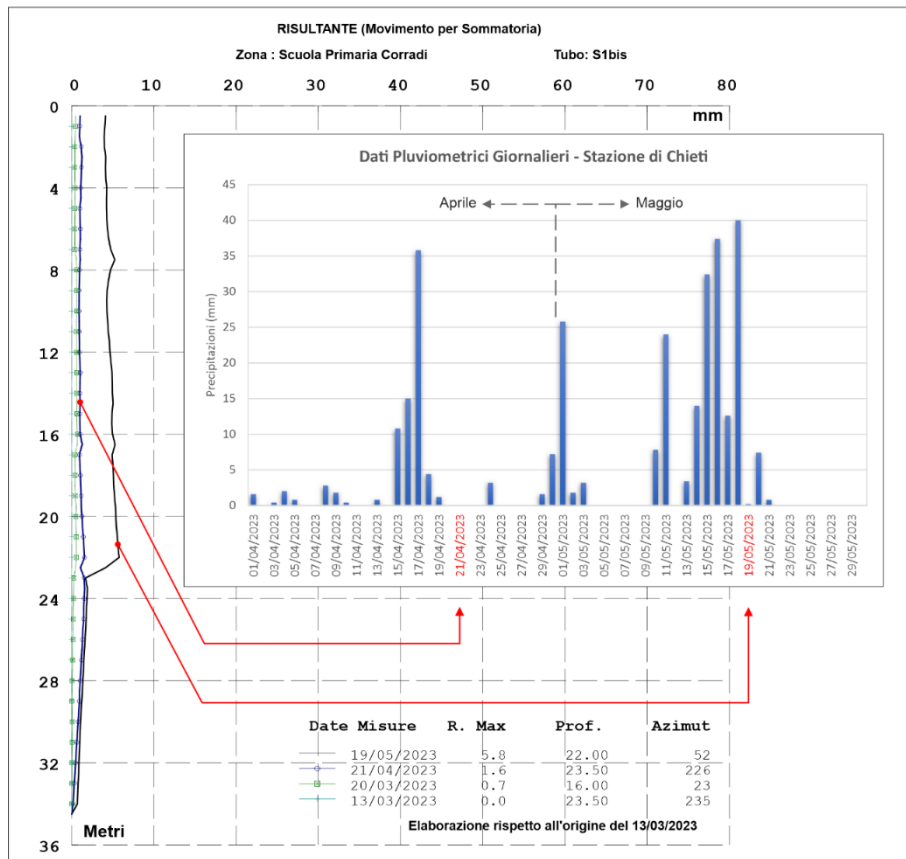


Figura 5 – Correlazione letture inclinometriche e dati pluviometrici

Analizzando attentamente i dati inclinometrici si evidenzia una netta fase di accelerazione che, in corrispondenza degli eventi piovosi più intensi, genera una velocità media pari a circa 0,15 mm/giorno, circa 5 volte rispetto al periodo precedente. È bene evidente un corpo di frana profondo (circa 22 m) la cui criticità è strettamente legata alla saturazione dei terreni. Sebbene l'entità assoluta degli spostamenti possa sembrare piccola, la rapidità d'incremento della velocità a seguito di piogge intense suggerisce una elevata sensibilità del sito a eventi meteorici prolungati, rendendo necessaria la prosecuzione del monitoraggio in continuo.

Considerazione analoghe, spostandosi lungo il viadotto lato Tricalle. Nelle immediate vicinanze dell'appoggio del viadotto, è stato reperito un inclinometro installato nel 2019 (S3) e, ad oggi anch'esso non è più utilizzabile a causa della rottura del tubo-guida a circa 13 metri di profondità. Nell'area subito a monte, le evidenze sui fabbricati sono notevoli sia in via Don Minzoni e sia in via Fonte Vecchia. Molti di questi sono stati dichiarati inagibili o già abbattuti a causa dell'importante quadro

fessurativo presente sia internamente che esternamente (es. Condominio Miravalle, palazzine A e B).



Figura 6 – Evidenze di criticità nell'area di Santa Maria.

3.0 Perimetrazioni PAI

Il Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi" è stato redatto secondo il quadro normativo: L. 183/1989 e del D.L. 180/1998. La Legge definisce il Piano di Bacino come "piano territoriale di settore e strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato". Il Piano PAI, focalizzato sui "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi", rappresenta, quindi, uno strumento fondamentale per la prevenzione del rischio idrogeologico. Nel contesto dell'area di Chieti, la gestione di tali criticità ricade sotto la competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (AUBAC). L'AUBAC coordina oggi la pianificazione per l'intero Distretto dell'Appennino Centrale. L'obiettivo primario dell'AUBAC attraverso il PAI è il raggiungimento di un quadro conoscitivo dinamico. Questo permette di valutare la naturale evoluzione geomorfologica del territorio in relazione alla sicurezza degli insediamenti e delle infrastrutture. L'intervento dell'AUBAC, nel territorio di Chieti è determinante per:

- **Monitoraggio attivo:** Aggiornamento costante delle perimetrazioni delle aree a pericolosità da frana.
- **Vincoli urbanistici:** Definizione delle zone di inedificabilità o di trasformazione vincolata per prevenire l'incremento del valore dell'esposizione (E) in aree già intrinsecamente pericolose.
- **Interventi strutturali:** Programmazione di opere di consolidamento e regimazione delle acque superficiali per mitigare la pericolosità (P).

Il versante nord della collina teatina è descritto come interessato da un fenomeno di dissesto idrogeologico di vasta scala, che ha portato l'area a essere classificata con i massimi livelli di pericolosità e rischio nel PAI. L'AUBAC, nel recepire e aggiornare il PAI (ex Autorità di Bacino Regionale Abruzzo), ha inserito l'area di Santa Maria in una perimetrazione a Pericolosità Molto Elevata (P4) e Rischio Molto Elevato (R4).



Figura 7 – Stralcio della carta del Rischio da Frana (Fonte: AUBAC).

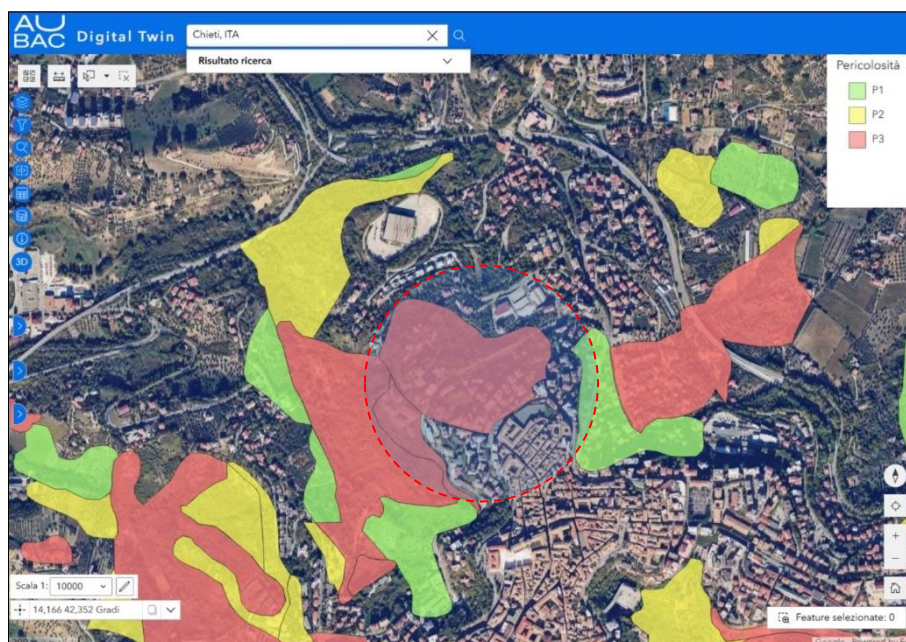


Figura 8 – Stralcio della Carta della Pericolosità da frana (Fonte: AUBAC).

4.0 Interferometria satellitare

La prima analisi della dinamica superficiale dell'area è stata eseguita avvalendosi dei dati forniti dall'European Ground Motion Service (EGMS). Il progetto è parte integrante del servizio europeo di monitoraggio del territorio di Copernicus (Copernicus Land Monitoring Service) il cui obiettivo è fornire dati geografici aperti e gratuiti sullo stato della superficie terrestre.

Il servizio si basa sull'elaborazione interferometrica multi-temporale (Interferometric Synthetic Aperture Radar) delle immagini radar acquisite dalla costellazione Sentinel (Sentinel-1) operanti in banda C.

Nello specifico, la tecnologia InSAR sfrutta la differenza di fase tra segnali radar acquisiti in tempi diversi per identificare spostamenti millimetrici lungo la linea di vista del satellite (Line of Sight - LOS). Attraverso la misurazione dettagliata della differenza di fase tra acquisizioni successive, è possibile ricostruire lo spostamento dei bersagli lungo la linea di vista del satellite (Line of Sight - LOS) con un'accuratezza millimetrica. Il cuore del sistema risiede nell'identificazione dei Persistent Scatterers (PS), ovvero punti di misura a terra stabili in fase e ampiezza che agiscono come sensori naturali distribuiti sul territorio. Il sistema opera attraverso un trasmettitore satellitare che illumina il territorio con onde elettromagnetiche; quando queste incontrano gli oggetti al suolo, subiscono un fenomeno di scattering che ne riflette una parte verso il ricevitore di bordo. Misurando con precisione il ritardo temporale tra l'emissione e la ricezione del segnale, è possibile localizzare i bersagli a terra con accuratezza centimetrica. Il monitoraggio della superficie terrestre è garantito dalla combinazione tra il moto orbitale del satellite e la rotazione terrestre, che permette di generare scansioni secondo due diverse geometrie di acquisizione:

- Ascendente, con passaggi da Sud verso Nord
- Discendente, con passaggi da Nord verso Sud

Questa combinazione offre così una doppia prospettiva d'osservazione del fenomeno e una miglior precisione nei risultati.

L'impiego dei dataset EGMS nell'analisi dei fenomeni di instabilità di versante è adatto a caratterizzare l'evoluzione delle frane a cinematica lenta. Grazie alla disponibilità di serie temporali storiche con acquisizioni ogni 6 o 12 giorni, è possibile ricostruire l'evoluzione dei dissesti, identificando eventuali tendenze di accelerazione o variazioni stagionali correlate ai regimi pluviometrici.

Le immagini delle figure successive mostrano i risultati elaborati per l'area di Chieti sia per la componente Ascendente e sia per la componente Discendente.

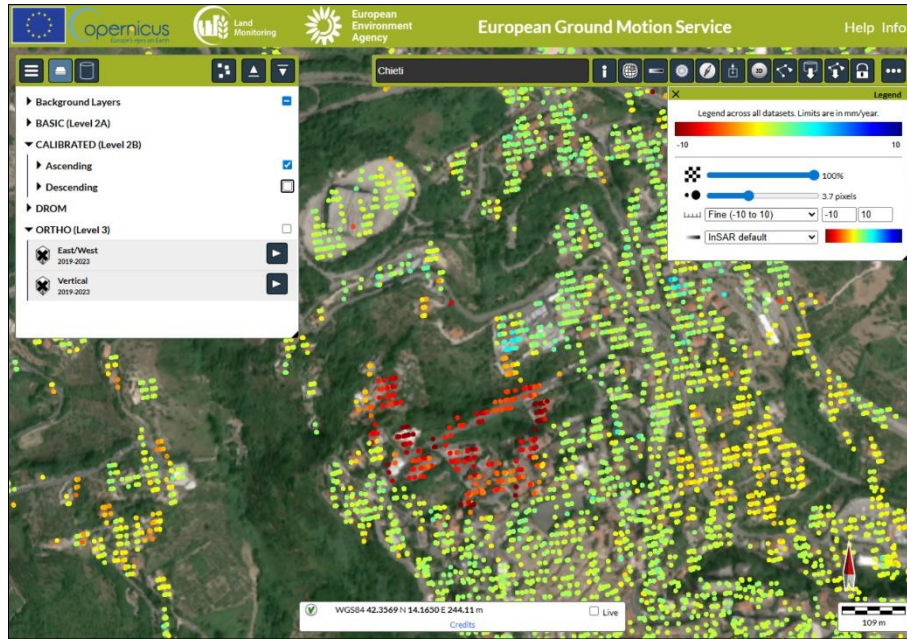


Figura 9 – Persistent Scatterer individuati nella fase orbitale Ascendente.

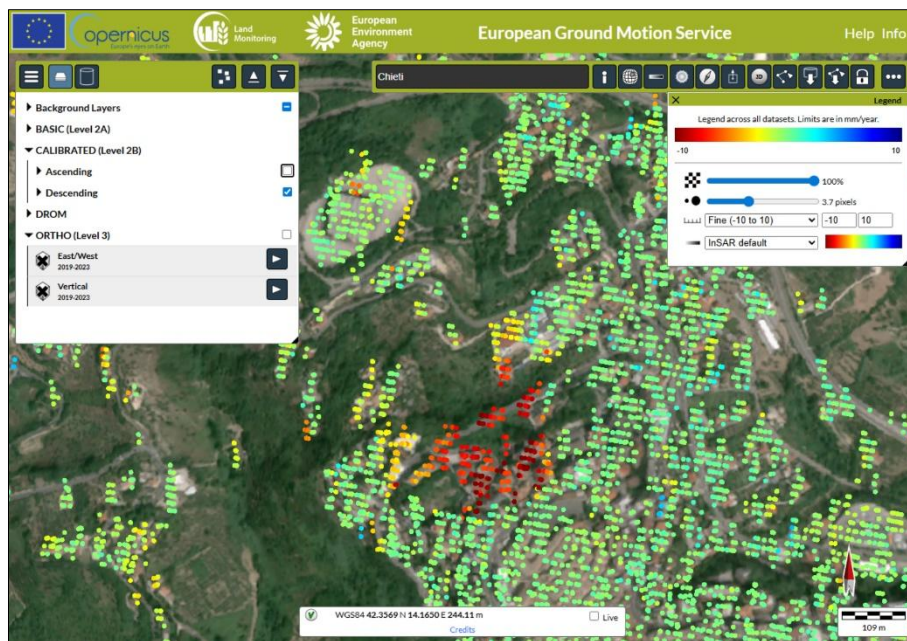


Figura 10 – Persistent Scatterers individuati nella fase orbitale Discendente.

Al fine di superare i limiti geometrici della singola acquisizione, i dati derivanti dalle singole orbite (Ascendente e Discendente) sono stati combinati su una griglia regolare. Questa procedura di resampling è propedeutica alla combinazione dei risultati, in quanto permette di associare ad ogni cella della griglia i valori di velocità misurati da entrambe le direzioni di osservazione. Poiché il satellite misura esclusivamente la proiezione dello spostamento lungo la linea di vista (LOS), la reale

cinematica del suolo può essere ricostruita con precisione solo attraverso la combinazione delle due geometrie orbitali. Nello specifico, utilizzando le rispettive mappe degli angoli di incidenza (ϑ) del fascio radar, la procedura permette di isolare la componente verticale (Up-Down) del movimento e la componente orizzontale (Est-Ovest) del movimento.

L'analisi dei dati EGMS (European Ground Motion Service) per l'area di Chieti, permette di passare da una valutazione qualitativa del dissesto a una quantificazione cinematica rigorosa. L'immagine di figura 11 mostra i risultati (EGMS) focalizzandosi sull'area di Santa Maria, con evidenti indicatori di movimenti verticali.

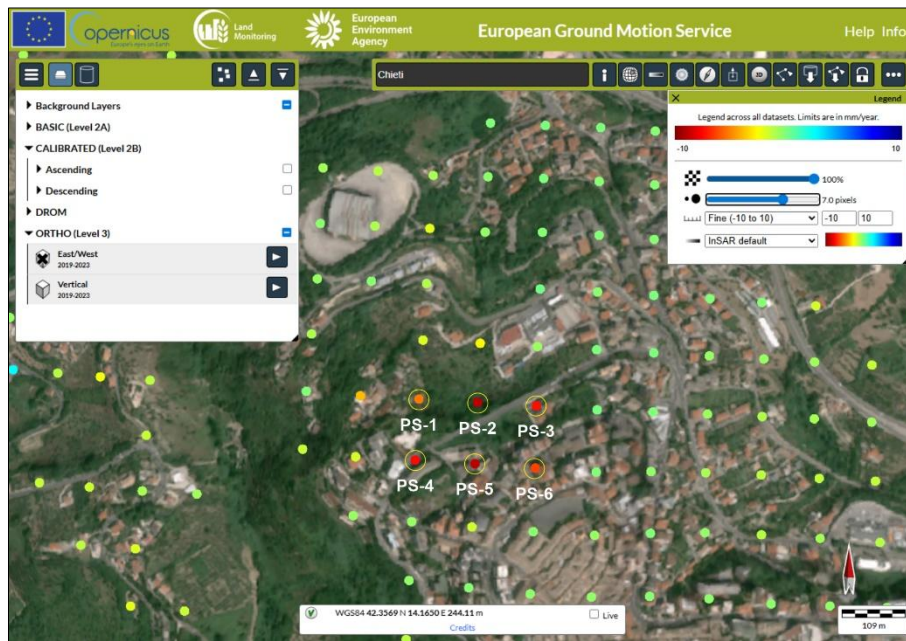


Figura 11 – Persistent Scatterer individuati come combinazione delle due orbite.

La velocità media di spostamento è poco meno di 10 mm/anno in zone di massima criticità indica un fenomeno di deformazione lenta. La densità e l'omogeneità cromatica dei punti PS tra via Arenazze, via Don Minzoni, via Fonte Vecchia e viale Gran Sasso mostra un movimento coerente con lo stato attuale dei luoghi. Da un'analisi tecnica si evidenzia un forte gradiente di velocità (brusca variazione di colore tra i punti stabili in verde e quelli in rosso instabili) tipico di movimenti deformativi ben marcati. Il meccanismo di instabilità è confermato sia da fattori geologici (pendenze elevate e litologie suscettibili) e sia da fattori idrogeologici. La persistenza di una marcata colorazione rossa dei PS nel periodo 2019-2023 indica che il fenomeno è in una fase di stato attivo continuo, privo di periodi di quiescenza significativi.

Per una più precisa analisi si sono elaborate puntualmente le misure di spostamento nel tempo per: PS-1, PS-2, PS-3, PS-4, PS-5 e PS-6. Le immagini successive mostrano lo spostamento verso il tempo.

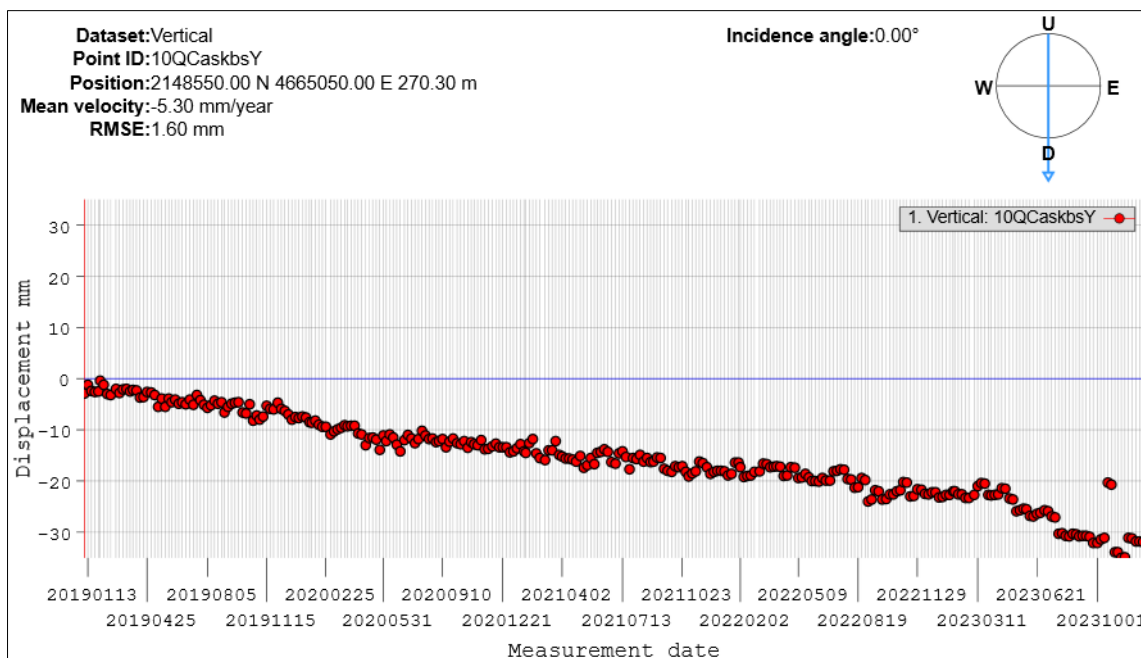


Figura 12 – Andamento della velocità di spostamento verticale del PS-1.

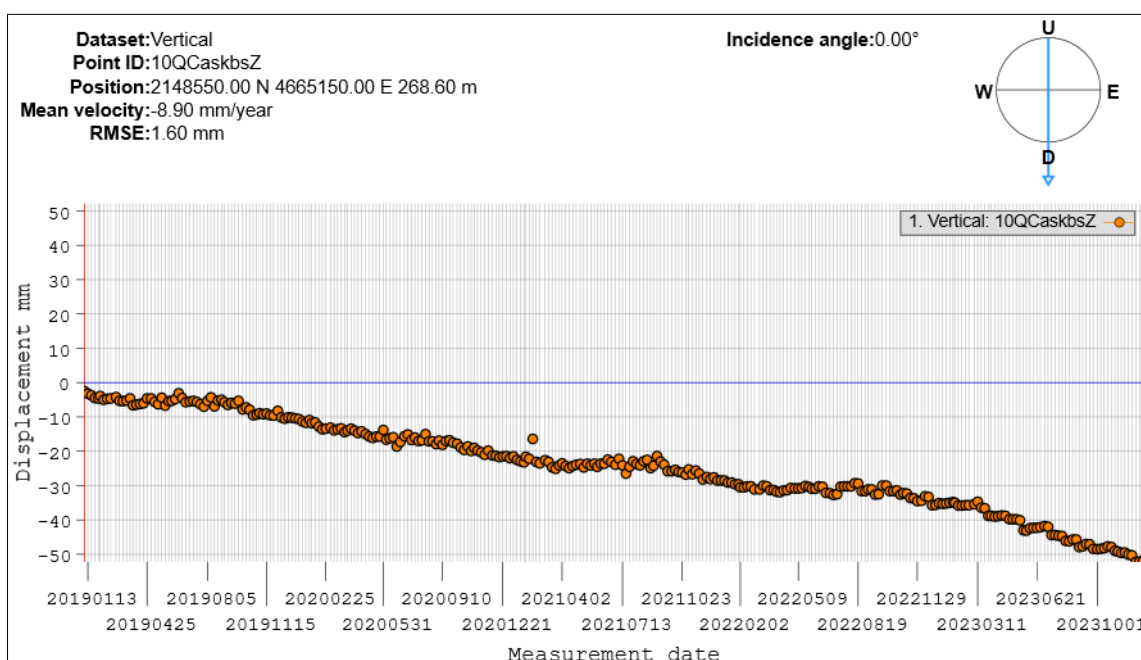


Figura 13 – Andamento della velocità di spostamento verticale del PS-2.

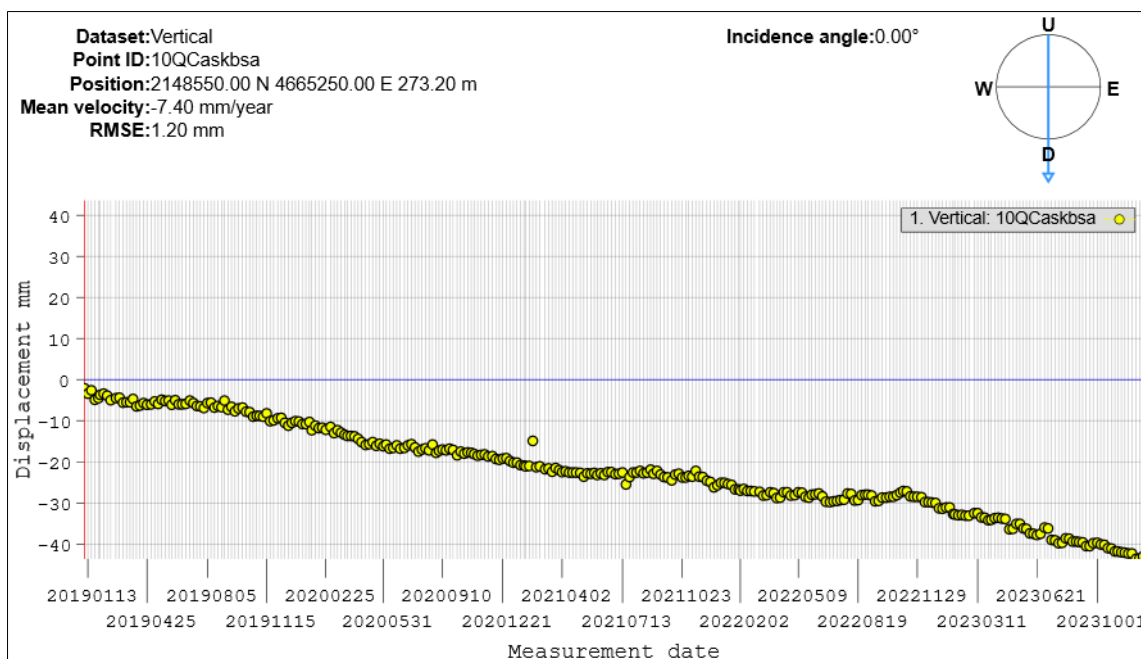


Figura 14 – Andamento della velocità di spostamento verticale del PS-3.

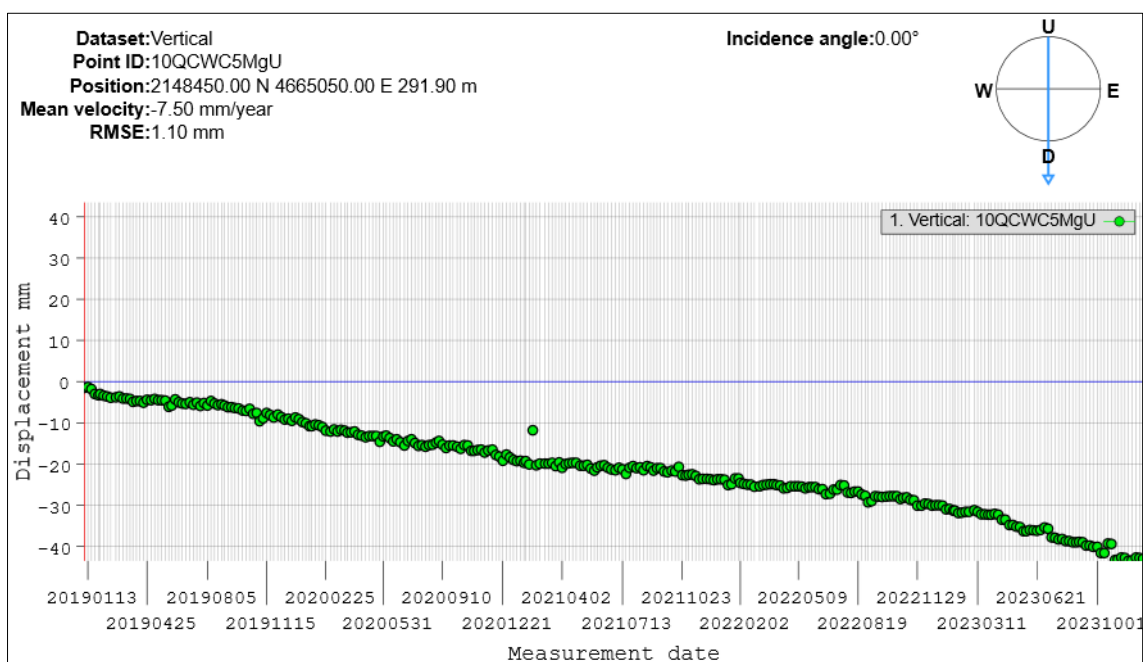


Figura 15 – Andamento della velocità di spostamento verticale del PS-4.

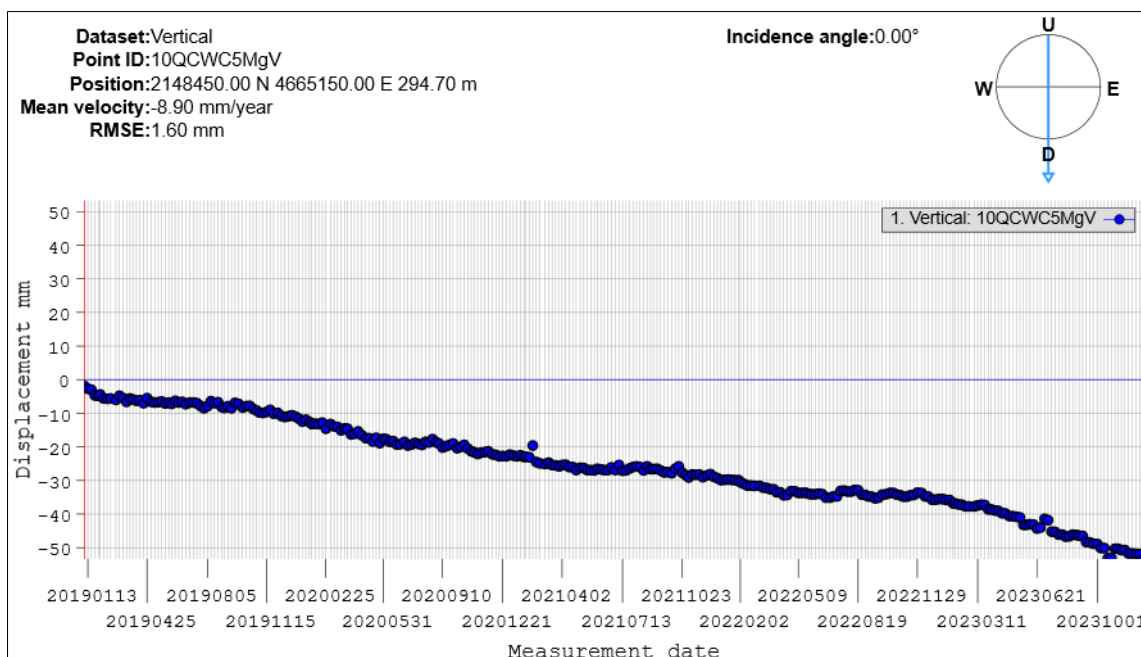


Figura 16 – Andamento della velocità di spostamento verticale del PS-5.

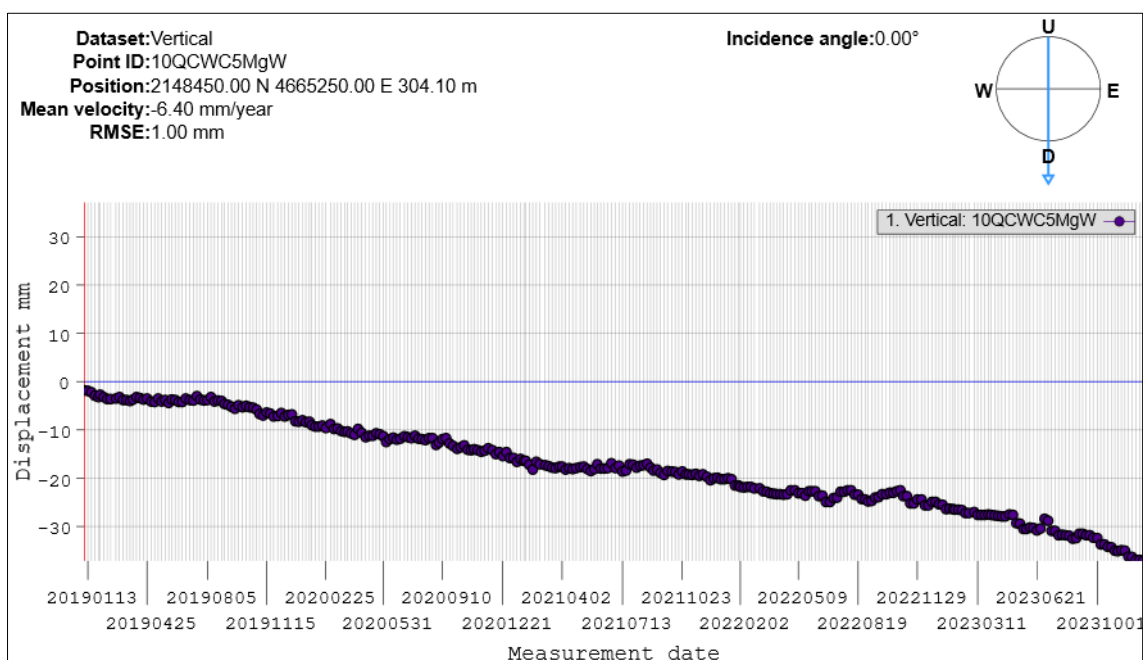


Figura 17 – Andamento della velocità di spostamento verticale del PS-6.

L'analisi delle serie temporali indica un fenomeno di deformazione progressiva e lineare che interessa l'intera area monitorata (tab 1).

Table 1 - Analisi dei Dati per Punto di Misura (PS)

| ID | Point ID | Velocità Media (mm/anno) | Spostamento Totale Cumulato | Stabilità (RMSE) |
|------|------------|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| PS-1 | 10QCaskbsY | -5.30 | > -35 mm | 1.60 mm |
| PS-2 | 10QCaskbsZ | -8.90 | > -50 mm | 1.60 mm |
| PS-3 | 10QCaskbsa | -7.40 | > -40 mm | 1.20 mm |
| PS-4 | 10QCWC5MgU | -7.50 | > -40 mm | 1.10 mm |
| PS-5 | 10QCWC5MgV | -8.90 | > -50 mm | 1.60 mm |
| PS-6 | 10QCWC5MgW | -6.40 | > -35 mm | 1.00 mm |

I valori di RMSE (Root Mean Square Error) oscillano tra 1.00 mm e 1.60 mm ad indicare una qualità del dato molto alto (errore molto basso), e una buona affidabilità dei PS, con un trend marcatamente lineare che suggerisce un processo di deformazione lento e costante. I dati mostrano una velocità critica, con picchi di circa -8.9 mm/anno, con uno spostamento cumulato superiore ai 5 cm in meno di 5 anni.

5.0 Integrazione del dato interferometrico

Sull'area in esame è stata eseguita un'analisi interferometrica di dettaglio al fine di integrare i dati EGMS esistenti fino a fine 2025. I dati sono resi disponibili dalla commissione europea (CE) e dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) che hanno istituito il programma Copernicus in grado di fornire dati in modo continuativo dal 2014.

L'elevata risoluzione spaziale e le orbite sempre più precise, rendono la costellazione Sentinel-1 di largo utilizzo in quanto in grado di indagare su di una varietà di fenomeni, tra cui lo spostamento superficiale utilizzando la tecnica "Interferometric Synthetic Aperture Radar" (InSAR). Per l'acquisizione delle scansioni radar si è scelto di lavorare con il progetto "Alaska Satellite Facility" che è parte del Geophysical Institute of Alaska University del Fairbanks, situato nel campus di Troth Yehhda (Fig. 18). Il progetto Vertex Data elabora, archivia e distribuisce i dati di telerilevamento tramite un portale web user-friendly in grado di snellire il download massivo dei dati in funzione delle aree e dei filtri di ricerca impostati (date temporali, tipologia, polarizzazione, direzione orbitale, ecc.).



Figura 18 – Esempio di scansioni radar per la fase discendente.

Dopo l’acquisizione delle scansioni radar si è scelto di trattarle in SNAP (*Sentinel Applications Platform*) un toolbox open source messo a disposizione dall’ESA (European Space Agency) in grado di gestire, analizzare e processare i dati ottici con una serie di plug-in funzione del fenomeno osservato. Lo scopo del lavoro è stato quello di individuare e analizzare la distribuzione dei Persistent Scatterers rintracciabili (PS: pixel che durante le diverse acquisizioni mantengono una risposta stabile e possono essere per questo utilizzati come riferimento per valutare l’evoluzione dinamica della superficie terrestre). Per quest’ultima fase si è scelto di utilizzare il metodo StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers), relativo ad un pacchetto software per estrarre gli spostamenti del suolo da serie temporali di acquisizioni radar ad apertura sintetica SAR (*Hooper A, Bekaert D, Spaans K & Arikian M (2012): Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation, Tectonophysics*).

Grazie all’utilizzo di bersagli radar, costituiti da diffusori permanenti (Persistent Scatterers-PS) che mantengono una fase stabile in tutte le scansioni temporali delle aree, è possibile misurare gli spostamenti del terreno sfruttando la variazione di fase (determinata dalla distanza sensore-bersaglio) e l’ampiezza del segnale riflesso dal bersaglio.

Tramite il portale del Geophysical Institute of Alaska Fairbanks University) sono state estrapolate tutte le scansioni radar dal 01/01/2022 al 31/12/2025 con un passo temporale di circa 12gg e una perpendicolarità ± 100 .

La ricerca è stata eseguita sia per la fase orbitale Ascendente sia per quella Discendente, e i dati sono stati elaborati al fine di definire l’andamento delle velocità

di deformazioni Up-Down del territorio. Per le analisi sono state utilizzate scansioni radar con le seguenti caratteristiche:

- Relative Orbit Number: **1-175**
- Orbit Direction: **Ascendine [scansioni elaborate 95]**
- Orbit Direction: **Descending [scansioni elaborate 91]**
- Begin Position: **01/01/2022 to 31/12/2025**
- Platform Name: **Sentinel-1**
- Sensor Operational Mode: **Interferometric Wide**
- Product Type: **L1 Single Look Complex**
- Polarisation Mode: **Vertical**

Per ogni interferogramma (Fig. 19), è stata estrapolata solo la porzione dell'area d'interesse, e per essa sono stati individuati solo i bersagli che restituiscono una fase stabile su tutte le scansioni.

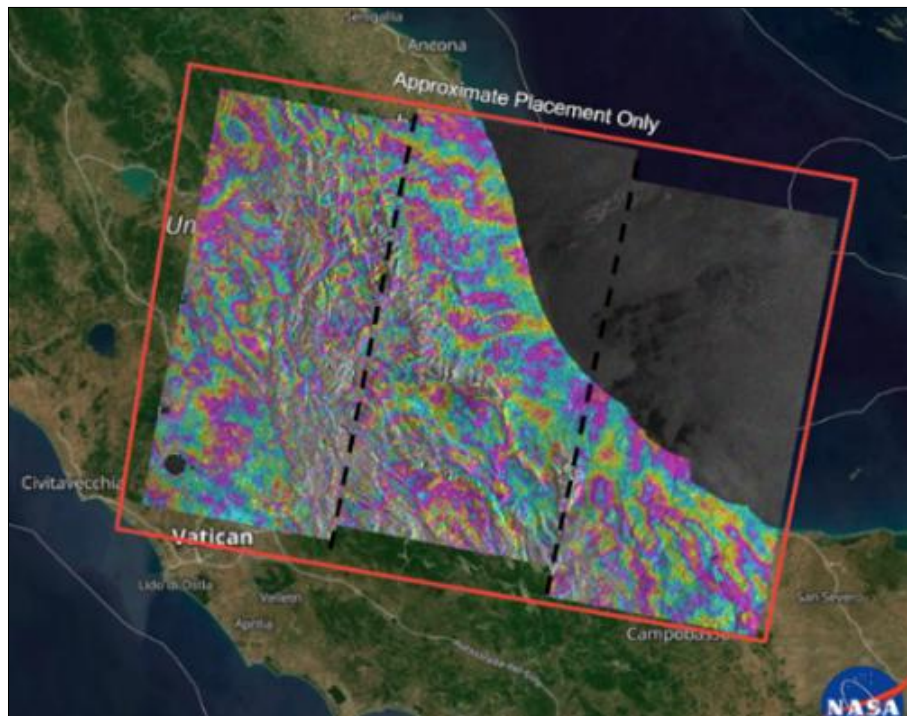


Figura 19 – Schema di interferogramma utilizzata per l'area di analisi.

Di questi, calcolando l'andamento nel tempo, si sono registrate le massime velocità di deformazione lungo la linea di vista del satellite (LOS – Line of Sight), e successivamente, sono stati estrapolati su di una griglia comune a spaziatura regolare con un passo geometrico pari a 20x20 metri e combinati fra di loro al fine di definire

la direzione e l'ampiezza del vettore velocità reale. Combinando le due fasi e scomponendo i singoli vettori in funzione delle rispettive mappe dell'angolo d'incidenza del fascio di scansione si è estrapolato per ogni vertice la componente verticale dello spostamento (Ud-Down). Nell'immagine di fig. 20 si sovrappongono i Persistent Scatterers (PS) estrapolati dalla griglia di interpolazione a passo regolare sul tessuto urbano dell'area. La mappa rappresenta l'andamento delle deformazioni verticali concentrate nella porzione più a nord dell'abitato (colore giallo-rosso = abbassamento).

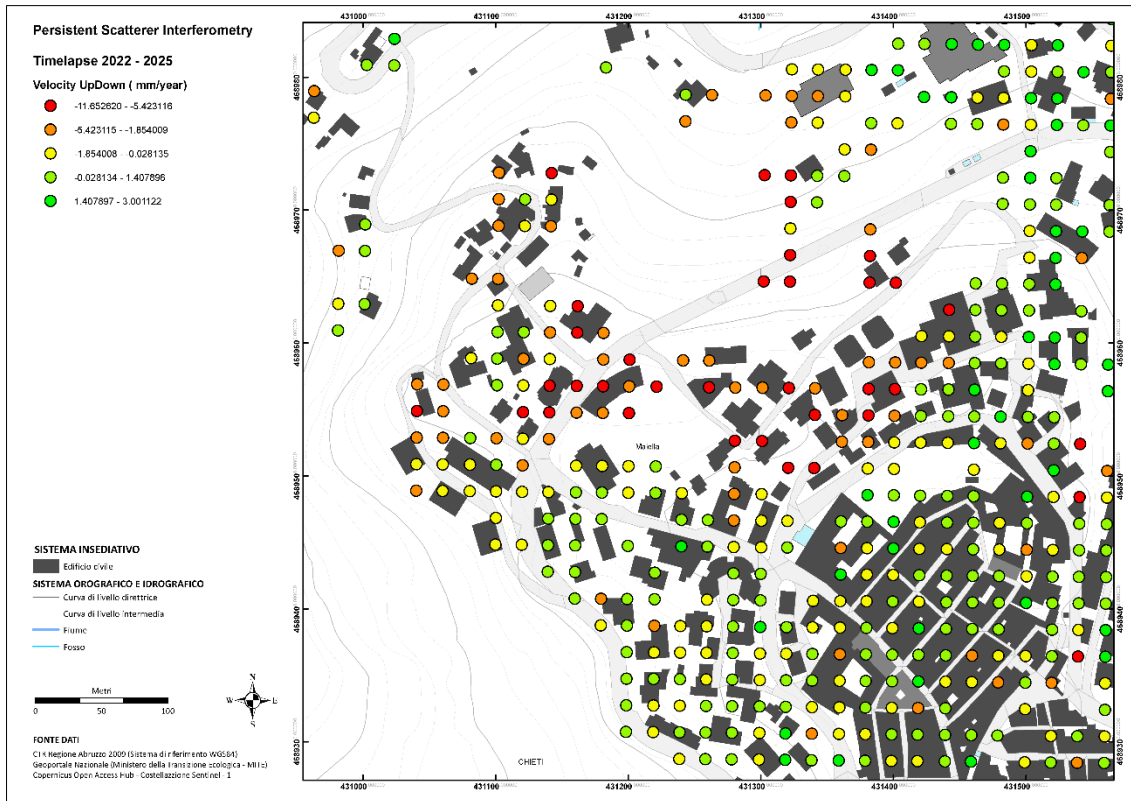


Figura 20 – Schema della distribuzione dei Persistent Scatterers.

L'aspetto più critico non è solo il valore assoluto, ma la disomogeneità. Si nota una chiara concentrazione PS rossi e arancioni nella zona centrale della mappa, che suggerisce un cinematiso localizzato, a differenza del nucleo storico dell'abitato (zone più a sud della mappa) che appare prevalentemente stabile.

Successivamente, i dati ottenuti sono stati interpolati al fine di clusterizzare l'area. L'impiego dell' algoritmo di Kriging per l'interpolazione dei PS rappresenta un passaggio metodologico fondamentale che permette di trasformare un insieme di informazioni discrete (punti sparsi) in un modello continuo della deformazione del suolo, ottenendo una visione d'insieme del comportamento del versante. A differenza

di metodi deterministici più semplici, l’algoritmo Kriging è un metodo geostatistico stocastico che non si limita a mediare i valori circostanti, ma analizza la struttura di autocorrelazione spaziale dei dati attraverso il semivariogramma.

L’interpolazione ha permesso di generare una mappa di calore (Fig. 21) che facilita l’identificazione di cluster omogenei, filtrando le anomalie puntuali e isolando i trend evolutivi legati alle dinamiche di versante.

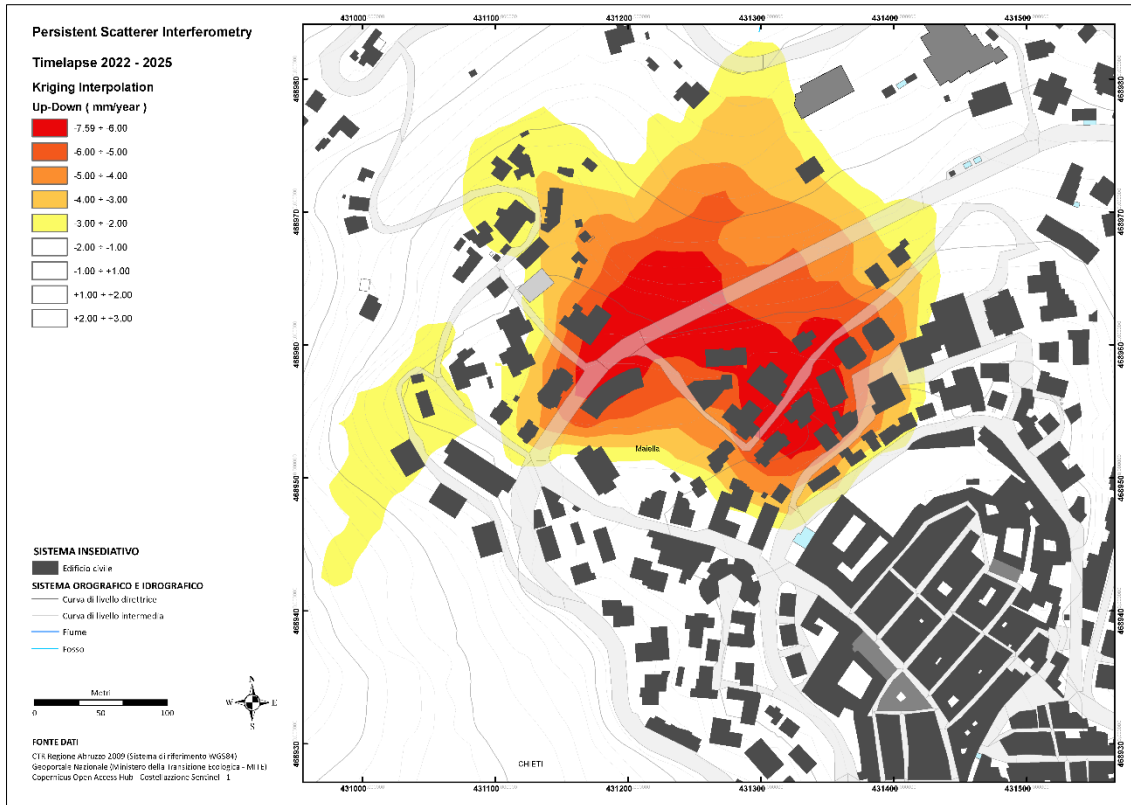


Figura 21 – Schema clusterizzazione mediante elaborazione kriging.

È chiaramente visibile un'ampia area in deformazione attiva. Il nucleo centrale mostra tassi di velocità di abbassamento compresi tra -6.0 e -7.59 mm/anno in linea con i risultati EGMS. Il fenomeno non appare isolato, ma coinvolge attivamente diversi edifici e le infrastrutture viarie principali.

Per un’interpretazione più realistica, nella figura 22 si mostra l’integrazione dei Dati InSAR sul Modello Digitale di Elevazione (3D) ottenuta per sovrapposizione, in modo da contestualizzare i tassi di deformazione all'interno dell’effettiva morfologia urbana e dei dislivelli topografici esistenti (la scala colore e la stessa della figura 21).

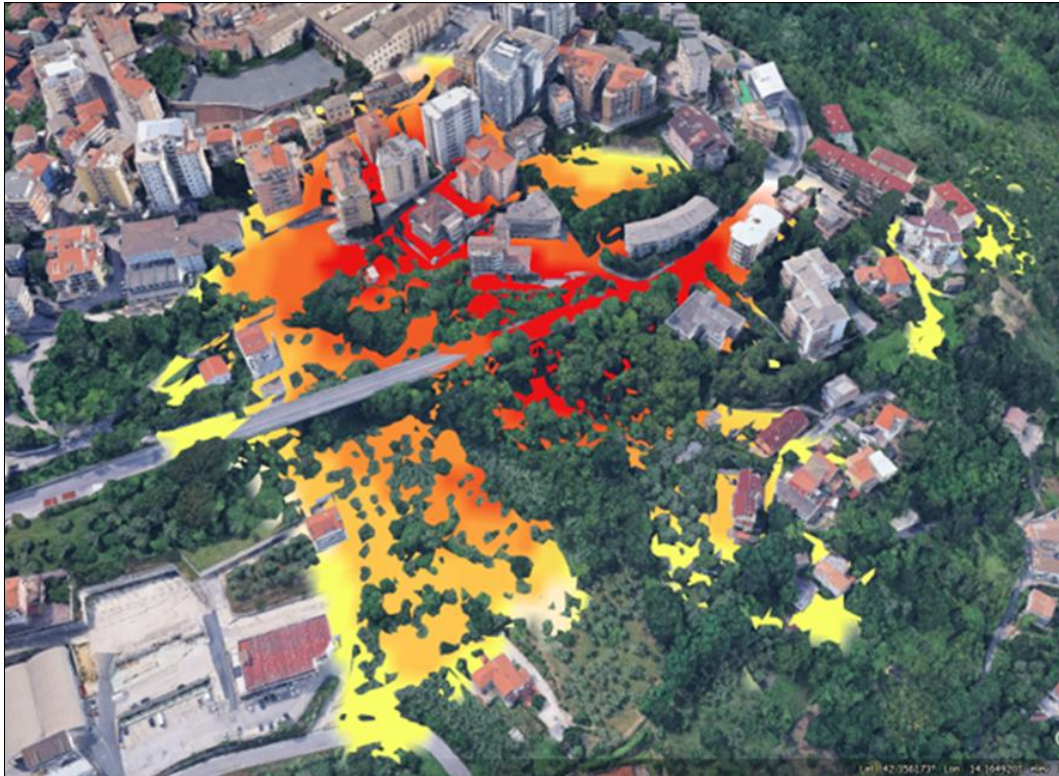


Figura 22 – Integrazione dei Dati InSAR su Modello Digitale di Elevazione (3D).

La perimetrazione individuata trova ampio riscontro con la reale condizione dei luoghi sia dal punto di vista geologico e idrogeologico sia per la presenza di numerose strutture lesionate.

Al fine di massimizzare il rapporto segnale-rumore e garantire una continuità del dato interferometrico anche in aree caratterizzate da scarsa coerenza naturale, è stato prevista l'installazione di n.10 Corner Reflector (CR). Questi riflettori artificiali sono stati progettati per essere acquisiti in doppia geometria e per essere coerenti con il segnale radar del satellite Sentinel-1, che opera in Banda C con una lunghezza d'onda di circa 5.6 cm. Il riflettore è costituito da facce metalliche piane (alluminio) perpendicolari tra loro, che formano un angolo solido interno. La dimensione del riflettore è stata progettata per essere visibile alla Banda C del Sentinel-1 per cui presenta una dimensione in pianta di 2.0x2.0 metri. Questa particolare forma garantisce che il segnale radar incidente sia riflesso esattamente nella stessa direzione da cui proviene (backscattering), indipendentemente dall'angolo di incidenza, purché colpisca l'interno della struttura. A differenza degli elementi naturali, che possono perdere coerenza a causa della vegetazione circostante visibile nell'immagine, il CR garantisce un punto di misura stabile e persistente nel tempo anche in aree boscate, fungendo da capisaldi fotogrammetrici al suolo. Nell'immagine di figura 23 si mostra

un esempio di installazione eseguita nell'area di Chieti dove sono state previsti n.10 postazioni (Fig. 24).



Figura 23 – Particolare dell'installazione del Corner Reflector in doppia orbita.

Per una corretta visibilità, i CR sono stati orientati secondo i parametri orbitali del satellite per garantire la massima riflessione del segnale verso il sensore, permettendo così di monitorare con accuratezza millimetrica i settori in cui la densità dei PS naturali risulta insufficiente per una caratterizzazione esaustiva della cinematica di versante.



Figura 24 – Ubicazione installazione Corner Reflectors.

Grazie all'installazione dei CR, i dati di spostamento possono essere validati con un errore strumentale ridotto al minimo, trasformando semplici rilevazioni satellitari

in un sistema di monitoraggio geotecnico di alta precisione. Si precisa che ad oggi sono funzionanti 5 CR mentre gli altri 5 sono in via di collegamento.

6.0 Attività di monitoraggio superficiale

L'implementazione di un sistema di monitoraggio strumentale rappresenta una fase fondamentale per la comprensione delle dinamiche evolutive dell'area in esame. In contesti caratterizzati da potenziali instabilità cinematiche o variazioni idrogeologiche significative, la sola osservazione visiva risulta insufficiente a garantire un adeguato livello di sicurezza e accuratezza predittiva.

Per tale ragione, è stato predisposto un sistema di monitoraggio superficiale a controllo remoto, finalizzato all'acquisizione di dati in tempo reale e all'individuazione precoce di eventuali trend anomali. L'integrazione di diverse tipologie di sensori risponde alla necessità di correlare i movimenti superficiali con le variazioni delle pressioni neutre nel sottosuolo, secondo un approccio che integra:

- **Analisi delle variazioni angolari:** Monitoraggio dei movimenti rotazionali e delle micro-variazioni di inclinazione delle strutture.
- **Controllo dei quadri fessurativi:** Misura centomillimetrica dell'apertura o chiusura delle discontinuità cinematicamente attive.
- **Caratterizzazione idrogeologica:** Monitoraggio dei livelli di falda e delle pressioni interstiziali per valutare la risposta del terreno alle sollecitazioni meteoriche.

La strumentazione installata si compone di tre elementi tecnologici principali, interconnessi tramite una rete wireless di acquisizione automatizzata che permette la consultazione dei dati via web:

1. **Tiltmetrico Wireless Ackcio BEAM-TM.** L'Ackcio BEAM-TM è un nodo sensore wireless ad alte prestazioni, specificamente progettato per il monitoraggio geotecnico e strutturale in ambienti complessi. Il dispositivo integra un inclinometro biassiale di tipo MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) prodotto da Sisgeo, caratterizzato da un sistema di autocompensazione che garantisce elevata stabilità e precisione nelle misure angolari. Lo strumento è alloggiato in un involucro molto compatto (100x100x80 mm) realizzato in alluminio pressofuso, che conferisce robustezza e una protezione di grado IP67, rendendolo idoneo all'installazione in ambienti esterni soggetti a condizioni meteorologiche avverse. Il sensore può operare su un range di misura di $\pm 15^\circ$ con una risoluzione di $\pm 0.0001^\circ$. Per garantire l'affidabilità del dato anche in presenza di forti escursioni termiche, il nodo include un termistore interno per

il monitoraggio della temperatura (range $-20^{\circ}/+80^{\circ}$), un sensore barometrico integrato e un clock ad alta precisione (RTC) autocompensato in temperatura. L'Ackcio BEAM-TM utilizza il protocollo di comunicazione Ackcio Mesh, una tecnologia wireless a lungo raggio e basso consumo che permette la trasmissione dei dati anche in condizioni critiche. La sicurezza della trasmissione è garantita da un sistema di crittografia AES128 end-to-end.

2. **Fessurimetro Elettrico Gefran PZ67-A.** Il fessurimetro elettrico utilizzato nel sistema di monitoraggio è costituito da un trasduttore rettilineo di posizione autoallineante Gefran serie PZ67-A. Questo strumento è progettato per convertire lo spostamento lineare di un giunto o di una fessura in un segnale elettrico proporzionale, permettendo il controllo continuo e remoto delle deformazioni strutturali. Il sensore è ingegnerizzato per operare in ambienti gravosi ed all'aperto, grazie a un robusto corpo in alluminio anodizzato e un albero di trascinamento in acciaio cromato e grado di protezione IP67. Lo strumento, trattandosi di un trasduttore potenziometrico, garantisce una precisione di ritorno sul dato pari a 0.01 mm. Grazie a un coefficiente termico estremamente basso, lo strumento mantiene la stabilità della misura in un ampio range di temperature operative, da -30° a $+100^{\circ}$.
3. **Piezometro Elettrico STS ATM.1ST/N.** Il piezometro elettrico STS ATM.1ST/N è un trasmettitore di pressione ad alta precisione, specificamente progettato per la misura dei livelli idrici e delle pressioni interstiziali in applicazioni geotecniche e idrogeologiche. Lo strumento sfrutta una tecnologia piezoresistiva avanzata, che lo rende idoneo per il monitoraggio di pressioni sia statiche che dinamiche con un'elevata stabilità nel tempo.

Nell'area sono stati installati:

- n.1 Centralina con gateway di ricezione e trasmissione dati (Fig. 25).
- n.14 Tiltmetri Wireless Ackcio BEAM-TM (Fig. 26).
- n.12 Fessurimetri Elettrici Gefran PZ67-A (Fig. 27).
- n.5 Piezometri Elettrici STS ATM.1ST/N (Fig. 28).



Figura 25 – Centralina di acquisizione e sistema di trasmissione remota.

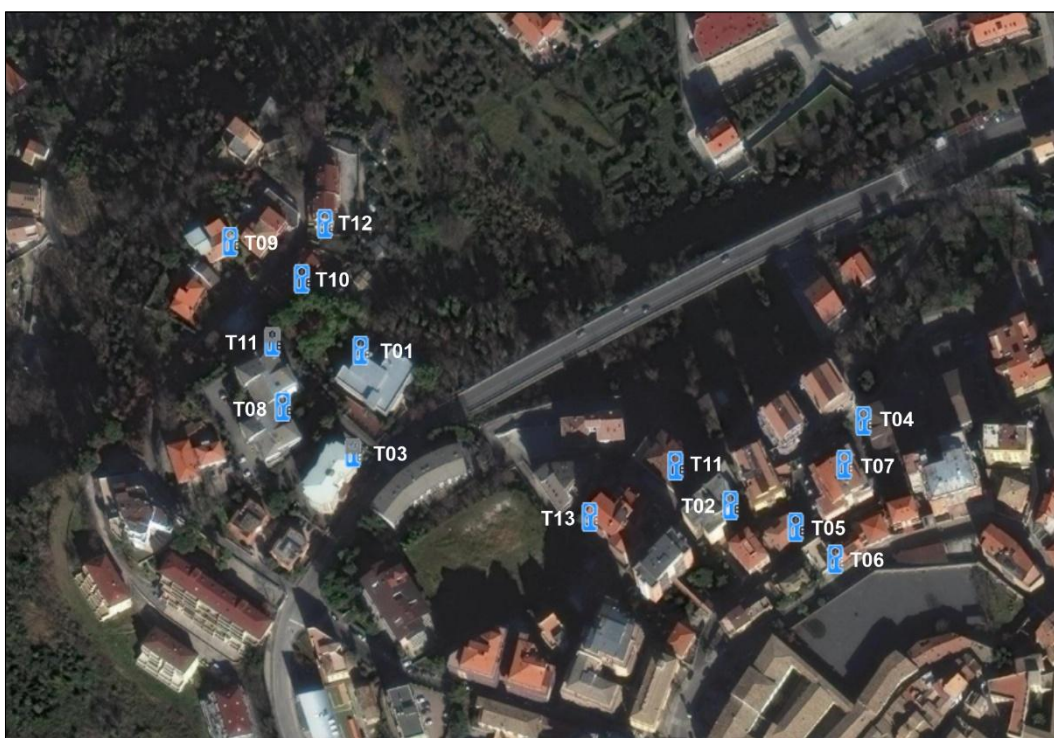


Figura 26 – Ubicazione Tiltmetri Wireless Ackcio BEAM-TM.

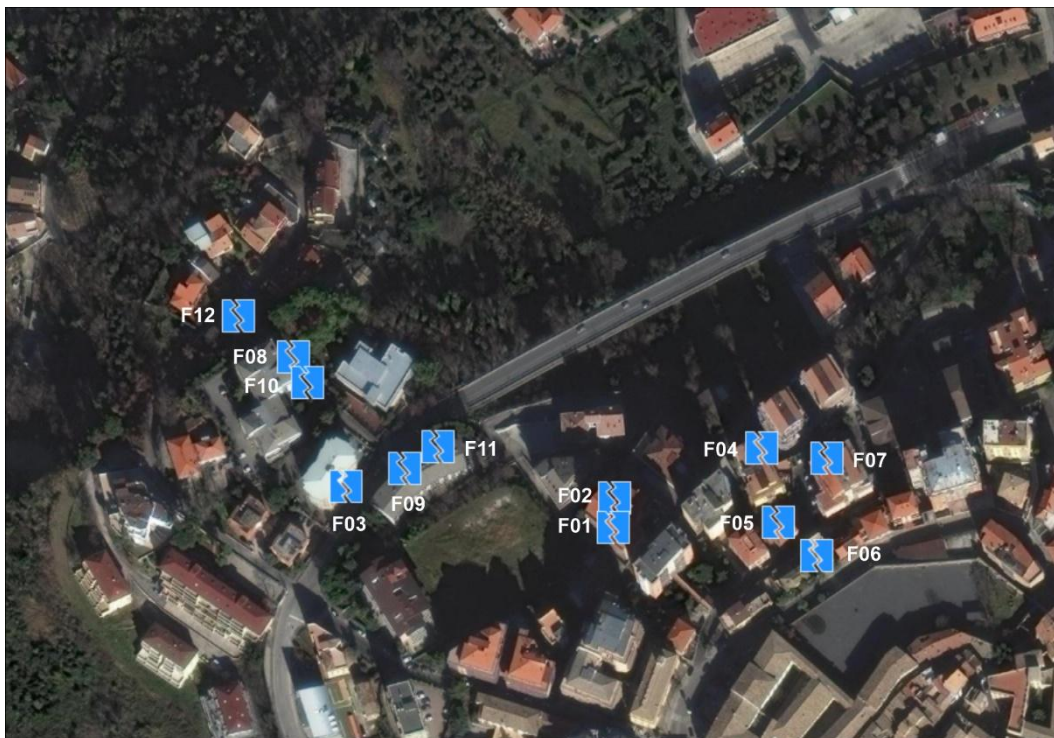


Figura 27 – Fessurimetri Elettrici Gefran PZ67-A.

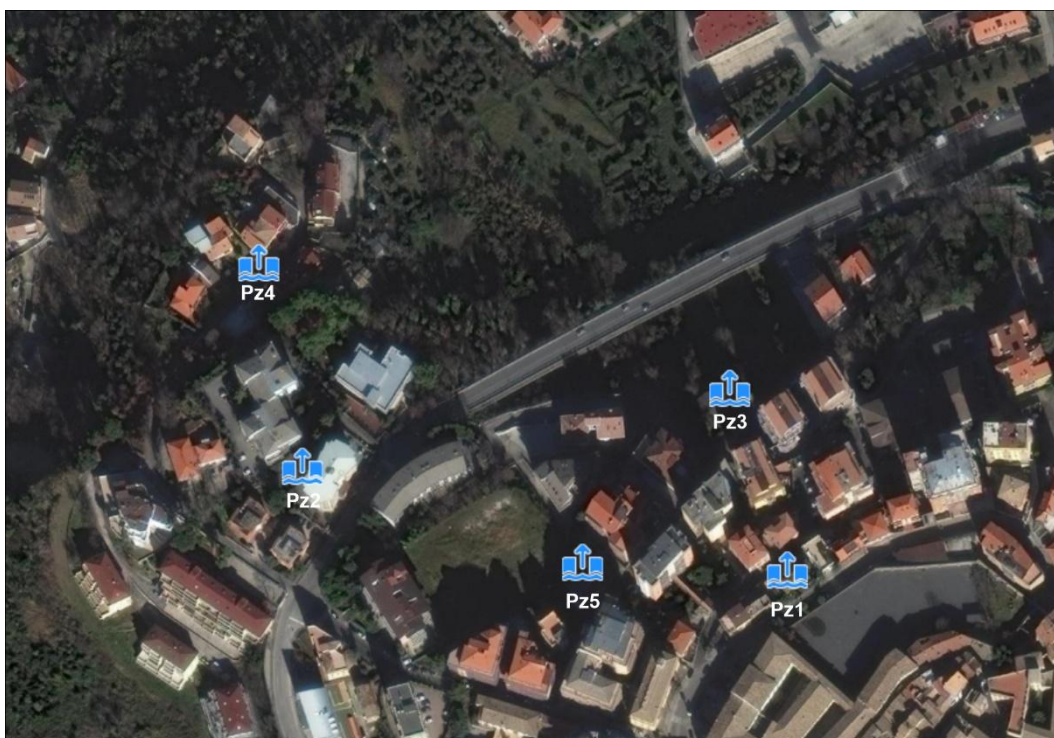


Figura 28 – Piezometri Elettrici STS ATM.1ST/N.

Tutti i sensori acquisiscono con una scansione temporale pari a 60 min e trasmettono in tempo reale il dato al gateway di acquisizione posizionato sul terrazzo della scuola Corradi (Viale Gran Sasso).

Ogni ora, il dato viene acquisito, elaborato e proiettato automaticamente su piattaforma HMS-WEB dedicata opportunamente protetto con un account privato.

I tiltmetri sono dotati di sensibilità biassiale, il che consente la registrazione simultanea delle variazioni angolari lungo gli assi ortogonali X e Y. L'illustrazione seguente (fig. 29) mostra l'orientamento dei due assi per ogni postazione, dove la freccia indica la direzione dei valori positivi.



Figura 29 – Posizione degli assi di registrano per ogni tiltmetro.

Di seguito si mostrano, i dati di T01, T02 e T04 che, alla data del presente documento, evidenziano le variazioni angolari più marcate.

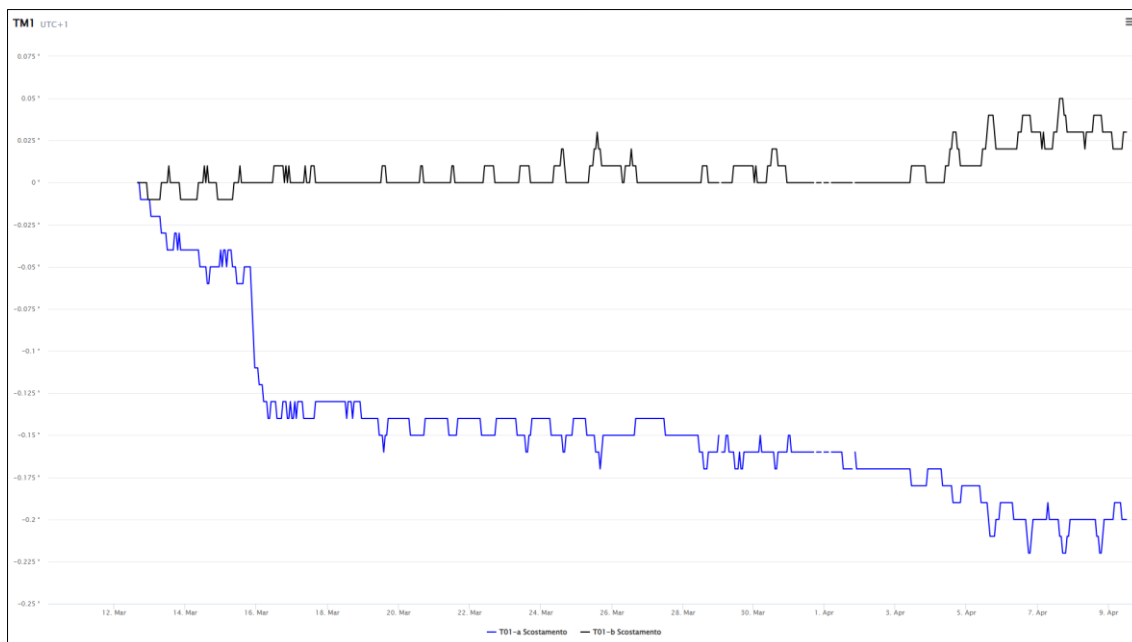


Figura 30 – Andamento dello spostamento angolare del Tiltmetro T01.

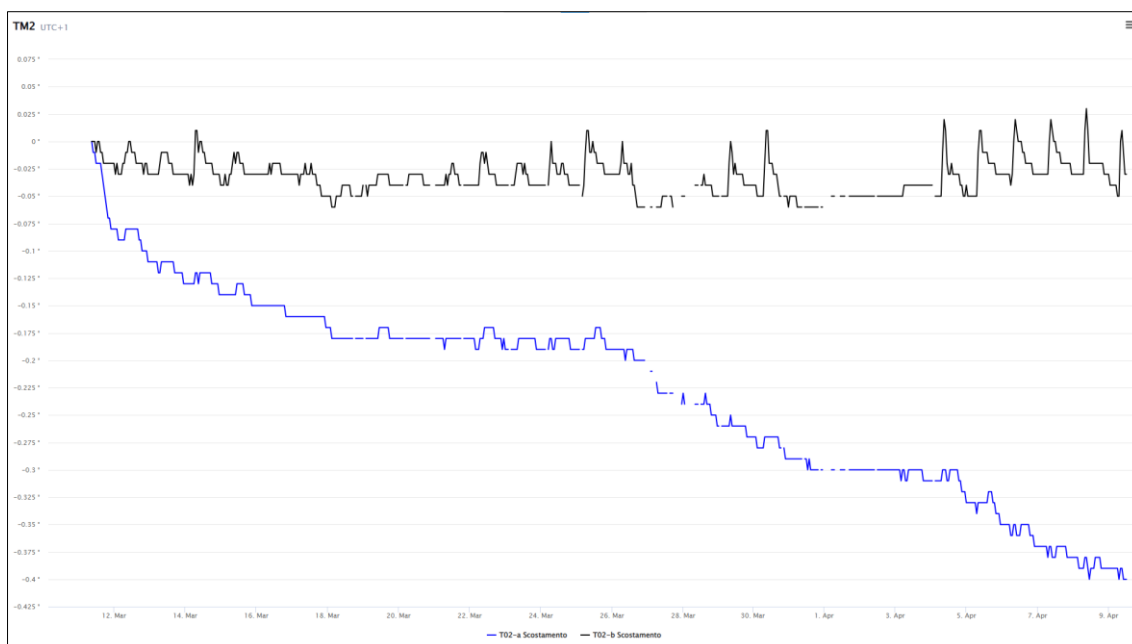


Figura 31 – Andamento dello spostamento angolare del Tiltmetro T02.

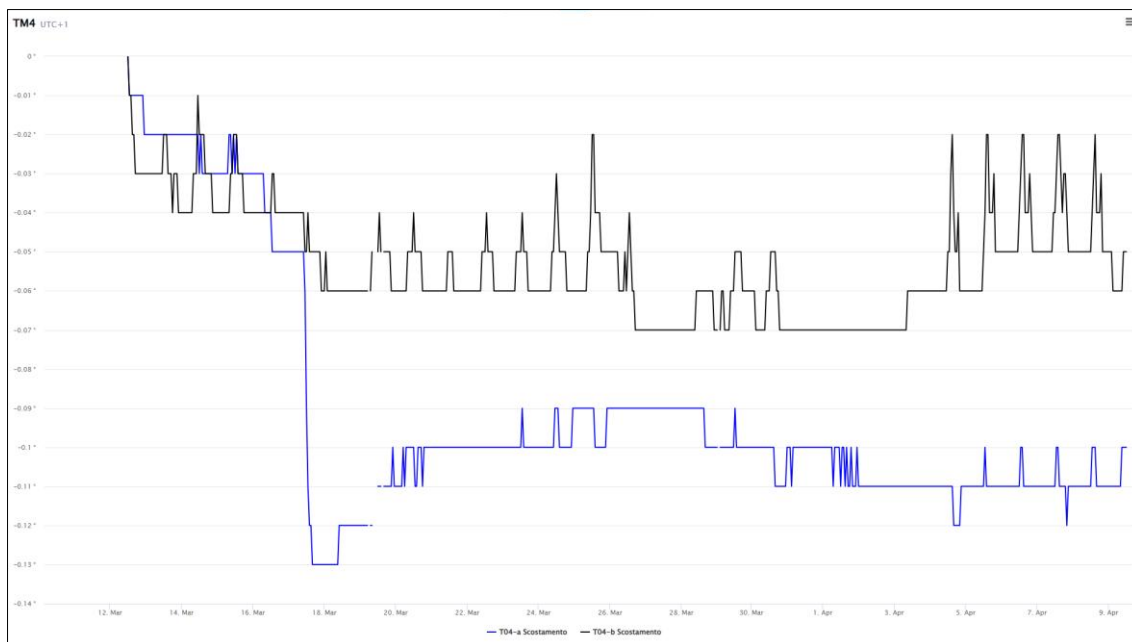


Figura 32 – Andamento dello spostamento angolare del Tiltmetro T04.

Le immagini successive (figg. 33 - 48) mostrano la posizione locale di ogni singolo sensore.



Figura 33 – Tiltmetri T01 e T02.



Figura 34 – Tiltmetri T03 e T04.



Figura 35 – Tiltmetri T05 e T06.



Figura 36 – Tiltmetri T07 e T08.



Figura 37 – Tiltmetri T09 e T10.



Figura 38 – Tiltmetri T11 e T12.

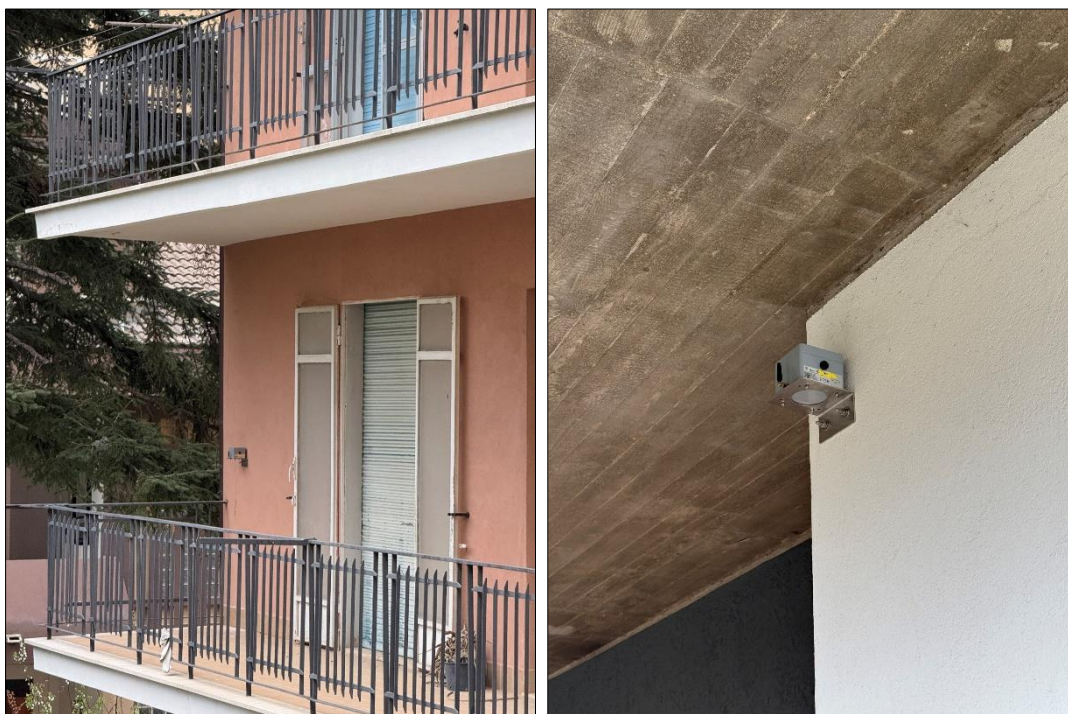


Figura 39 – Tiltmetri T13 e T14.

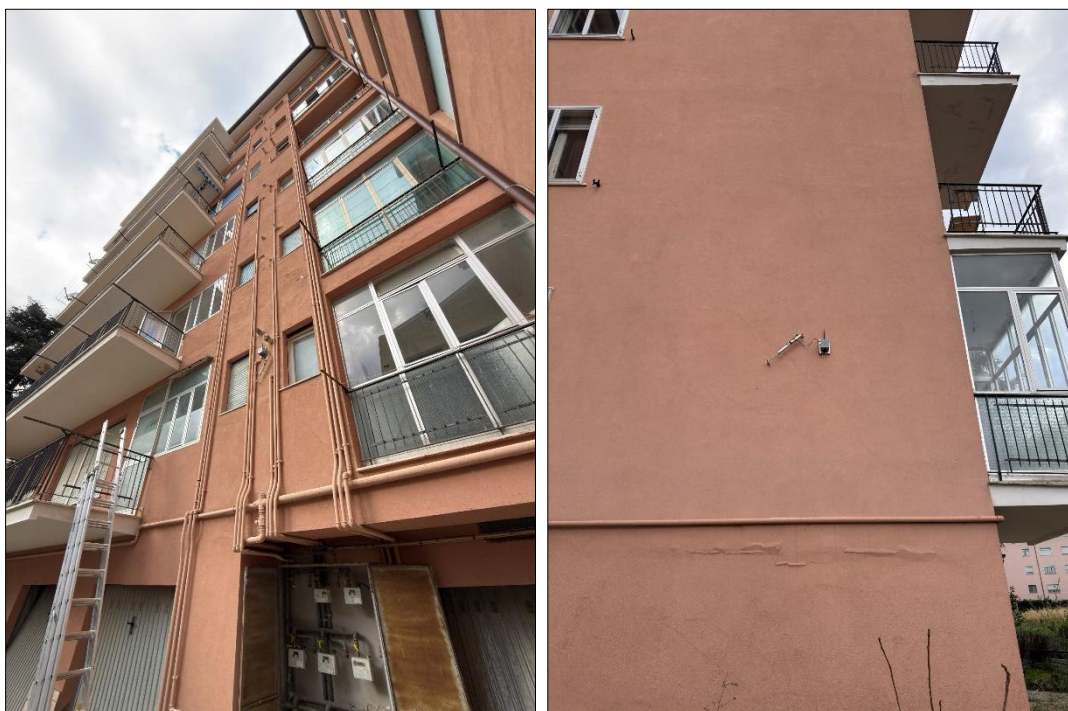


Figura 40 – Fessurimetri F01 e F02.

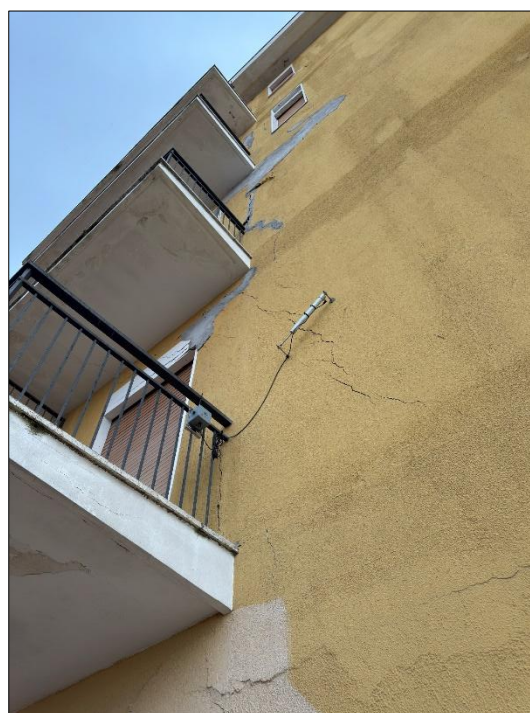


Figura 41 – Fessurimetri F03 e F04.



Figura 42 – Fessurimetri F05 e F06.



Figura 43 – Fessurimetri F07 e F08.



Figura 44 – Fessurimetri F09 e F10.



Figura 45 – Fessurimetri F11 e F12.



Figura 46 – Piezometri elettrici Pz1 e Pz2.



Figura 47 – Piezometri elettrici Pz3 e Pz4.



Figura 48 – Piezometro elettrico Pz5.

7.0 Attività di monitoraggio profondo

Il monitoraggio inclinometrico di profondità è una delle tecniche più affidabili e diffuse in ambito geotecnico per misurare gli spostamenti all'interno di un ammasso instabile. Il sistema è progettato per misurare la variazione dell'inclinazione di un tubo guida appositamente installato nel terreno, rilevando come l'inclinazione cambia nel tempo rispetto a una lettura iniziale.

Nell'area di interesse sono stati installati n.5 tubi inclinometri (Fig.49) in punti strategici, al fine di avere un quadro deformativo generale dell'intera zona.



Figura 49 – Ubicazione installazioni inclinometriche.

Solo nella postazione I3 (fig. 50), è stato installato un inclinometro robotizzato per il controllo degli spostamenti in profondità del versante nord. Nel panorama del monitoraggio dei rischi geomorfologici, il Geohazard Monitoring Group (GMG) dell'IRPI-CNR ha introdotto un'innovazione radicale nel campo della misura delle deformazioni profonde del suolo. Il sistema Automated Inclinometer System (AIS), ad oggi, rappresenta l'evoluzione robotizzata della tecnica inclinometrica tradizionale.

L'obiettivo primario del progetto è il superamento dei limiti intrinseci delle misure manuali (soggette a errori dell'operatore e frequenze di campionamento sporadiche) e dei sistemi fissi (IPI - In-Place Inclinometers) che, pur essendo automatici, risultano estremamente costosi e limitati spazialmente poiché monitorano solo nodi discreti del foro. L' AIS combina la continuità spaziale della sonda mobile con la precisione temporale del monitoraggio automatico.

L'architettura dell' AIS si basa su una netta separazione funzionale tra la gestione meccanica superficiale e l'acquisizione profonda, gestita da due unità principali:

- **L'Inclinometer Control Unit (ICU).** È il cuore tecnologico del sistema. Un'unità di controllo intelligente integrata direttamente a bordo della sonda. Questa soluzione ha permesso di eliminare il tradizionale cavo di trasmissione dati, critico nei sistemi automatici per pesi, ingombri e disturbi elettromagnetici. Essa gestisce due fasi:
 - **Trasmissione:** La sonda è sostenuta da un cavo tecnico in fibra sintetica ad alta tenacità (Dyneema®; diametro 2,5 mm), che riduce drasticamente l'attrito e il carico sul motore.
 - **Alimentazione:** L'ICU è alimentata da batterie ricaricabili integrate. Il sistema adotta una ricarica induttiva contactless che si attiva quando la sonda è in posizione di riposo (home position) presso la stazione di superficie, garantendo l'isolamento stagno dei componenti elettronici.
- **La Ground Control Unit (GrCU) e Movimentazione.** La GrCU gestisce la cinematica della sonda. L'interazione tra un micromotore a controllo numerico e un encoder ad alta precisione permette un posizionamento millimetrico lungo l'asse verticale del foro. Il processo si articola in due fasi:
 - **Fase di Discesa:** Avviene in modo continuo per raggiungere il fondo del foro di sondaggio.
 - **Stato Stazionario:** Identificazione della condizione di fermo, durante la quale viene effettuata la digitalizzazione dei segnali degli accelerometri MEMS interni alla sonda.

Per garantire standard di precisione elevati, l' AIS esegue automaticamente la doppia lettura contrapposta ($0^\circ/180^\circ$) tramite la rotazione della sonda e consentendo l'eliminazione degli errori sistematici di zero (bias) e di non-linearità.

Il sistema è progettato per operare in ambienti ostili e siti remoti; infatti, l'intero apparato è alimentato da un sistema fotovoltaico con accumulo dedicato. Il modulo è completamente a controllo remoto, permettendo la configurazione dei parametri di

campionamento e la trasmissione dei dati in tempo reale, e soprattutto, è compatibile con i comuni tubi inclinometrici, rendendolo adatto anche a fori esistenti.



Figura 50 – Inclinometro Robotizzato AIS installato sulla postazione I3.

I dati del monitoraggio sono stati elaborati analizzando gli spostamenti lungo i due assi ortogonali (A e B) alle diverse profondità. Dall'esame del profilo degli spostamenti sia locali (Fig. 51) e sia cumulati (Fig. 52), si osserva una brusca variazione del gradiente di spostamento a profondità elevate. Il picco di deformazione sembra essere fortemente localizzato in una stretta fascia di terreno a circa 37.5 metri di profondità dal piano campagna. Al di sopra del picco, i grafici incrementali tornano a essere quasi verticali o comunque presentano oscillazioni trascurabili a conferma che il terreno sovrastante non subisce deformazioni interne significative, ma trasla

rigidamente al disopra della superficie di scorrimento. Osservando la densità delle letture intermedie si nota una progressione costante del movimento nel tempo, ma con una brusca accelerazione in corrispondenza delle letture di aprile 2026.

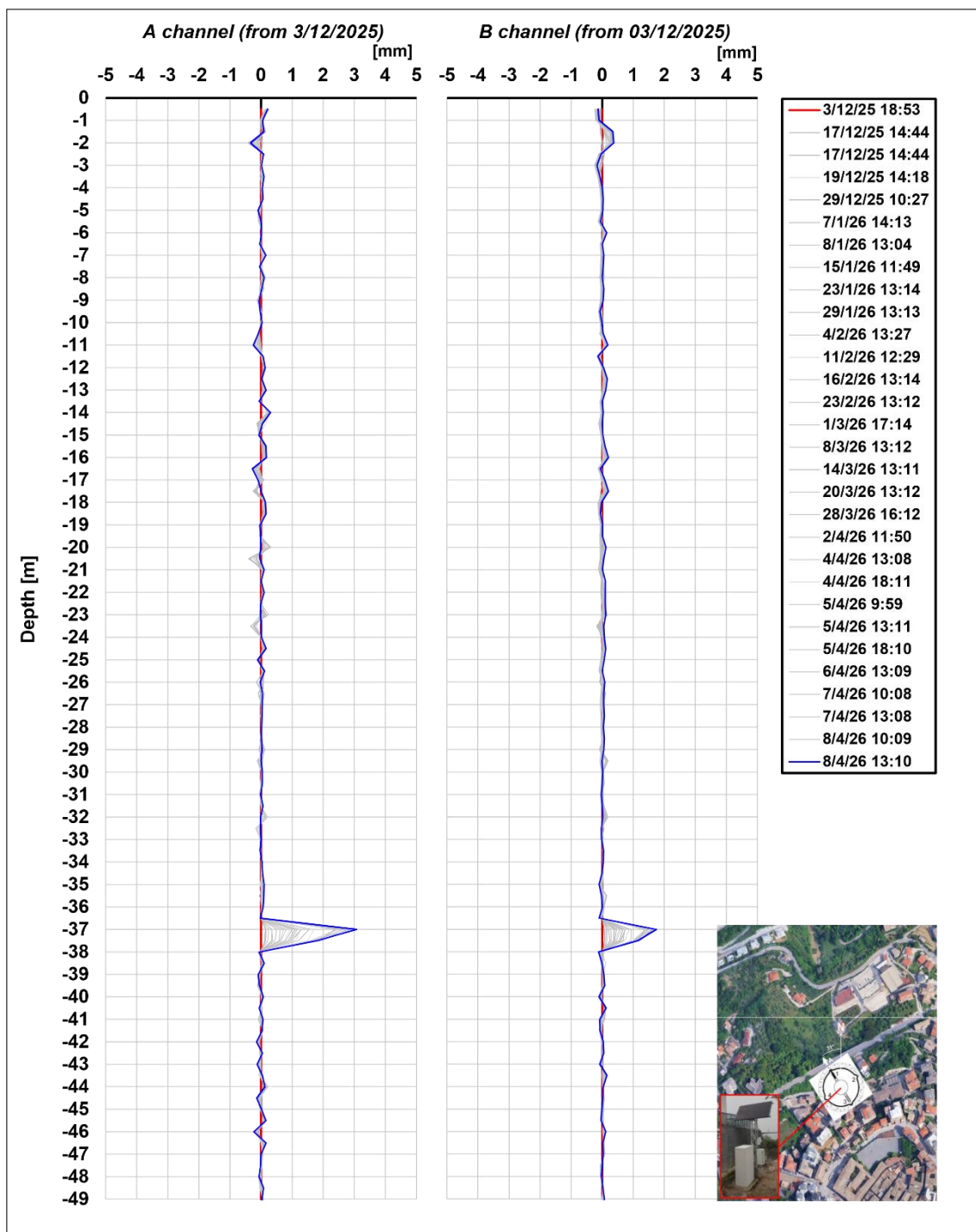


Figura 51 – Spostamento locale dei due canali di lettura.

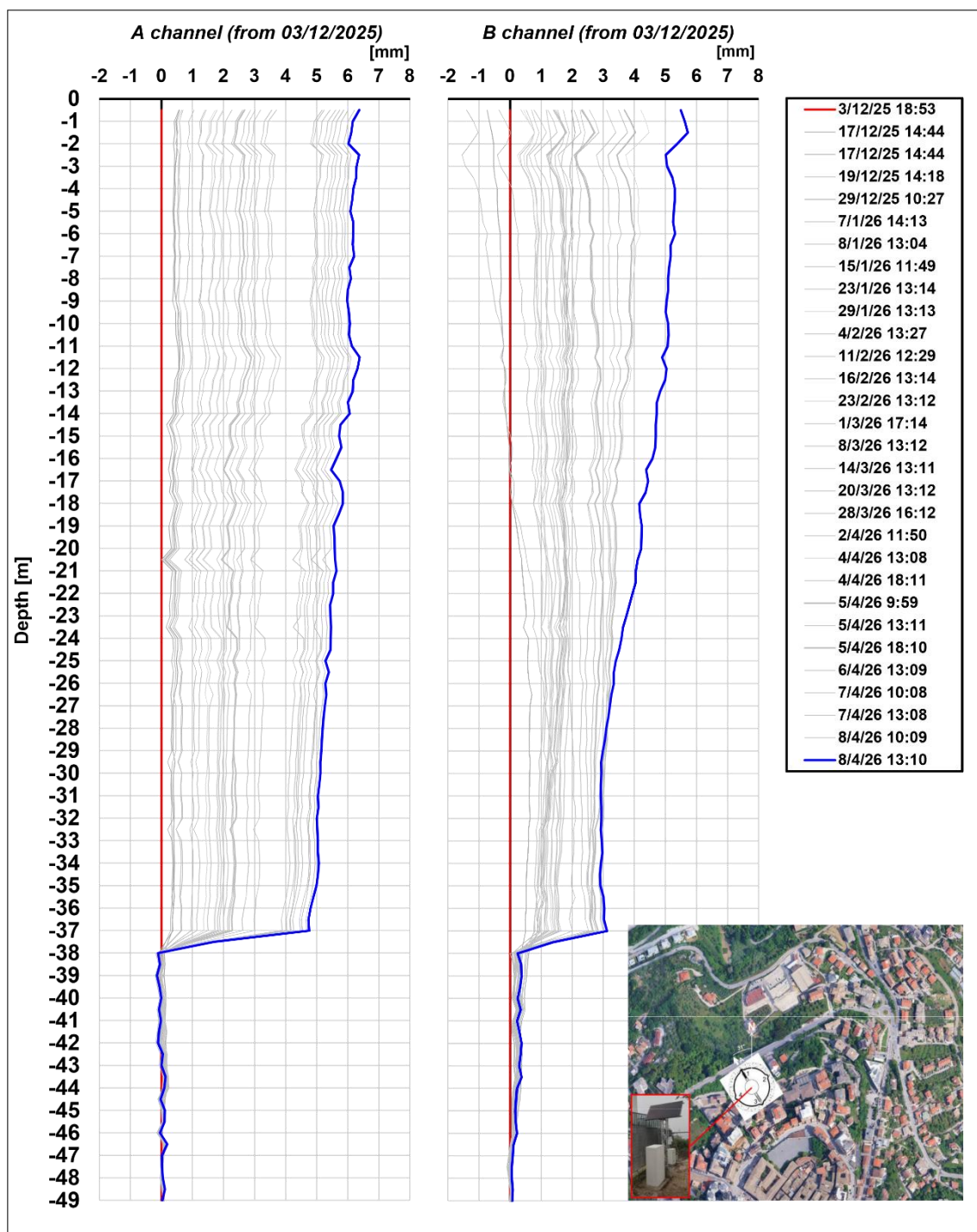


Figura 52 – Spostamento cumulato dei due canali di lettura.

Dall’analisi dei grafici polare sia cumulato (Fig. 53) e sia locale (Fig. 54), si conferma la presenza di una superficie di scorrimento attiva molto profonda. A profondità minime (mezzo metro), il risultato, nonostante sia direzionato è fortemente influenzato da piccoli assestamenti superficiali. La situazione cambia

drasticamente a profondità maggiori nell'intorno di 37.0 metri con un andamento unidirezionale verso Nord.

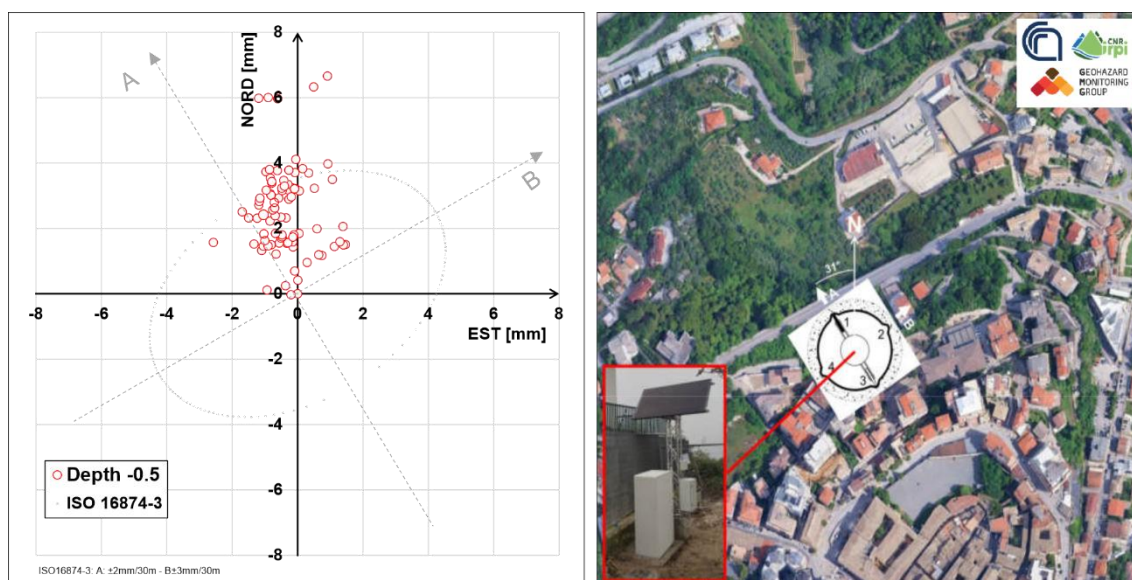


Figura 53 – Spostamento cumulato. Vista Polare

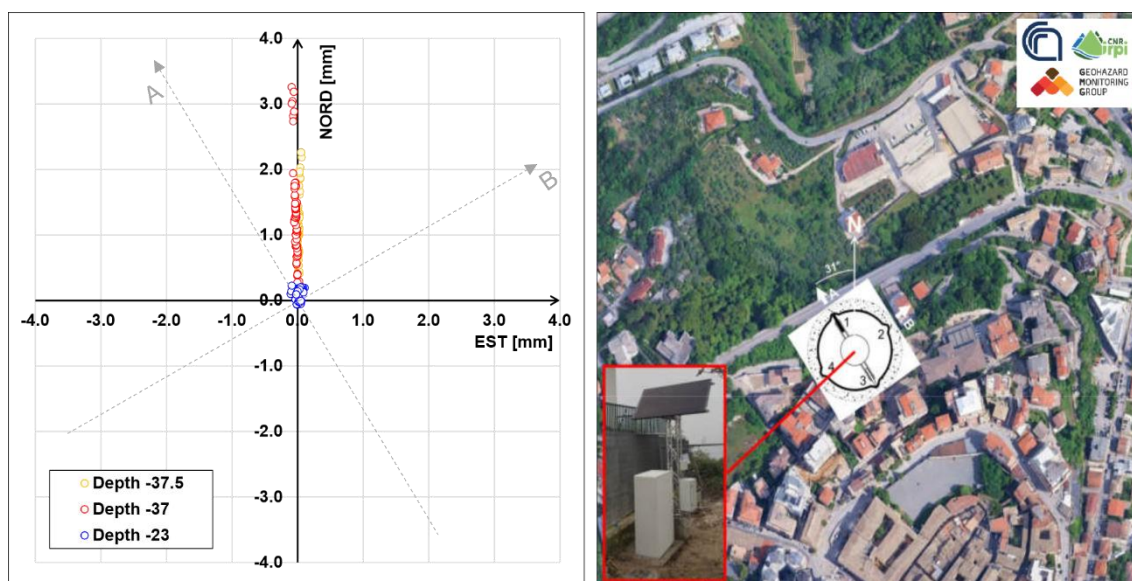


Figura 54 – Spostamento locale differenziale. Vista Polare

Andando ad analizzare l'andamento della serie temporale (Figg. 55 e 56) si evidenzia una porzione superiore del versante che si muove in modo molto rigido sopra una superficie di scorrimento molto ben marcata. Il movimento profondo è stato abbastanza lento e costante, con una velocità di circa 0.44 mm/mese tra dicembre 2025 e marzo 2026, mentre a partire dalla fine di marzo/inizio aprile, il trend relativo a quota 37 metri ha subito un'impennata drastica con un incremento di

velocità pari a circa 15 volte rispetto alla fase precedente ovvero 6.68 mm/mese. Molto probabile questa accelerazione è correlata agli ultimi eventi meteorologici intensi che hanno appesantito l'interno del versante già in condizioni critiche.

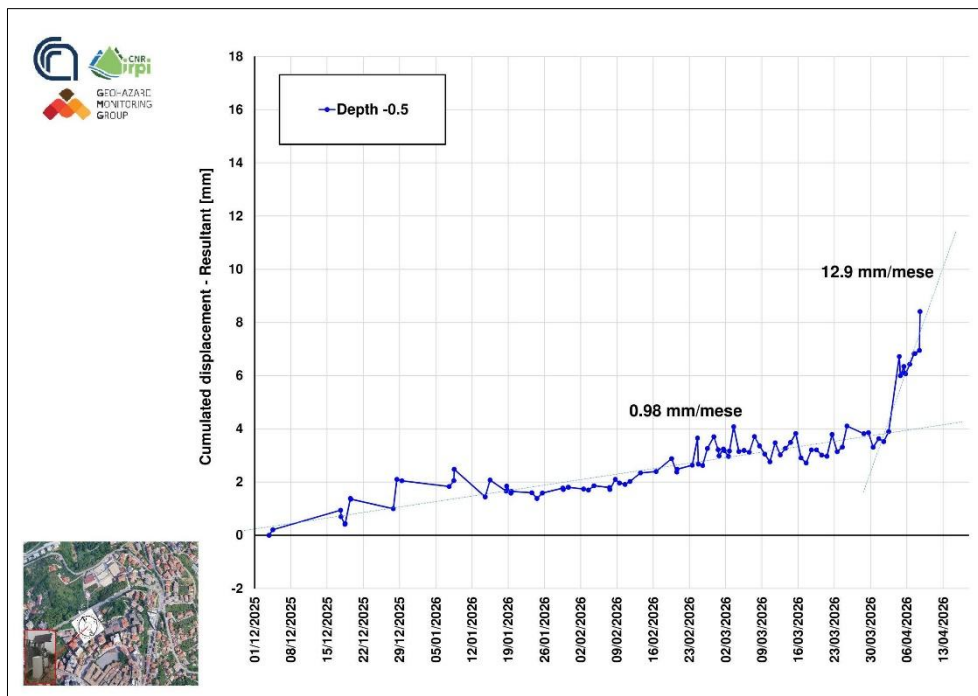


Figura 55 – Serie temporale cumulata.

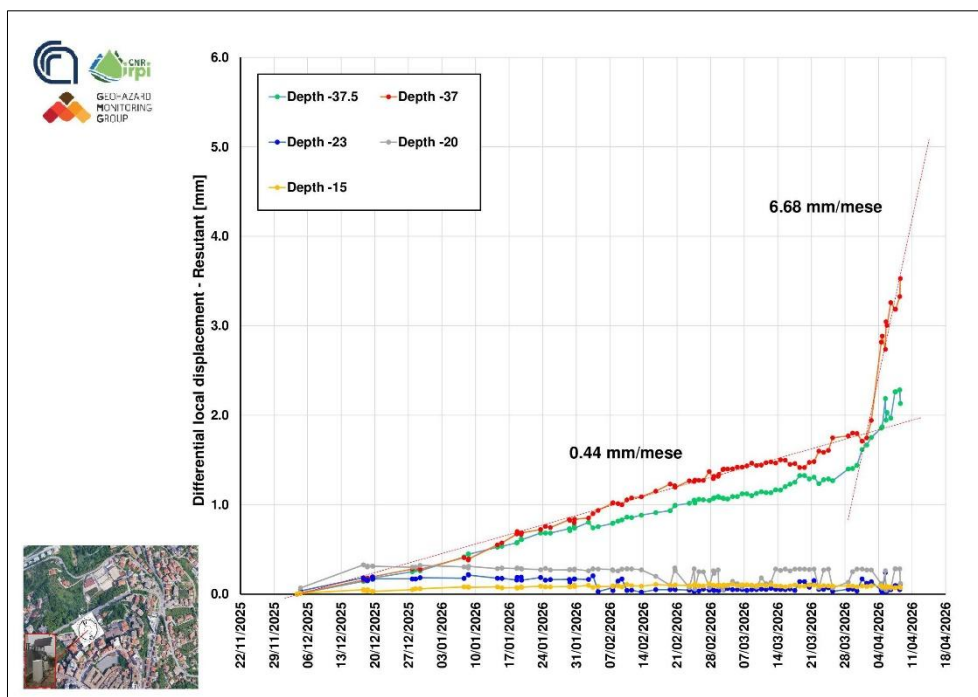


Figura 56 – Serie temporale differenziale per punti.

Da queste informazioni è possibile affermare che il movimento non è più una lenta deformazione, ma il sistema è entrato in una fase di accelerazione attiva. Il salto da meno di mezzo millimetro a quasi 7 mm al mese richiede un'attenzione immediata, poiché la curva ha assunto una forma che può precedere una situazione di imminente collasso.

Per le altre postazioni nelle quali sono stati installati inclinometri manuali è possibile trarre le seguenti considerazioni.

Inclinometro I1: la posizione è in via Don Minzoni (fig.57) in prossimità del numero civico 19. Dalle letture si ravvisa una variazione di verticalità a partire dai 14 m di profondità. I movimenti sono ancora minimi ma convergono verso Nord-Ovest. Per i particolari si osservino i rispettivi allegati.



Figura 57 – Posizione tubo inclinometrico I1.

Inclinometro I2: La posizione è in via Salvino Olivieri in prossimità del numero civico 48 (fig. 58). Il tubo non presenta irregolarità né spostamenti di rilievo. I leggeri spostamenti rientrano nell'errore strumentale. Si ritiene il tubo sostanzialmente stabile. Per i particolari si osservino i rispettivi allegati.

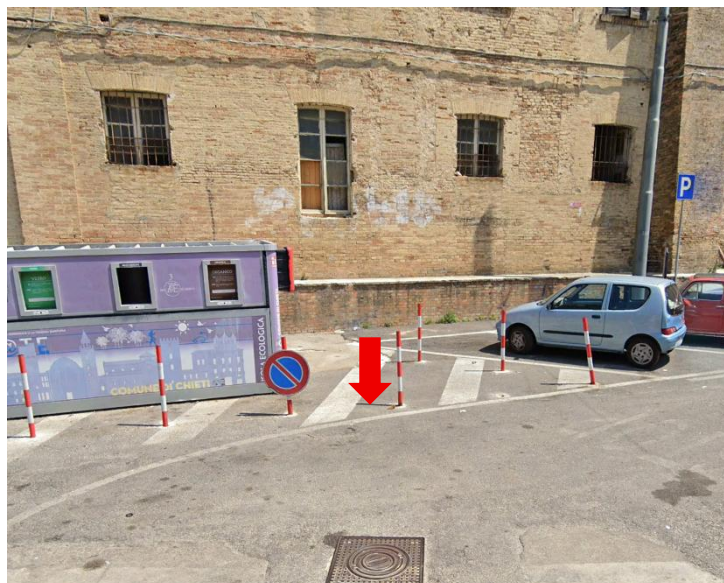


Figura 58 – Posizione tubo inclinometrico I2.

Inclinometro I4: La posizione è in via Arenazze in prossimità del numero civico 48 (fig. 59). Il tubo presenta una chiara irregolarità alla profondità di 17 m con spostamento in direzione Nord. Lo spostamento cumulato è di circa 4 mm. Per i particolari si osservino i rispettivi allegati.



Figura 59 – Posizione tubo inclinometrico I4.

Inclinometro I5: La posizione è in via Fonte Vecchia in prossimità del numero civico 3 (fig. 60). Il tubo presenta una chiara irregolarità alla profondità di 33 m con spostamento in direzione Nord Nord-Est che ben si raccorda con gli spostamenti registrati nell'inclinometro automatizzato I3. Lo spostamento cumulato è di circa 5.9 mm. Per i particolari si osservino i rispettivi allegati.

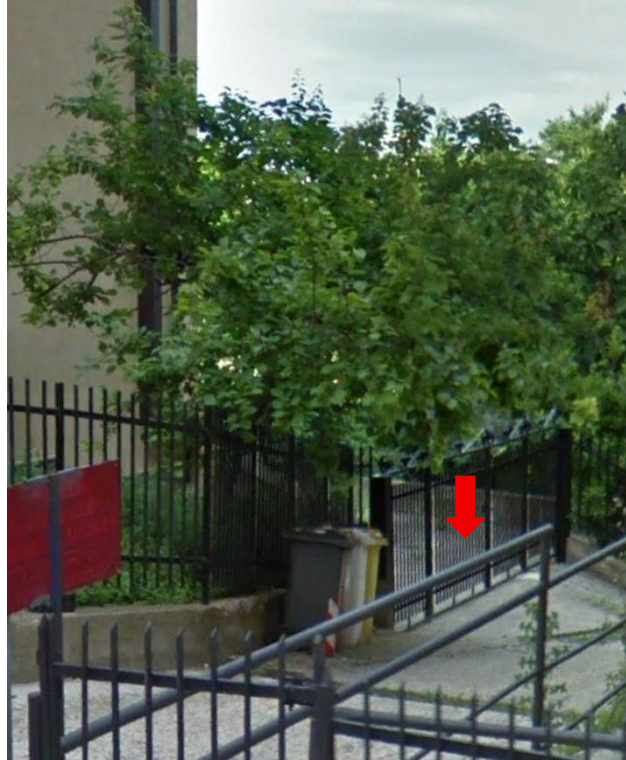


Figura 60 – Posizione tubo inclinometrico I5.

8.0 Considerazioni conclusive e Carta della Pericolosità

Le attività di indagine e monitoraggio sinora condotte nel territorio comunale di Chieti, in riferimento al quartiere Santa Maria, hanno permesso di chiarire le condizioni di deformazione in atto al fine di estrapolare una carta di pericolosità congruente con i dati deterministici acquisiti.

Le attività condotte hanno permesso di delineare un quadro conoscitivo dettagliato dei fenomeni di dissesto attivi che presentano alcune criticità e che richiedono un'attenzione costante e prolungata nel tempo. Le indagini hanno confermato la presenza di un fenomeno di frana a cinematica lenta molto estesa e con profondità importanti.

Si è riscontrato che l'instabilità dell'area non è un fenomeno episodico, ma la manifestazione di un equilibrio precario intrinseco all'assetto litostratigrafico dell'area. Il sottosuolo è caratterizzato dalla sovrapposizione di un intervallo arenaceo-sabbioso superiore su un complesso argilloso-sabbioso inferiore a bassa permeabilità. Il passaggio graduale tra queste unità crea una zona di transizione con lenti sabbiose e argillose che fungono da elementi di debolezza interna. Il marcato contrasto idraulico favorisce l'instaurarsi di zone sospese sature o falde idriche i cui innalzamenti riducono le tensioni efficaci, incrementando le deformazioni lungo i piani di scorrimento già presenti. È stata riscontrata una marcata correlazione tra gli eventi meteorici intensi e le fasi di accelerazione del movimento.

I dati raccolti tramite la strumentazione di profondità confermano l'esistenza di una frana a cinematica attiva che coinvolge volumi significativi. L'inclinometro installato presso le scuole Corradi (Viale Gran Sasso) già nel 2023 aveva rilevato una superficie di scorrimento netta a circa 22 metri di profondità. Le registrazioni più recenti eseguite con strumentazione robotizzata (CNR-IRPI Torino) indica che il sistema è entrato in una fase di accelerazione critica. A partire dalla fine di marzo e l'inizio di aprile 2026, si è osservato un incremento della velocità di spostamento pari a circa 15 volte rispetto alla fase precedente, raggiungendo valori di 6.68 mm/mese. Tali considerazioni cominciano a delinearci anche nelle postazioni inclinometriche a controllo manuale in particolare nell'inclinometro I5.

Il monitoraggio satellitare basato su dati Copernicus Sentinel-1 ha fornito una quantificazione cinematica rigorosa della deformazione superficiale. I Persistent Scatterers (PS) analizzati mostrano tassi di velocità media di poco inferiori a 10 mm/anno nelle zone di massima criticità. Il trend è marcatamente lineare, sintomo di un processo di deformazione lento ma inarrestabile. In meno di 5 anni, sono stati registrati spostamenti cumulati superiori ai 5 cm, con una distribuzione disomogenea che genera forti gradienti di velocità tra aree stabili e instabili, accelerando il quadro fessurativo delle strutture. Le evidenze del quadro fessurativo presente su alcune strutture sono talora macroscopiche. Il fenomeno non si limita a fessurazioni superficiali, ma coinvolge per intero diversi edifici. Alcuni di questi (come il condominio al civico 121 di Viale Gran Sasso) manifestano perdite di verticalità e rotazioni visibili a occhio nudo, indicando un cedimento differenziale o una rotazione rigida del terreno di fondazione, tipici di scorrimenti profondi. Fenditure continue tagliano la sede stradale e le pertinenze private, indicando un fenomeno a scala molto ampia che ha già portato all'evacuazione e all'abbattimento di diversi condomini (es. Condominio Miravalle). Per tale motivo, oltre alle indagini nel sottosuolo, è stato implementato un sistema di monitoraggio strutturale degli edifici presenti nell'area volto a misurare le deformazioni indotte dal cinematiso profondo. Sono stati

installati sensori ad alta risoluzione con scansione temporale continua a controllo remoto, sia sulle strutture con evidenti deformazioni e sia su strutture apparentemente non interessate dal fenomeno.

Sulla base dell'integrazione dei dati interferometrici, inclinometrici e sulle evidenze dello stato dei luoghi è stata redatta una carta della pericolosità basata su solo due differenti classi di importanza (fig. 61 ed Allegato 1): un'area di massima attenzione (zona rossa) ed un'area di attenzione (zona gialla).

Nella zona rossa gli edifici presenti risultano fortemente interessati dai fenomeni in atto; alcuni hanno avuto ordinanza di sgombero o in attesa, altri sono già stati demoliti o in via di demolizione. Nella zona gialla gli edifici presenti si trovano attualmente in condizioni di stabilità o necessitano di consolidamento statico e/o miglioramento sismico.

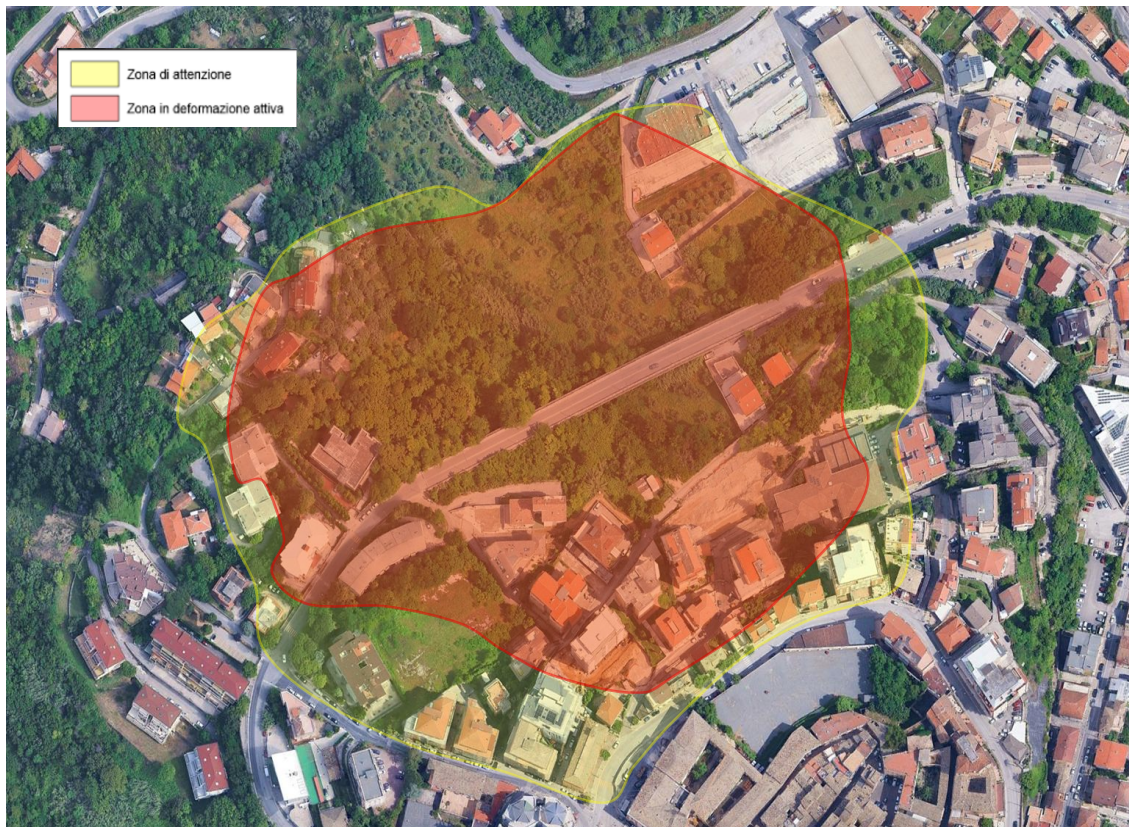


Figura 61– Area caratterizzata da deformazioni attive (zona rossa) e relativa fascia di attenzione (zona gialla).

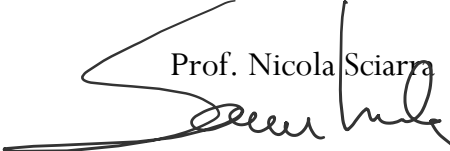
Si riporta, inoltre, come visibile in fig. 62, il quadro della situazione attuale in termini di evacuazioni e demolizioni eseguite o previste specificando gli edifici interessati.



Figura 62 – Area caratterizzata da deformazioni attive (zona rossa) e relativa fascia di attenzione (zona gialla).

In conclusione, il presente report ha riportato i risultati di un primo step di monitoraggio che conferma che **il sito in esame è interessato da una condizione di instabilità attiva da tenere in attenta osservazione al fine di assicurare la sicurezza dei luoghi e prevedere possibili accelerazioni del fenomeno**. Inoltre, è stata elaborata una perimetrazione delle aree ritenute più pericolose al fine della programmazione delle attività di messa in sicurezza dei luoghi.

Chieti, 12/04/2026

Prof. Nicola Sciarra


PhD Geol. Massimo Mangifesta
