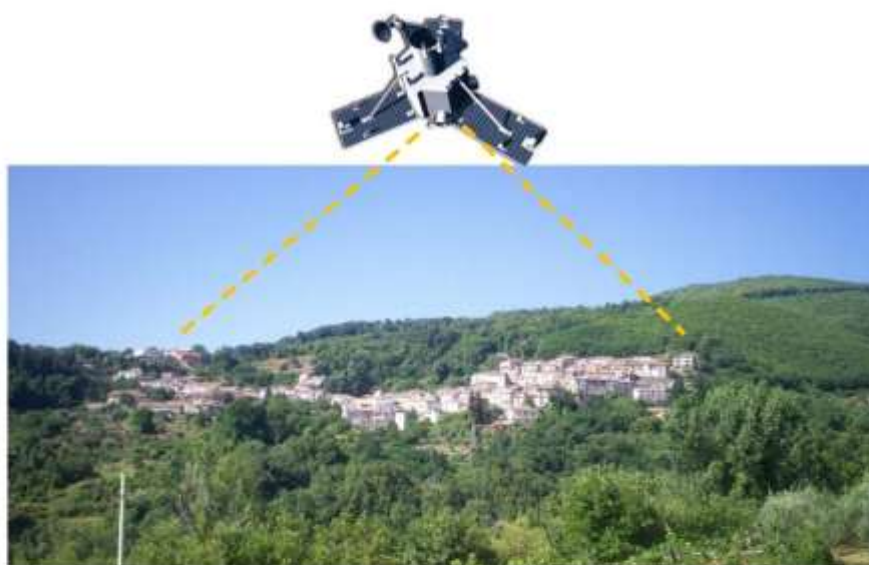




Progetto **A.M.A.Mi.R.**

“Azioni di **M**onitoraggio **A**vanzato per la **M**itigazione del **R**ischio
Idrogeologico nel Comune di San Martino di Finita”



RELAZIONE FINALE SINTETICA

Il Responsabile Scientifico: Prof. Geol. Carlo TANSI

*dott. geol. Carlo Tansi, Ricercatore CNR-IRPI Sede di Caserta – Via Cavour 6 – 87030 Rende (CS) Italia
tel.: +39.0984.841413; fax: +39.0984.41428; mob.: +39.335.6499906; e-mail: tansi@irpi.cnr.it*

31 marzo 2010

INTRODUZIONE	3
1-INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED OROGRAFICO	6
2-INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
2.1-Lineamenti geologici regionali.....	8
2.2-Lineamenti geologico-strutturali dell'area di San Martino di Finita.....	10
2.2.1-Stratigrafia.....	12
2.2.2 Lineamenti tettonici	12
3-L'INFLUENZA DELLA FAGLIA "S.FILI-CERZETO-S.MARCO ARGENTANO" SULLA FRANOSITA'	13
4-MOVIMENTI FRANOSI ED ANALISI DEI DANNI AGLI EDIFICI E ALLE INFRASTRUTTURE VIARIE DI SAN MARTINO DI FINITA	15
4.1-Descrizione dei movimenti franosi.....	15
4.2-Analisi dei danni ad edifici e infrastrutture viarie originati dai dissesti.....	16
5-INDAGINI GEOGNOSTICHE	20
5.1-Tomografia Elettrica di Resistivita'.....	20
5.2-Sondaggi meccanici a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo	21
5.2.1-Prove geotecniche di laboratorio.....	23
6-INTERPRETAZIONE DEL SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO E CONFRONTO DELLA STRATIGRAFIA CON I RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA	25
7-RACCOLTA ED ANALISI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE	26
8-LA RETE DI MONITORAGGIO A.M.A.MI.R.: CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO E DISTRIBUZIONE AREALE DEI SENSORI	26
8.1-Cenni sulla metodologia utilizzata.....	26
8.2- Caratteristiche della rete di monitoraggio	27
8.3. Ubicazione e documentazione fotografica dei sensori della rete A.M.A.MI.R.	30
8.3.1 Estensimetri da parete	30
Estensimetro E1.....	31
Estensimetro E2.....	32
Estensimetro E3.....	33
Estensimetro E4.....	34
Estensimetro E5.....	35
Estensimetro E6.....	36
Estensimetro E7.....	37
Estensimetro E8- 9	38
Estensimetro E11.....	39
Estensimetro E12.....	40
8.3.2-Inclinometri da parete	41

Inclinometro monoassiale Ip1	42
Inclinometro monoassiale Ip2	43
Inclinometro monoassiale Ip3	44
Inclinometro monoassiale Ip4	45
Inclinometro monoassiale Ip5	46
Inclinometro monoassiale Ip6	47
Inclinometro monoassiale Ip7	48
Inclinometro monoassiale Ip8	49
Inclinometro bi assiale Ipb1	50
8.3.3-Piezometri elettrici	51
Piezometro Pz2	52
Piezometro Pz3	53
Piezometro Pz4	54
Piezometro Pz5	55
8.3.4 Centralina di monitoraggio sorgente	56
8.3.5 Stazione Thermo-Pluviometrica	57
8.3.6-Stazioni di misura GPS	60
Stazione GPS fissa Gf2	61
Stazione GPS fissa Gf9	62
Stazione GPS mobile G3	63
Stazione GPS mobile G4	64
Stazione GPS mobile G5	65
Stazione GPS mobile G6	66
Stazione GPS mobile G7	67
Stazione GPS mobile G8	68
8.3.7. Inclinometri fissi da foro	69
9- il portale www.amamir.cnr.it	74
10-Presentazione ufficiale del Progetto A.M.A.Mi.R. ed inaugurazione del Centro Elaborazione Dati (C.E.D.)	77
11- Valutazione delle deformazioni di superficie e dell'andamento della falda idrica sotterranea - con particolare riferimento all'inverno 2008-2009 - mediante l'analisi storica dei dati derivanti dai sensori della rete AMAMIR	79
12- CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE CONDIZIONI DI DISSESTO GRAVITATIVO DELL'ABITATO DI SAN MARTINO DI FINITA	90
13-APPLICAZIONE DI AMAMIR, IN CONDIZIONI D'EMERGENZA, A SUPPORTO DEI PAESI MAGGIORMENTE COLPITI DALLE EMERGENZE ALLUVIONALI DELL'INVERNO 2008-09 E 2009-10	98
14- AMAMIR ON TV	102
15-ATTIVITA' IN CORSO DI SVOLGIMENTO NELL'AMBITO DEL PROGETTO AMAMIR	104
Bibliografia	105

INTRODUZIONE

La presente relazione espone la sintesi delle attività ed i risultati finali del Progetto A.M.A.Mi.R. ("Azioni di Monitoraggio Avanzato per la Mitigazione del Rischio Idrogeologico nel Comune di San Martino di Finita")¹ avviato alla luce della convenzione stipulata tra il Comune di San Martino di Finita ed il CNR-IRPI Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - Sede di Cosenza, attraverso un finanziamento stanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio in base al decreto DDS/DEC/2006 del 3.11.2006 (Finanziamento complessivo al Comune di San Martino di Finita di 1.500.000 euro di cui 439.000 utilizzati per il progetto A.M.A.Mi.R. e 1.061.000 utilizzati per la realizzazione di interventi di difesa idraulica).

La complessa storia geologica della Calabria ha predisposto i terreni che la costituiscono al dissesto idrogeologico, generando una franosità diffusa e variegata tanto per tipologia quanto dimensione dei dissesti: situazioni geologiche particolari predispongono i versanti a dissesti che possono raggiungere notevoli dimensioni fino ad interessare l'intero sistema crinale-fondo valle e mettere in serie condizioni di rischio i centri abitati che vi ricadono (Sorriso & Tansi, 1996). È questo il caso del centro abitato di San Martino di Finita, il cui centro storico ricade interamente su un vasto fenomeno franoso del quale si hanno notizie già dai primi del '900: il dissesto si estende in superficie per circa 2 km² (**tavola 1**) e si sviluppa nel sottosuolo fino a profondità che oltrepassano i 50 m (**tavola 5**).

La frana ha evidenziato negli ultimi anni inequivocabili segni di aumento dello stato d'attività: questa accelerazione è in parte imputabile allo stato di abbandono in cui versavano le opere di regimazione idraulica e, più in generale, alla mancanza di interventi di manutenzione sul territorio (prima degli interventi avviati dal Comune di S. Martino di Finita nell'ambito dei finanziamenti del Ministero dell'Ambiente) che influivano sul già precario stato d'equilibrio del dissesto. Questa situazione si evince dal confronto tra le foto aeree del 1954 e del 2003 (**fig.1**): come si può osservare, negli anni '50 i terreni sottostanti l'abitato risultavano coltivati, assicurando la manutenzione del territorio e, conseguentemente, la regimazione delle acque superficiali; nell'immagine del 2003 si osserva lo stato di abbandono degli stessi terreni.

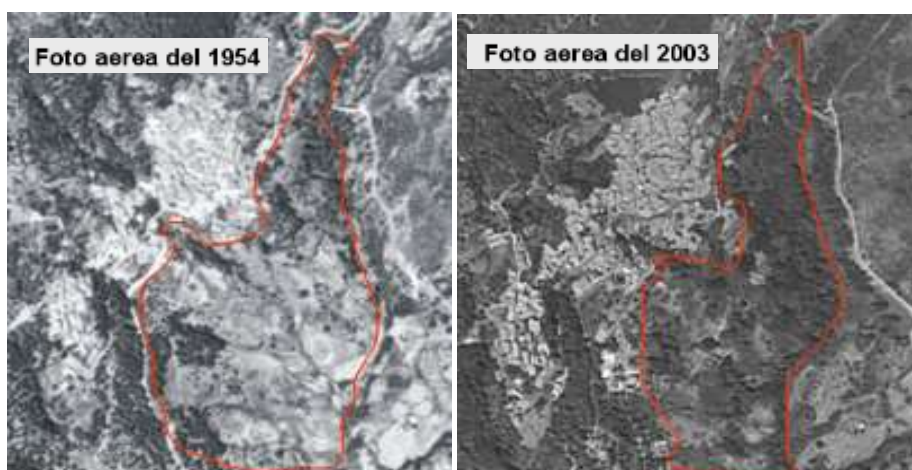


Figura 1 - Confronto tra le foto aeree del 1954 e del 2003. Nell'area circoscritta in rosso nell'immagine di sinistra si osservano i campi coltivati ai piedi del paese, assenti nell'immagine di destra.

¹ più estesamente riportati in quattro relazioni che descrivono altrettanti S.A.L. (relazioni sull'attività svolta nei periodi "28 marzo/15 dicembre 2007-1°SAL", "16 dicembre 2007/30 aprile 2008-2° SAL", "1 maggio 2008/22 gennaio 2009-3° SAL", "gennaio/dicembre 2009-4 SAL") trasmesse in data 2 febbraio 2010 al Dott. Lorenzo Pistocchi del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

Per dissesti di tali entità, gli interventi cosiddetti “strutturali” (consolidamenti, ecc.) non possono assumere carattere risolutivo ai fini della mitigazione del rischio da frana, finendo per risultare inefficaci o, in alcuni casi, addirittura controproducenti. In tal caso, l’unica via percorribile per la riduzione del rischio, orientata sia al controllo dell’evoluzione temporale delle frane, sia all’acquisizione di informazioni utili per la verifica dell’efficacia e la calibratura degli interventi di difesa idraulica, è rappresentata dal monitoraggio.

Il Progetto A.M.A.Mi.R., prevedendo la realizzazione di indagini geognostiche e l’allestimento di una fitta rete di monitoraggio estesa sull’intero centro abitato di San Martino di Finita, ha consentito di:

- a) definire i volumi mobilizzati dal dissesto attraverso l’individuazione della superficie di scorrimento allo scopo di ottimizzare il posizionamento dei sensori della rete di monitoraggio e fornire utili indicazioni ai Tecnici per una adeguata progettazione delle opere di difesa idraulica;
- b) comprendere i cinematismi del dissesto e la loro evoluzione;
- c) verificare il grado di influenza delle variazioni delle condizioni meteorologiche sul dissesto;
- d) verificare il grado di influenza della circolazione idrica superficiale e sotterranea sul dissesto;
- e) desumere importanti correlazioni tra l’andamento delle precipitazioni e della falda idrica nel sottosuolo ed i cinematismi superficiali e profondi del dissesto, nonché i relativi tempi di risposta;
- f) verificare l’efficacia delle opere di difesa idraulica previste e consentire un loro controllo strumentale nel tempo.

Il costante controllo in tempo reale di tutti i parametri che influenzano la frana di San Martino di Finita, avviene tramite la visualizzazione dei grafici relativi ai sensori sul portale www.amamir.cnr.it.

Il progetto A.M.A.Mi.R. ed il relativo sito internet, sono stati presentati in occasione di un Convegno - patrocinato dalla Protezione Civile Nazionale, dal Consiglio Nazionale dei Geologi e dal Dipartimento Terra e Ambiente del Consiglio Nazionale delle Ricerche - svoltosi a Rende il 18 giugno 2008. Il convegno ha visto una nutrita partecipazione ed ha avuto risalto sui *media* regionali. Alla manifestazione sono intervenuti autorevoli relatori, tra i quali Mario Tozzi², ed hanno partecipato numerosi tecnici ed amministratori provinciali e regionali, nonché i sindaci di comuni interessati da problematiche connesse con il rischio da frana. Nella medesima giornata è stata inaugurata, presso l’edificio dell’ex-scuola media di San Martino di Finita, la sede C.E.D. (Centro Elaborazione Dati) del Progetto A.M.A.Mi.R., opportunamente attrezzata di personal computer per l’acquisizione, l’elaborazione e la restituzione, in tempo reale, dei dati provenienti dai sensori, sul sito www.amamir.cnr.it.

Diversi sono stati gli effetti sortiti dal Progetto A.M.A.Mi.R. in ambito locale e nazionale:

- Durante le note e drammatiche emergenze alluvionali che hanno colpito la Calabria durante le stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010 il sistema A.M.A.Mi.R. ha rappresentato un concreto, valido e utile sussidio per l’Amministrazione Provinciale di Cosenza nella delicata gestione dell’emergenza, a supporto dei paesi maggiormente colpiti dai dissesti. Su richiesta dei sindaci la rete di monitoraggio AMAMiR è stata estesa anche ad altri paesi interessati da frane che minacciavano alcuni nuclei abitativi ed infrastrutture (Cetraro, Roggiano Gravina, Rossano, Montalto Uffugo, San Marco Argentano, Mongrassano e Parenti);

² Mario Tozzi, oltre che divulgatore scientifico noto al grande pubblico come conduttore ed autore della trasmissione televisiva “Gaia, il Pianeta che vive”, già collaboratore delle trasmissioni “Che Tempo che fa”, “GEO & GEO” e “King Kong”, è un appassionato geologo e primo ricercatore del Consiglio Nazionale delle Ricerche. E’ inoltre consulente scientifico della rivista scientifica “National Geographic e collabora a vari quotidiani e periodici, tra cui “La Stampa”.

- L'Amministrazione provinciale di Cosenza ha manifestato interesse nel considerare il sistema AMAMiR come strumento per la mitigazione del rischio idrogeologico e, alla luce di una convenzione con il CNR-IRPI, ha inteso estendere la rete di monitoraggio ad altri paesi (Cerzeto, Cervicati, San Benedetto Ullano, Rota Greca, Lattarico, Rende, San Vincenzo La Costa, San Fili) che hanno rappresentato i territori maggiormente colpiti dagli eventi alluvionali durante le stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010. L'accordo è stato ufficializzato in occasione di un convegno (svoltosi il 19 maggio 2009) durante il quale il Presidente della Provincia ha preannunciato la volontà di estendere la rete di monitoraggio A.M.A.Mi.R. all'intero territorio provinciale;
- Il Progetto AMAMiR ha suscitato l'attenzione delle televisioni nazionali, che ne hanno sottolineato le caratteristiche innovative attraverso servizi approfonditi andati in onda sulle reti Rai, Mediaset e La7.

I risultati degli studi illustrati nella presente relazione, vengono restituiti nei seguenti elaborati cartografici (in scala variabile tra 1:1000 e 1:2000), allegati:

- **Tavola 1:** "Carta geologico-strutturale";
- **Tavola 2:** "Carta geomorfologica";
- **Tavola 3:** "Carta delle fratture al suolo";
- **Tavola 4:** "Carta geologico-strutturale con ubicazione delle indagini geognostiche, colonne stratigrafiche e tomografia elettrica";
- **Tavola 5:** "Sezione tomografica interpretativa e confronto con la stratigrafia del sondaggio meccanico profondo";
- **Tavola 6:** "Ubicazione e documentazione fotografica dei sensori";
- **Tavola 7:** "Carta del drenaggio urbano";
- **Tavola 8:** "Carta di sintesi dei dati geologici-geomorfologici, idrogeologici, geognostici e della rete di monitoraggio".

1-INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ED OROGRAFICO

Il centro storico di San Martino di Finita ricade lungo il bordo orientale della Catena Costiera Calabra. Si sviluppa, in direzione E-W, a quote comprese tra 650 m e 380 m s.l.m. ed è delimitato a nord dal Torrente Finita e a sud dal Torrente Coscinello (**fig.2**).



Figura 2 – Immagine satellitare del tratto della Catena Costiera su cui sorge il centro storico di San Martino di Finita (riquadro)

Le peculiari condizioni geologiche, la particolare morfologia e la sensibile presenza d'acqua sotterranea, rendono le condizioni di stabilità di quasi tutto l'abitato assai precarie, al punto che gran parte di esso è compreso in aree PAI-Calabria (**fig.3**) a rischio R4 (possibili "danni funzionali e strutturali agli edifici

ed alle infrastrutture” e possibili “vittime, feriti, sfollati e/o senza-tetto e danni alle attività socio-economiche”³) e, in minore misura, a rischio R3 (possibili “danni funzionali e strutturali agli edifici ed alle infrastrutture” e possibili “sfollati e/o senza-tetto e danni alle attività socio-economiche”⁴).

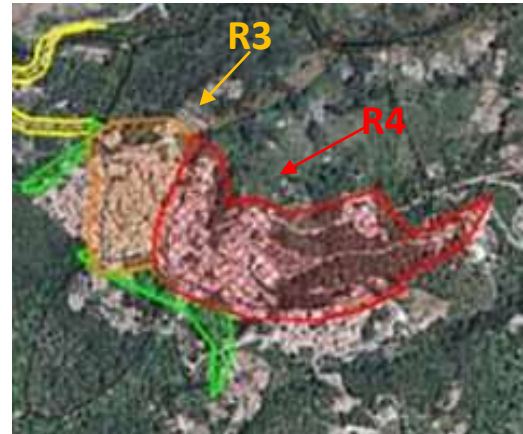


Figura 3 -“Carta inventario delle frane e delle relative aree a rischio” PAI-Calabria (D. L. 180/98) Comune di San Martino di Finita

L’abitato di San Martino di Finita è suddiviso in cinque quartieri: Baracche, Borgo, Rajhio, Piazza e Maglicat. Come è possibile notare dalla **figura 4**, tutti i quartieri sono coinvolti in fenomeni di dissesto (zone R3 ed R4), ad eccezione del quartiere Baracche.



Figura 4-Perimetrazioni delle aree a rischio R4 ed R3 (PAI) e quartieri dell’abitato di San Martino di Finita

I visibili danni agli edifici ed alle infrastrutture sono la chiara testimonianza delle condizioni del dissesto idrogeologico.

³ estratto dall’allegato tecnico del PAI Calabria

⁴ estratto dall’allegato tecnico del PAI Calabria

2-INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1-Lineamenti geologici regionali

L'area di San Martino di Finita ricade lungo il bordo occidentale del *graben* del Crati, una depressione tettonica d'età plio-quadernaria (SORRISO-VALVO & TANSI, 1996), strutturata da faglie normali attive ad andamento N-S che ne definiscono la forma tipicamente stretta ed allungata. Tali faglie delimitano i depositi clastici di riempimento del *graben* (COLELLA *et alii*, 1987) dalle rocce cristallino-metamorfiche paleozoico-cretaciche che costituiscono gli *horst* della Catena Costiera e della Sila (fig.5). Le faglie, che evidenziano movimenti da normali a normal-trascorrenti destri e presentano piani ad andamento sub-verticale, sono connesse ad una fase tettonica distensiva perdurata dal Pliocene sup. (LANZAFAME & TORTORICI, 1981), particolarmente intensa dal Pleistocene medio, e tuttora attiva (GASPARINI *et alii*, 1982; GUERRA, 1986; TORTORICI *et alii*, 1995).

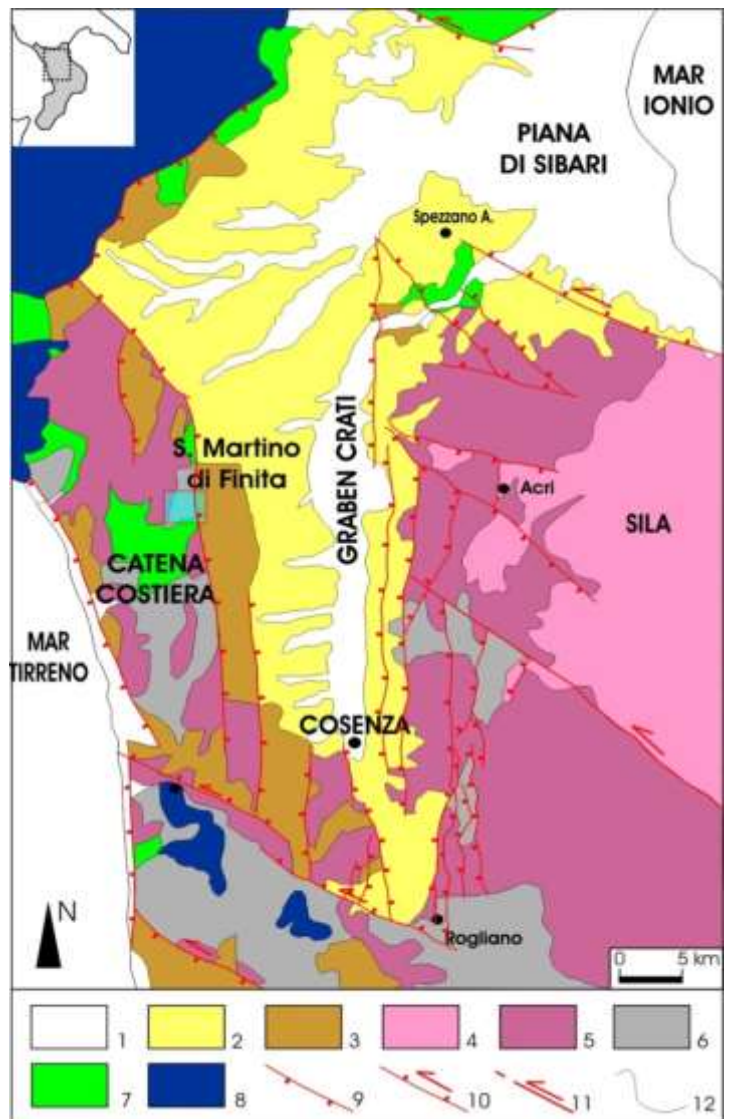


Figura.5–Schema neotettonico della Calabria settentrionale (tratto da TORTORICI, 1982 e da VAN DIJK *et al.*, 2000, mod.).
 Legenda: 1) depositi olocenici; 2) sedimenti del Pliocene sup.-Pleistocene; 3) sedimenti alto-miocenici; 4) Unità di Longobucco (Paleozoico-Oligocene?); 5) Unità Calabridi (Unità di Polia-Copanello e Unità di Monte Gariglione; Paleozoico); 6) Unità di Bagni (Paleozoico); 7) Unità Liguridi (Unità del Frido ed Unità Ofiolitiche; Giurassico-Cretaceo inferiore); 8) Unità carbonatiche appenniniche (Triassico medio-Miocene inferiore); 9) faglie dirette; 10) faglia normale con componente trascorrente; 11) faglia trascorrente. 12) limite stratigrafico.

Le stesse faglie rappresentano la porzione più settentrionale della "rift-zone siculo-calabra" (MONACO & TORTORICI, 2000), un sistema di faglie attive di rilevanza regionale, con direzioni variabili tra N-S e NE-SO, che si estende dalla costa orientale della Sicilia, attraverso lo Stretto di Messina, fino al settore nord-occidentale della Calabria, dove si identifica con il *graben* del Crati (fig.6). La natura sismogenetica della *rift-zone* è testimoniata dai caratteri della sismicità storica e strumentale, essendo marcata dalle aree macrosismiche dei più forti terremoti che hanno interessato la Calabria e dagli epicentri strumentali degli ultimi trenta anni.

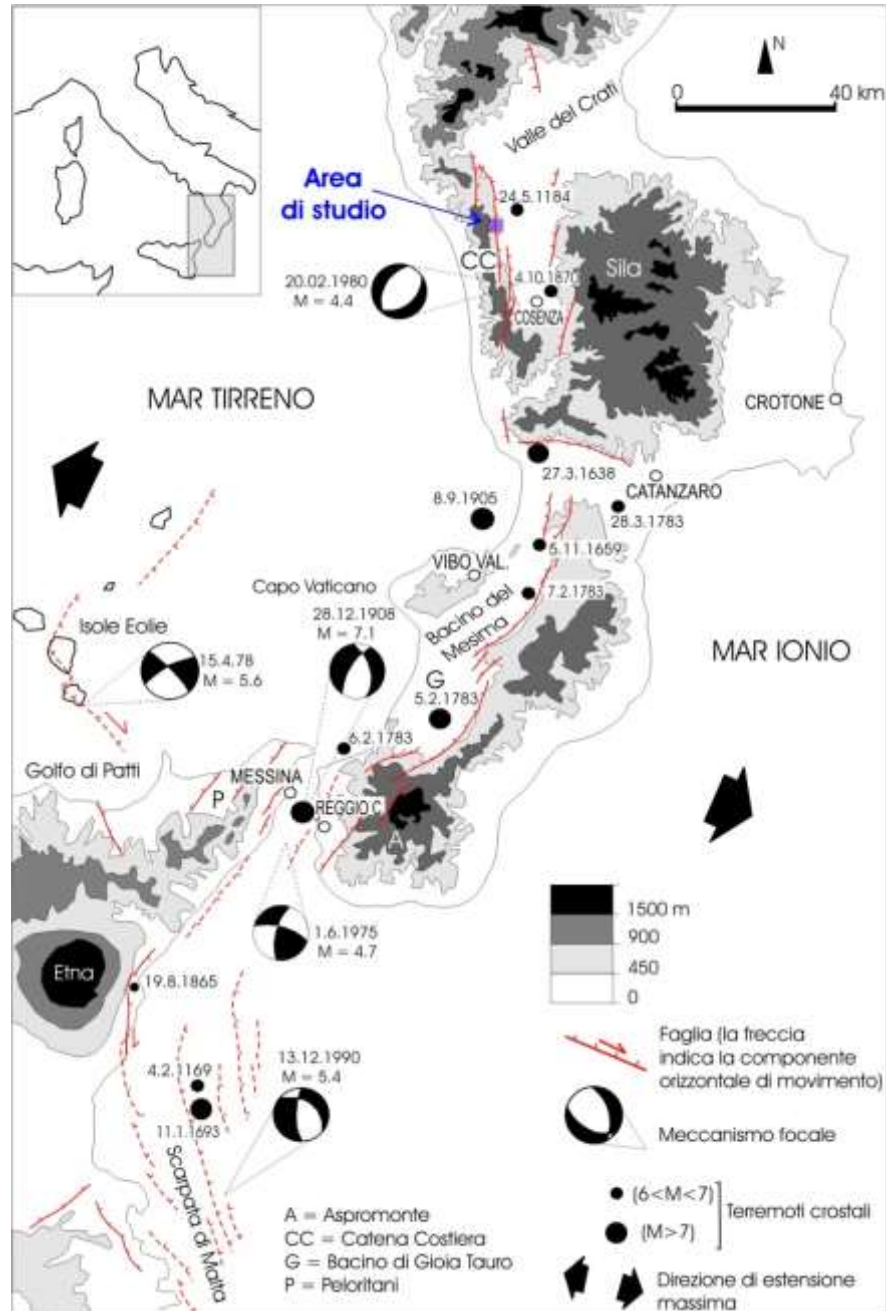


Figura 6 - Schema sismotettonico dell'Arco Calabro e della Sicilia orientale (da: Monaco & Tortorici, 2000, modificato). Sono riportati i terremoti cristalli (profondità < 35 km) a partire dal 1000 d.C. (dati tratti da: Postpischl, 1985; Boschi et alii, 1995).

2.2-Lineamenti geologico-strutturali dell'area di San Martino di Finita

L'area di San Martino di finita è attraversata dalla nota faglia di rilevanza regionale "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano" che si sviluppa per oltre 30 km in superficie e circa 10 km in profondità. La faglia è marcata da una scarpata che raggiunge i 600-700 m d'altezza corrispondente, da un punto di vista morfologico, ad una netta variazione della pendenza del versante (**figg.7 e 8**). Essa è inoltre caratterizzata, in affioramento, da piani sub verticali, immergenti verso E, incisi da strie con inclinazioni comprese tra 60° e 90° che indicano una debole componente di trascorrenza destra (TANSI *et al.*, 2005). La faglia, delimita il bordo occidentale del *graben* del Crati, sollevando i litotipi cristallino-metamorfici dell'*horst* della Catena Costiera rispetto ai depositi sedimentari tortoniano-quadernari di riempimento del *graben* (**fig. 8**).

Al fine di valutare il grado d'influenza delle strutture tettoniche associate alla faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano" sulla franosità dell'area di San Martino di Finita, è stata effettuata un'analisi integrata dei caratteri macro e meso-strutturali. Tale analisi ha consentito di definire i cinematismi delle faglie recenti e di produrre modelli lito-strutturali che caratterizzano adeguatamente la complessità geologica del sito, con grado di dettaglio spinto opportunamente alla scala dei singoli fenomeni gravitativi. Gli studi macrostrutturali delle faglie recenti sono stati eseguiti attraverso l'interpretazione di immagini da satellite e di foto aeree, e successivi itinerari di controllo sul terreno. Una volta individuate, le strutture e le morfostrutture tettoniche sono fatte



Figura 7- Espressione superficiale della faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano".

oggetto di studi mesostrutturali (analisi di indicatori cinematici, quali piani di faglia striati, superfici R-R', ecc.) che hanno consentito di comprovare la natura tettonica dei lineamenti individuati alla macroscale, valutare le direzioni di spostamento tra i differenti blocchi, definire la cronologia e le direzioni degli sforzi principali medi e classificare così in dettaglio la tipologia di struttura. Gli stili strutturali di superficie sono stati confrontati ed affinati con dati di sottosuolo. Al fine di verificare i cinematismi del campo di stress tardivo e di meglio definire i limiti tra deformazioni tettoniche e gravitative, un notevole contributo è stato fornito dalle misure degli spostamenti desunti dalla rete GPS; queste hanno consentito di:

- discriminare le strutture d'origine tettonica (cinematicamente compatibili con il campo di *stress* regionale) da quelle d'origine tettono-gravitativa o gravitativa profonda (settori di "disuniformità" delle giaciture degli indicatori cinematici rispetto al campo di stress regionale),
- discretizzare quelle zone che, per motivi tettonici e/o gravitativi, risultano maggiormente attive e quindi rappresentano settori a più elevato rischio.

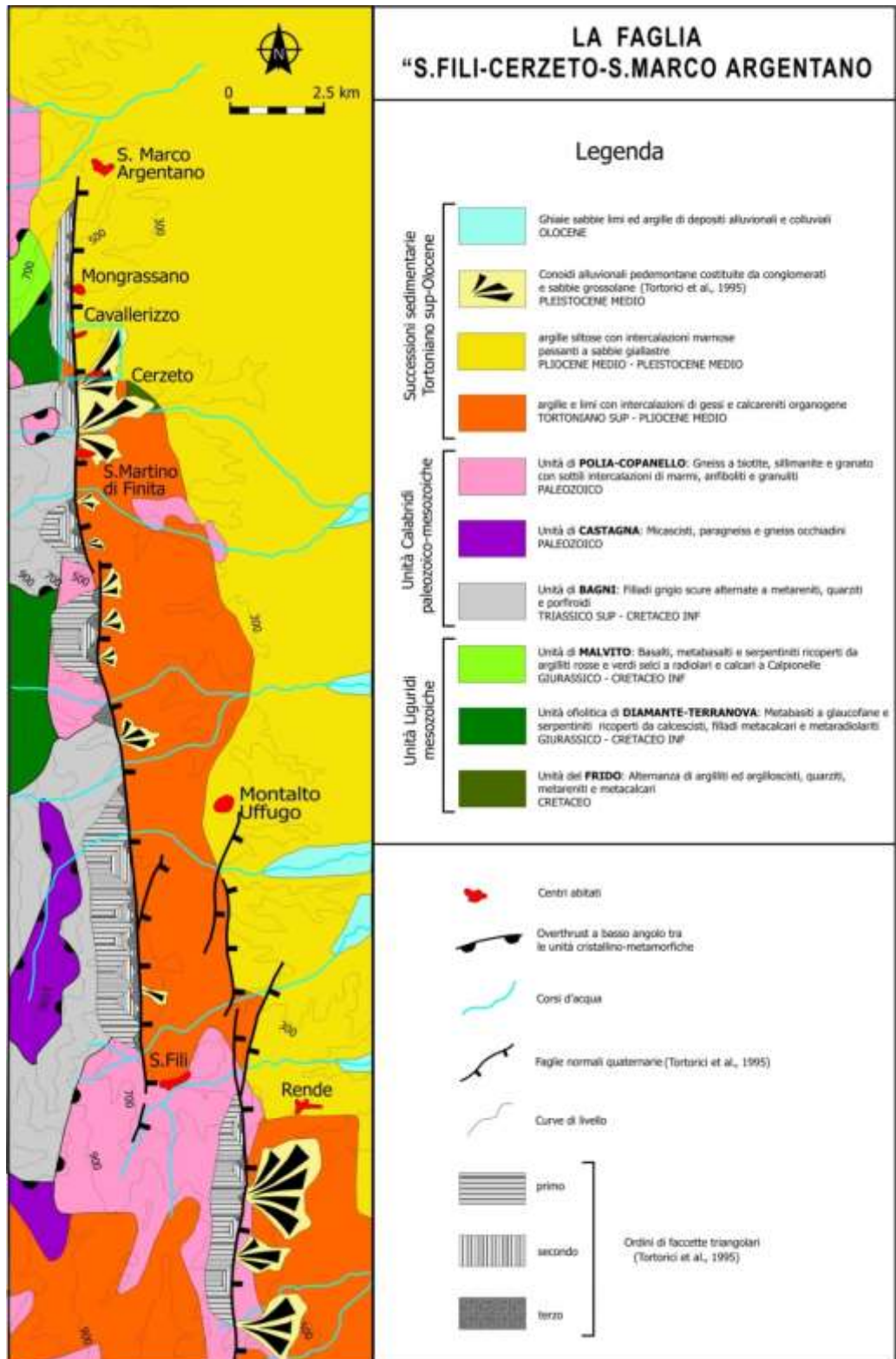


Figura 8 - Caratteri geologico-strutturali e morfoneotettonici dell'area della faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano" (da Tortorici et alii, 1995, modificato).

I caratteri stratigrafici e strutturali dell'area dell'abitato di San Martino di Finita sono derivati da un rilievo di campagna eseguito in scala 1:2000, rappresentato nella **tavola 4**.

2.2.1-Stratigrafia

Substrato cristallino-metamorfico. Affiora diffusamente nel settore occidentale e centrale dell'area in esame, ed è costituito da rocce cristallino-metamorfiche paleozoico-cretaciche, appartenenti all'Arco Calabro e riferibili a tre unità tettoniche (AMODIO-MORELLI *et alii*, 1976), rappresentate, dalla più bassa alla più elevata strutturalmente, da scisti filladici cretacei (*Unità del Frido*, AMODIO-MORELLI *et alii*, 1976); da metabasiti, calcari cristallini e metaradiolariti cretaciche (*Unità Ofolitica di Diamante-Terranova*, TORTORICI, 1982) e da gneiss e scisti biotitico-granatiferi paleozoici (*Unità di Polia Copanello*, AMODIO-MORELLI *et alii*, 1976).

Depositi plio-quadernari. Sono costituiti dai depositi di riempimento della *graben* del Crati ed affiorano nel settore orientale dell'area di studio. Tali depositi sono rappresentati da (TANSI, 2005):

- una successione evaporitica del Tortoniano-Messiniano costituita da argille e limi di colore grigio-chiaro con tipiche intercalazioni di gessi biancastri e di calcareniti organogene bianco-giallastre;
- una successione marina del Pliocene superiore-Pleistocene medio rappresentata da argille siltose dal tipico colore grigio-azzurro con intercalazioni marnose, passanti verso l'alto a sabbie giallastre;
- tale successione è ricoperta in *uncomformity* da depositi di conoide conglomeratico-sabbiosi del Pleistocene medio che marciano la base della scarpata della faglia "S. Fili-Cerzeto-S. Marco Argentano";
- depositi olocenici rappresentati dalle alluvioni dei tributari del Crati e da depositi colluviali dal tipico color tabacco.

2.2.2 Lineamenti tettonici

Le strutture tettoniche riconosciute nell'area di studio (**tavola 1**), vengono nel seguito descritte

Sovrascorrimenti. Sono connessi alla strutturazione della Catena Costiera ed hanno età compresa tra il Cretaceo superiore ed il Miocene determinando la sovrapposizione tra unità tettoniche e, in particolare, nell'area di studio, dell'*Unità di Polia Copanello* sulle *Unità del Frido* e di *Diamante-Terranova*. Essendo legate a fasi tettoniche molto antiche, non hanno alcun significato morfologico e si rinvencono soltanto alla scala dell'affioramento esclusivamente all'interno del substrato cristallino-metamorfico, dove evidenziano piani sub-orizzontali a vergenza orientale, con direzioni medie N-S, accompagnati localmente da fasce milonitiche.

Faglie normali. Presentano direzioni medie N-S ed immersione media verso E e, nel complesso, costituiscono un sistema a gradinata che culmina con la faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano". Quest'ultima è marcata da indicatori morfoneotettonici (faccette triangolari e/o trapezoidali, discontinuità altimetriche di crinale) che evidenziano un elevato grado di "freschezza morfologica" e condiziona profondamente il reticolo di drenaggio, costituito da valli profondamente incise o piatte, presenti, rispettivamente, sul blocco sollevato o ribassato della faglia. La continuità morfologica degli indicatori morfoneotettonici legati alla faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano", si interrompe vistosamente in corrispondenza del centro abitato di San Martino di Finita a causa del vasto movimento gravitativo. Alla mesoscala le faglie normali hanno evidenziato piani sub-verticali (inclinazioni comprese tra 60 e 90°) ad orientamento variabile tra N170E e N25E, immergenti in prevalenza verso E. Gli indicatori cinematici documentano una componente di movimento che passa gradualmente da debolmente sinistrorsa (*pitch* inclinati fino a 70° verso sud) a *dip-slip* (*pitch* di 90°).

3-L'INFLUENZA DELLA FAGLIA "S.FILI-CERZETO-S.MARCO ARGENTANO" SULLA FRANOSITA'

Una faglia non può essere considerata soltanto una singola discontinuità nella roccia, ma viene spesso accompagnata, al suo intorno, da una fascia di deformazione, più o meno spessa, caratterizzata da repentini aumenti negli indici di fratturazione (fig. 9).

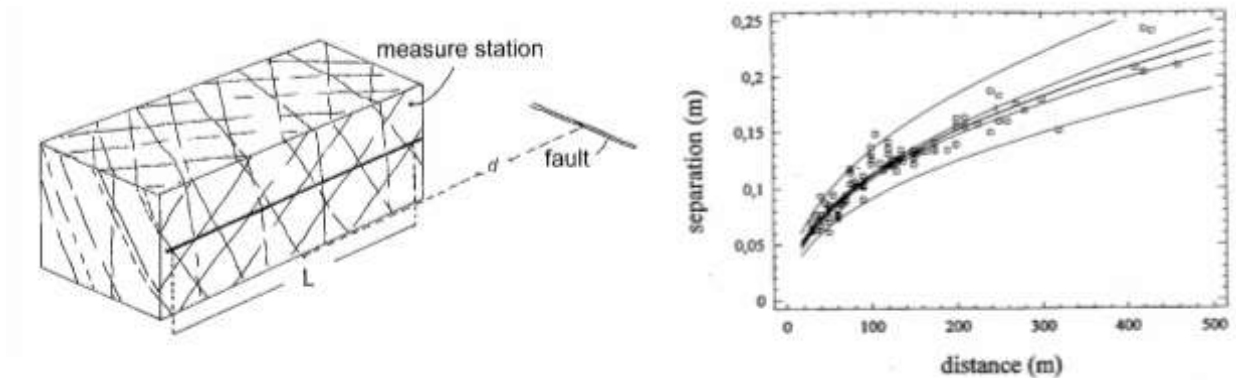


Fig. 9 Analisi quantitativa degli spessori delle fasce di fratturazione tettonica (TANSI *et alii*, 2000)

Le fasce di debolezza strutturale assumono un ruolo preminente nel definire le proprietà litotecniche dei materiali e guidano lo sviluppo dei processi di degradazione fisico-chimica delle rocce (CARRARA *et alii*, 1982; MATANO & TANSI, 1994). Inoltre esse sono caratterizzate da incrementi della trasmissività, richiamando cospicui quantitativi di acqua di circolazione sotterranea. Per i suddetti motivi tali fasce predispongono i versanti al franamento.

La *master fault* "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano" è accompagnata da una fascia cataclastica che raggiunge spessori fino a 500m, lungo la quale le rocce tendono a ridursi in breccia e, talora, in farina di faglia (fig.10a). Tale fascia rappresenta un importante limite idrogeologico poiché tende a richiamare l'acqua di circolazione sotterranea dell'imponente falda idrica contenuta all'interno delle rocce permeabili per fratturazione della Catena Costiera.



Fig. 10b–Influenza sulla circolazione idrica sotterranea dalla fascia di fratturazione legata alla faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano".



Fig.10a – La fascia cataclastica connessa alla faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano".

La falda, trovando nel suo percorso sotterraneo l'impedimento costituito dall'enorme "diga" rappresentata dalle argille (impermeabili) che ne bloccano il deflusso (fig.10b), sfoga la sua enorme pressione in corrispondenza della fascia di

fatturazione riversando cospicui quantitativi d'acqua in superficie: questo è testimoniato dal gran numero di sorgenti che marciano l'intera fascia pedemontana della Catena Costiera proprio in corrispondenza dell'emergenza in superficie della faglia "S.Fili-Cerzeto-S.Marco Argentano" (**fig.11**).

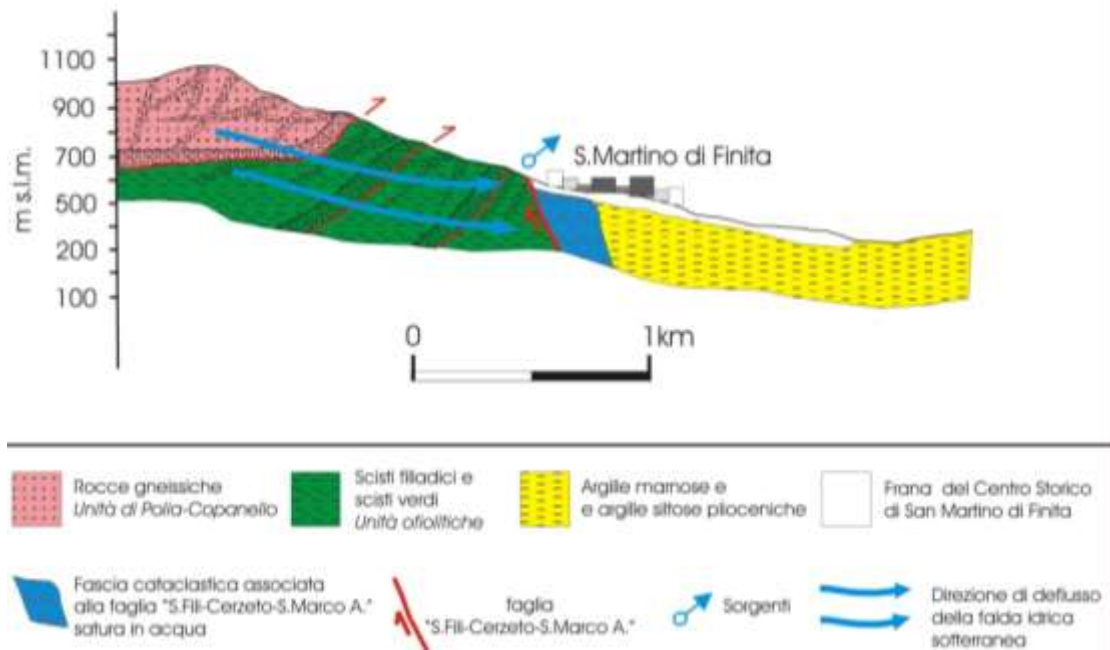


Fig. 11 – Sezione idrogeologica ad andamento E-W dell'area di San Martino di Finita.

L'abbondante presenza di acqua unitamente alle precarie caratteristiche geotecniche dei materiali che costituiscono la fascia cataclastica, determinano una franosità particolarmente diffusa, con dissesti sia superficiali che profondi che caratterizzano l'intera area pedemontana della Catena Costiera calabra coinvolgendo gran parte dei territori comunali di S. Fili, San Vincenzo la Costa, Montalto Uffugo, Lattarico, San Benedetto Ullano, Rota Greca, San Martino di Finita, Cerzeto, Mongrassano e San Marco Argentano (**figg. 7 e 8**): non è un caso che proprio lungo tale fascia si sia originata la grande frana che il 7 marzo 2005 ha raso al suolo l'abitato di Cavallerizzo di Cerzeto (lunghezza = 500m, lunghezza = 1000m, profondità = 40 m, area interessata = 350.000 m², metri cubi di materiale mobilizzato = 5 milioni; **fig.12**).

Su queste condizioni predisponenti già di per sé critiche, precipitazioni intense e prolungate nel tempo, possono determinare l'innalzamento generalizzato del livello piezometrico e l'innescare di fenomeni franosi anche di vaste dimensioni.



Fig. 12 – La frana di Cavallerizzo di Cerzeto del 7 marzo 2005.

4-MOVIMENTI FRANOSI ED ANALISI DEI DANNI AGLI EDIFICI E ALLE INFRASTRUTTURE VIARIE DI SAN MARTINO DI FINITA

4.1-Descrizione dei movimenti franosi

Nella **tavola 2** sono rappresentati i fenomeni franosi che interessano il centro abitato di San Martino di Finita. Nell'elaborato cartografico sono rappresentati i dissesti riconosciuti alla luce di un'analisi aerofotointerpretativa dai ricercatori del CNR-IRPI (Sede di Perugia) e di successivi controlli sul terreno compiuti dallo scrivente e da due collaboratori assegnisti di ricerca nell'ambito del Progetto AMAMIR, nel periodo aprile-ottobre 2007. Dall'analisi fotointerpretativa e dal rilevamento geologico sul terreno, sono stati riconosciuti due fenomeni gravitativi principali, che evidenziano chiari segni di attività, ascrivibili al tipo "scorrimento-rotazionale" che evolvono in fenomeni di tipo "colata" verso valle (classificazione di CRUDEN & VARNES, 1996).

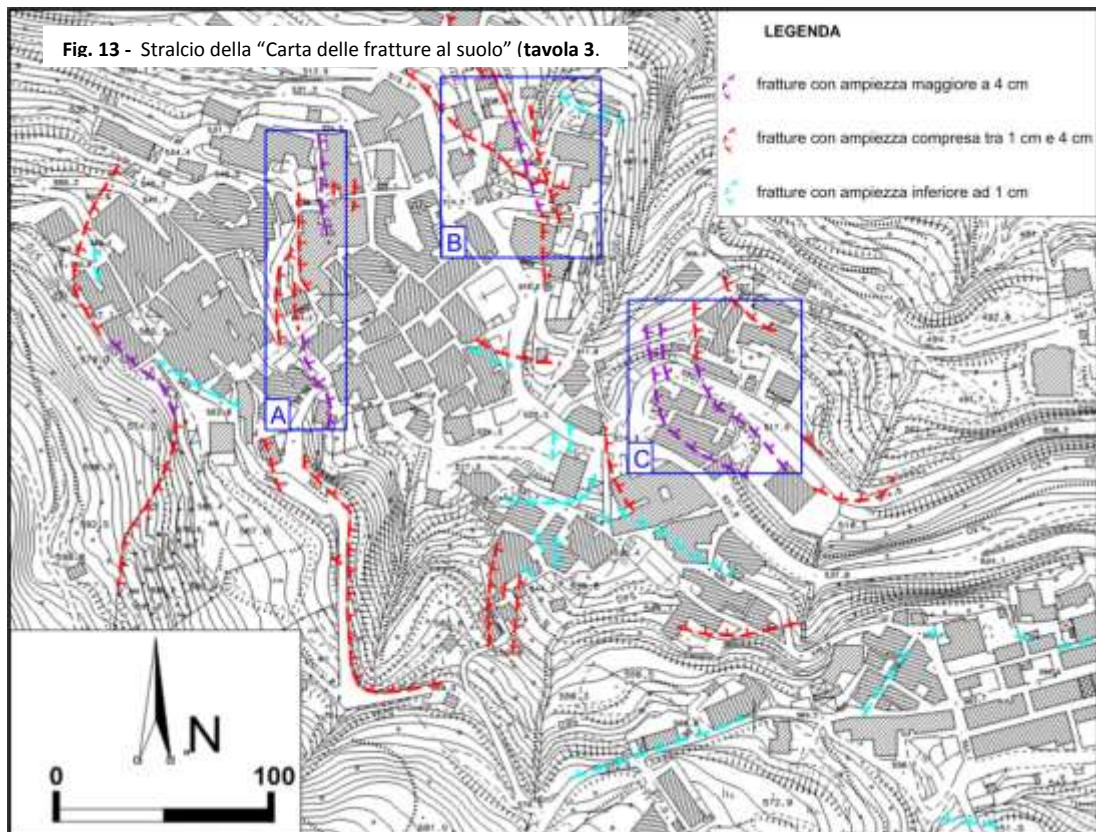
- a) Il primo fenomeno presenta dimensioni complessive considerevoli (lunghezza = 500 m circa, larghezza = 380 m circa) e coinvolge quasi interamente l'abitato di San Martino di Finita. La scarpata principale del fenomeno si origina in corrispondenza della fascia cataclastica associata alla faglia "S. Fili – Cerzeto – S. Marco", a quote intorno ai 560-580 m s.l.m. Verso valle il fenomeno si differenzia in movimenti compositi ed articolati rappresentati da corpi di frana delimitati da scarpate secondarie che tendono a sovrapporsi. Tra tali corpi, quello di maggiori dimensioni (lunghezza = 350 m, larghezza = 200 m), coinvolge interamente il rione Borgo e lambisce ad est i rioni Piazza e Maglicat. Sul suddetto fenomeno si sovrappone un dissesto di minore estensione dalla forma tipicamente allungata (lunghezza = 360 m, larghezza = 140 m) che coinvolge quasi interamente i rioni Rahjio, Piazza e Maglicat. Infine si riconosce un terzo fenomeno franoso di minore importanza che lambisce ad ovest i tre suddetti rioni (lunghezza = 240 m, larghezza = 80 m). Fenomeni di minore importanza si rinvergono all'interno del corpo di frana principale. Le masse instabili descritte, nel complesso evidenziano chiari indizi di attività. L'evoluzione morfologica risulta particolarmente critica in corrispondenza del piede del fenomeno franoso principale, a ridosso del torrente Finita, dove copiosi quantitativi di acqua scaturiscono nel settore di contatto tra il detrito di versante coinvolto nei fenomeni gravitativi e le sottostanti argille: tali condizioni rappresentano un elemento fortemente destabilizzante nella porzione più vulnerabile del dissesto, il piede. Per tali motivi, particolare attenzione è stata posta proprio su questa zona attraverso rilievi di campagna indirizzati a caratterizzarne con il massimo dettaglio le peculiarità geologico-geomorfologiche, idrogeologiche, nonché l'andamento della rete di drenaggio urbano (**tavole 7 e 8**). Le informazioni di superficie sono state integrate e completate da informazioni di sottosuolo.
- b) Il secondo fenomeno presenta una forma tipicamente sub-rettangolare (lunghezza = 350 m, larghezza 160 m) e coinvolge la porzione più orientale dell'abitato di San Martino, interessata da edifici di recente costruzione, compresa tra il rione Baracche e la loc. Fonte delle Donne. La scarpata principale del dissesto si sviluppa a quote intorno a 525 m s.l.m.; poco più a valle, immediatamente al di sotto della strada provinciale, è riconoscibile la scarpata secondaria. Infine ancora più a valle, sul corpo di frana principale si sovrappongono due fenomeni secondari più superficiali dalla forma tipicamente allungata (240 x 70 m, 160 x 50 m): questi si sviluppano dalla porzione mediana fino all'area di piede del fenomeno principale e risultano particolarmente attivi.

Oltre ai due fenomeni principali sopra descritti, il versante settentrionale che borda l'abitato di San Martino di Finita, è interessato da una frana minore, anch'essa attiva, che lambisce il rione Maglicat: essa presenta un contorno tipicamente sub-quadrato (140 x 140 m) ed è caratterizzata da movimenti superficiali - di tipo "scorrimento" - di materiale detritico e metamorfico degradato al di sopra substrato più integro. Il settore di distacco è reso evidente da deformazioni e fratture sugli edifici e sui muri di contenimento che costeggiano la strada provinciale.

4.2-Analisi dei danni ad edifici e infrastrutture viarie originati dai dissesti

I rilievi sul terreno hanno avuto altresì lo scopo di rilevare e cartografare i danni subiti dalle strutture antropiche connessi ai movimenti franosi in atto che coinvolgono il centro abitato di San Martino di Finita. Dall'analisi degli effetti di tali fenomeni, particolarmente visibili sugli edifici, sui muri di contenimento e sul manto stradale – quali fratture d'estensione localmente interessate da spostamento – si è giunti all'elaborazione di una "Carta delle fratture al suolo" in scala 1:2.000 (**Tavola 3**) sulla quale le fratture sono state classificate in base alla loro ampiezza e rappresentate con colori diversi (**fig.13**). In particolare:

- in **viola** sono state rappresentate le fratture con apertura maggiore di 4 cm;
- in **rosso**, le fratture con apertura compresa tra 4 e 1cm;
- in **celeste**, le fratture con apertura inferiore di 1 cm.



Gran parte del centro abitato evidenzia un quadro fessurativo critico, poichè esigue sono le aree esenti da danni. La maggior parte delle fratture presentano una discreta continuità spaziale e, sviluppandosi sul terreno per diverse decine di metri, testimoniano gli effetti superficiali di un dissesto profondo di vaste proporzioni. L'ampiezza delle fratture è proporzionale al loro sviluppo areale. Alcune aree

dell'abitato di San Martino di Finita hanno evidenziato un quadro fessurativo superficiale particolarmente critico:

- A. in primo luogo, l'area situata subito a monte dell'edificio comunale (**riquadro "A" in fig.13**), diffusamente caratterizzata da fratture con apertura maggiore di 4 cm, che interessano opere di contenimento antiche ed alcune abitazioni (**figg. 14 e 15**). Tali fratture rimarcano la scarpata del corpo principale della frana di San Martino di Finita.



Fig.14–Frattura su un muro di contenimento situato a monte dell'edificio comunale di S. Martino di Finita



Fig.15–frattura sub-orizzontale che interessa la base di un edificio privato.

- B. Nella zona sottostante il municipio (**riquadro "B" in fig.13**), nei pressi dell'anfiteatro di recente costruzione, sono evidenti altre importanti fratture (apertura maggiore di 4 cm) che evidenziano una certa continuità spaziale, attraversando l'anfiteatro e propagandosi alle abitazioni limitrofe (**figg. 16 e 17**).



Fig.16–Lesioni al muretto di recinzione di abitazione privata adiacente ad anfiteatro.



Fig.17 – Fratture nei muri di sostegno realizzati a protezione dell'anfiteatro.

- C. La zona intorno all'ex scuola media (**riquadro "C" in fig.13**). Essa è caratterizzata da diffuse fratture di diametro ben più ampio di quattro centimetri che rimarcano il settore di distacco del corpo di frana che costituisce la porzione SE del dissesto principale. Le fratture sono ben visibili sul manto stradale, sui muri di sostegno e su quasi tutti gli edifici presenti (**figg.18 e 19**).



Fig.18–Particolare di frattura con apertura maggiore di 10 cm su edificio adiacente la ex-scuola media.



Fig.19–Diffuse fratture che evidenziano apertura fino a 50 cm su pilastro di edificio adiacente la ex-scuola media.

Fratture di minore entità (ampiezze inferiori ai 4 cm) caratterizzano gran parte degli edifici delle restanti aree del centro storico: le abitazioni sono soggette a frequenti e ripetute ristrutturazioni ed interventi di risanamento (intonacatura, opere di consolidamento, ecc.), a testimonianza dello stato di attività del dissesto (**figg. 20 e 21**).



Fig.20–Fratture presenti sulle mura degli edifici e sulle opere di contenimento del centro storico di San Martino di Finita.



Fig.21– Esempio di frattura di neoformazione che attraversa l'intonaco di recente fattura di un antico manufatto adibito a magazzino.

I dati relativi ai danni subiti dagli edifici, dalle opere di contenimento e dalle infrastrutture viarie del Comune di San Martino di Finita, sono stati digitalizzati e georeferenziati utilizzando il *WGS84* (come datum), e l'*Universale Transversa di Mercatore* (come sistema di proiezione). Per la restituzione dei dati è stato adottato il formato *shape*.

Le informazioni raccolte hanno così consentito di realizzare un *database* delle fratture e del materiale fotografico acquisito che ne rende più facile la gestione e la visualizzazione: "cliccando" su ogni singola frattura è possibile visualizzare informazioni particolareggiate sulla stessa (località, ampiezza, verso di spostamento, note varie), nonché un ampio repertorio fotografico (**fig. 22**).

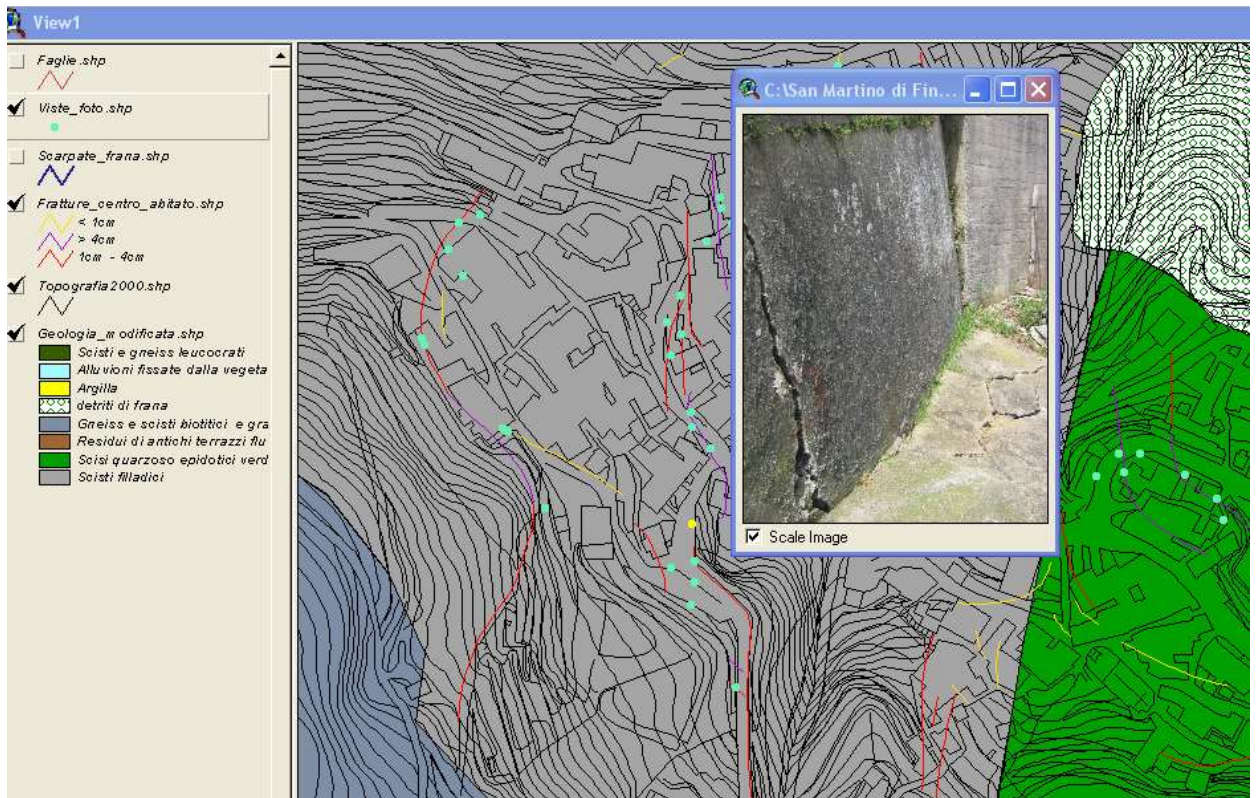


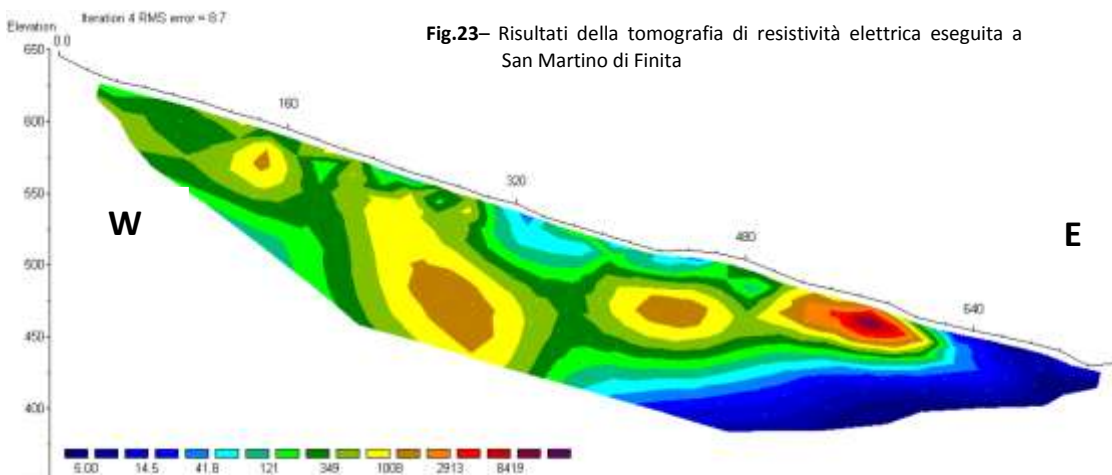
Fig.22–Videata su PC del sistema informativo relativo ai danni subiti dagli edifici, dalle opere di contenimento e dalle infrastrutture viarie del Comune di San Martino di Finita, in fase di realizzazione nell’ambito del Progetto AMAMIR.

5-INDAGINI GEOGNOSTICHE

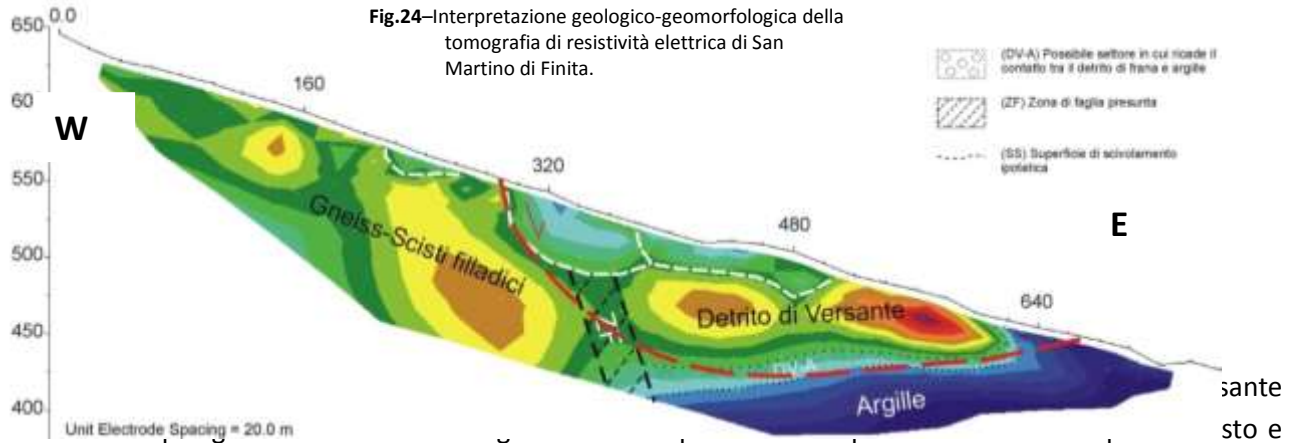
Al fine di definire l'estensione in profondità del dissesto principale che interessa il centro storico di San Martino di Finita sono stati eseguiti una tomografia elettrica ad alta definizione, un sondaggio meccanico a carotaggio continuo, attrezzato di inclinometro, con relative prove di laboratorio e un sondaggio meccanico a distruzione di nucleo, attrezzato di piezometro.

5.1-Tomografia Elettrica di Resistività'

La tomografia elettrica è stata eseguita da ricercatori geofisici del CNR-IMAA di Potenza lungo l'asse longitudinale del corpo di frana posto più a nord (**Tavole 5 e 8**). La strumentazione utilizzata, un georesistivimetro Syscal R2 (*Iris Company*) connesso ad un cavo multielettrodo a 39 canali con spaziatura di 20 m sviluppatosi su una lunghezza complessiva di 780 m, ha consentito di spingere la profondità di indagine utile fino a 120 m dal piano campagna con buone caratteristiche risolutive. Le indagini sono state eseguite utilizzando diverse disposizioni elettrode al fine di definire, in fase di elaborazione, quella che meglio evidenzia le caratteristiche del sottosuolo garantendo, al tempo stesso, il miglior rapporto segnale/rumore.



I risultati della tomografia (**fig.23**) hanno evidenziato, procedendo da W verso E, un primo settore caratterizzato da terreni con elevati valori di resistività (tonalità del verde e del rosso). Continuando verso E, in corrispondenza del centro abitato di San Martino di Finita, si riconosce distintamente uno strato superficiale più conduttivo (**tonalità dell'azzurro in fig.23**) ed alquanto disomogeneo, che poggia su uno spessore di materiale contraddistinto da valori di resistività elevati. Infine, nella porzione più orientale della sezione compare uno strato composto da materiale ad elevata conduttività (**aree in blu scuro in fig.23**). Considerati i caratteri superficiali dell'area investigata dalla tomografia, è stato possibile fornire un'interpretazione geologico-geomorfologica dei corpi a diversa resistività (**fig. 24**). Il materiale con alti valori di resistività può essere interpretato come il substrato cristallino metamorfico, costituito prevalentemente da gneiss e scisti filladici, mentre i materiali molto conduttivi presenti nella parte orientale della sezione sono stati associati alle argille plio-pleistoceniche affioranti nel fondovalle del torrente Finita. Anomala, anche se di notevole interesse ai fini delle ricerche, è la presenza di uno strato di materiale più resistivo sovrapposto al suddetto orizzonte argilloso: tale strato, che tende ad assottigliarsi procedendo verso est (passa da 100 a 0 m), considerati i dati di superficie e le stratigrafie dei sondaggi



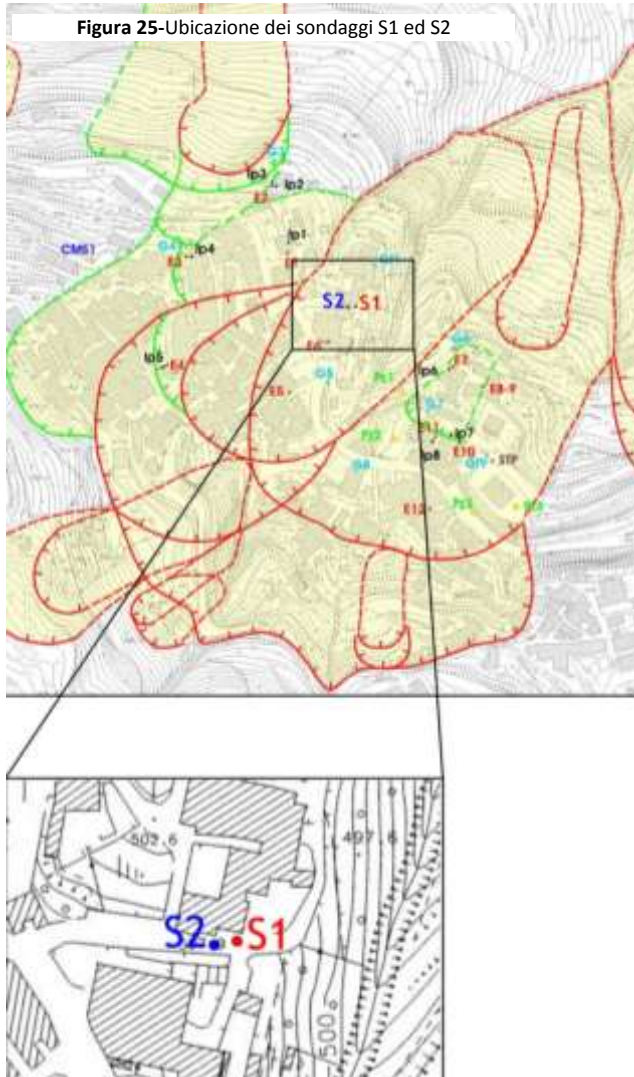
profondo fenomeno franoso (la cui possibile superficie di scorrimento profondo è rappresentata con il **tratteggio in rosso in fig. 24**) su cui sorge San Martino di Finita. Dalla tomografia risulta visibile anche l'andamento profondo della fascia di fatturazione associata alla faglia "San Fili – Cerzeto – San Marco Argentano" (*fault zone*, "FZ" in figura), caratterizzata da un settore di decremento di resistività nel substrato, che separa il substrato roccioso dal detrito di versante.

La tomografia elettrica fornisce alcune interessanti indicazioni anche sulla circolazione idrica sotterranea: i cospicui quantitativi di acqua provenienti dall'importante acquifero cristallino-metamorfico della Catena Costiera che vengono richiamati dalla fascia cataclastica, essendo confinati verso il basso nel loro percorso sotterraneo dalle argille plio-pleistoceniche, tendono ad essere trattiene all'interno del corpo di frana e defluiscono lungo l'interfaccia detrito di versante/argille, come testimoniano le emergenze di acqua diffuse lungo il versante sottostante l'abitato di San Martino. In occasione di periodi prolungati di pioggia, le acque sotterranee richiamate dalla fascia di fatturazione, e quelle superficiali che si infiltrano nel sottosuolo, saturano il corpo di frana con effetti destabilizzanti sulle già precarie condizioni di equilibrio in cui versa il pendio su cui ricade San Martino di Finita.

5.2-Sondaggi meccanici a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo

Al fine di accertare la profondità del corpo di frana che coinvolge la porzione settentrionale dell'abitato di San Martino di Finita (rioni "Rajhio", "Maglicat" e "Piazza") e di monitorarne i movimenti in profondità nonché l'oscillazione dei livelli della falda in esso contenuta, sono stati eseguiti due sondaggi meccanici profondi, denominati **S1** (a carotaggio continuo) e **S2** (a distruzione di nucleo) attrezzati, rispettivamente, di inclinometri e di piezometro fisso, entrambi collegati alla rete di monitoraggio A.M.A.Mi.R (fig.25).

Sondaggio S1



Il sondaggio S1 (fig.26) - realizzato mediante perforazione a carotaggio continuo (diametro di perforazione dei carotieri pari a 101 mm) - è stato spinto fino a 70 m di profondità. Il perforo è stato attrezzato, per tutta la sua lunghezza, di tubi inclinometrici. Considerata la tipologia e le caratteristiche litologiche dei terreni attraversati, rivelatisi alquanto eterogenei, si è reso necessario utilizzare - durante la perforazione - tubi di rivestimento metallici e fluidi di circolazione. Inoltre sono stati opportunamente utilizzati carotieri del tipo "semplice" o "doppio", nonché, per alcuni tratti, corone diamantate e polimeri.



Figura 26- Sondaggio S1

Durante l'esecuzione dei lavori è stato rilevato, all'inizio e alla fine di ogni giornata lavorativa, il livello della falda in foro. Scopo primario di questa perforazione è stato quello di intercettare il contatto tra i suddetti materiali detritici (fortemente alterati e fratturati, ad elevata permeabilità) e le formazioni argillose (impermeabili), ipotizzato nella sezione interpretativa della tomografia elettrica eseguita nelle fasi precedenti dal CNR-IMAA di Potenza. Tale contatto riveste un significato particolare per la modellizzazione della frana di San Martino di Finita, poichè si ritiene che il substrato argilloso rappresenti un orizzonte tamponante per la falda contenuta nel sovrastante orizzonte detritico complessivamente trasmissivo e possa essere identificato, ragionevolmente, con il piano di scorrimento del dissesto profondo. La suddetta interfaccia è stata rinvenuta a 48.70 m di profondità. I litotipi argillosi si presentavano di colore grigio-grigio scuro, evidenziavano una certa consistenza, nonché fenomeni di rigonfiamento a profondità comprese tra i 55 ed i 66 m (che hanno provocato, in più episodi, il completo blocco della batterie di aste di perforazione).

Sondaggio S2

Il sondaggio S2 (**fig.27**), effettuato a distruzione di nucleo, ha raggiunto una profondità complessiva pari a 51.50 m dal piano campagna. E' risultato necessario utilizzare, anche in questo caso, rivestimenti metallici fino ad una profondità pari a 50.50 m dal p.c..

Il perforo è stato attrezzato con tubi piezometrici per tutta la sua lunghezza. A partire dal fondo-foro è stato realizzato un filtro, costituito da materiali granulari (sabbia e ghiaietto) fino alla quota di -42.00 m dal p.c.; in questo intervallo sono stati installati tubi piezometrici fessurati. A seguire sono stati installati tubi ciechi e l'intercapedine tra le pareti del foro e gli stessi tubi è stata completamente cementata. Tutto ciò al fine di monitorare il livello di falda più profondo e di evitare la contaminazione di questa da parte di falde sospese presenti a quote più superficiali.



Figura 27- Sondaggio S2

5.2.1-Prove geotecniche di laboratorio

All'interno dello strato argilloso profondo intercettato dal sondaggio S1 sono stati prelevati e fatti analizzare in laboratorio n. 5 campioni, estratti alle seguenti profondità:

C1 → m 54.80 – 55.00 **C2** → m 60.00 – 60.30 **C3** → m 62.00 – 62.30
C4 → m 65.70 – 66.00 **C5** → m 68.30 – 68.65

Sui cinque campioni prelevati durante la realizzazione del sondaggio S1 in corrispondenza del livello argilloso profondo, la IDROGEO s.r.l. ha incaricato la società I.P.G. (Istituto Prove Geotecniche) s.r.l. di Castrolibero (CS) di eseguire prove geotecniche di laboratorio finalizzate alla definizione di alcune proprietà indici quali

- contenuto d'acqua (**W**),
- peso dell'unità di volume (**γ**),
- peso specifico dei grani (**γ_s**),
- l'analisi granulometrica per sedimentazione,
- i limiti di Atterberg - liquido (**W_L**), plastico (**W_P**) e indice di palsticità (**I_P**);

e di alcuni valori resistenza al taglio (mediante prove di taglio diretto e residuo) e), sono state eseguite:

- coesione $\langle c' \rangle$
- angolo di attrito $\langle \phi' \rangle$

Nella tabella che segue sono sintetizzati i parametri geotecnici ottenuti dalle prove.

Parametro\campione	C1	C2	C3	C4	C5
Profondità prelievo (m dal p.c.)	54.80 – 55.00	60.00 – 60.30	62.00 – 62.30	65.70 – 66.00	68.30 – 68.65
W (%)	14.28	16.62	14.75	13.80	19.05
γ (kN/m ³)	20.954	21.278	21.566	21.227	20.655
γ_s (kN/m ³)	26.799	26.835	26.649	26.722	26.747
Granulometria	Argilla con limo	Argilla con limo	Limo con argilla	Argilla con limo	Argilla con limo
W_L (%)	73.36	48.04	40.12	44.94	55.20
W_P (%)	46.03	29.71	26.46	27.45	28.95
I_p (%)	37.33	18.33	13.66	17.49	26.25
ϕ' (°)-valori di picco-	24.28	23.90	24.97	23.17	22.44
c' (kPa)-valori di picco-	18.865	12.141	16.453	13.851	13.290
ϕ' (°)-valori residui-	15.15	14.85	--	14.38	13.41
c' (kPa)-valori residui-	0.448	0.069	--	1.896	0.148

6-INTERPRETAZIONE DEL SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO E CONFRONTO DELLA STRATIGRAFIA CON I RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA

Dal confronto dei dati geologico-geomorfologici di superficie, della sezione elettrostratigrafica desunta dalla tomografia eseguita dal CNR-IMAA di Potenza e dalla stratigrafia desunta alla luce del sondaggio profondo (S1) effettuato dalla IDROGEO s.r.l. nell'ottobre 2008 (in **tavola 8** sono sintetizzate le suddette informazioni) è stato possibile definire esaurientemente i caratteri superficiali e profondi del corpo di frana su cui è edificato gran parte dell'abitato di San Martino di Finita (rioni "Rajhio", "Maglicat" e "Piazza"). Innanzitutto si nota una sensibile corrispondenza tra i limiti superficiali dei dissesti (**tavola 8**) e le anomalie di resistività che rimarcano generalmente i settori caratterizzati da incrementi di conduttività (aree in verde nella sezione elettrostratigrafica) che separano porzioni lentiformi caratterizzati da incrementi considerevoli di resistività, indicativi della presenza di materiali lapidei (metabasiti) come risulta dal confronto con i dati del sondaggio meccanico a carotaggio continuo. I limiti superficiali dei dissesti sono rimarcati altresì dalle fratture al suolo. Infine il sondaggio meccanico ha intercettato l'interfaccia di separazione tra il detrito di versante ed il substrato argilloso profondo, che già la tomografia elettrica aveva consentito di ipotizzare a profondità variabili tra i 50 ed i 70 m dal p.c.

Nel complesso si può asserire che i rioni "Rajhio", "Maglicat" e "Piazza" di San Martino di Finita ricadono interamente su un corpo di frana profondo il cui settore di distacco (**tavola 2**) ha origine immediatamente a monte dell'abitato, all'interno di litotipi metamorfico-cristallini fratturati ed alterati, ed in prossimità di una faglia regionale distensiva ad andamento N-S. Il corpo di frana si sviluppa verso valle fino al contatto tra il detrito di versante ed il sottostante substrato argilloso. In profondità il settore di scorrimento del fenomeno profondo presenta forma sub-circolare e, considerate le caratteristiche reologiche dei materiali, sarebbe ragionevolmente rappresentato da una fascia di deformazione duttile. Tale fascia corrisponde, nel suo tratto iniziale, ad un settore a bassa resistività (aree prevalentemente in verde) ascrivibili ai livelli di alterazione delle metabasiti individuati dal sondaggio a carotaggio, e nel suo tratto terminale all'interfaccia di separazione tra il detrito di versante rimobilizzato dal dissesto ed il sottostante substrato argilloso. E' assai ragionevole ipotizzare come il suddetto substrato confini -sia verticalmente che lateralmente - una falda contenuta nel sovrastante orizzonte detritico trasmissivo, che in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, può raggiungere consistenze considerevoli e favorire incrementi di pressioni neutre in grado di innescare movimenti profondi. Il corpo di frana profondo è attraversato e dissecato da fenomeni gravitativi più superficiali i cui piani di scorrimento sono vincolati in profondità dalla geometria di blocchi lapidei più integri - ascrivibili a nuclei di metabasiti - rappresentati da due evidenti corpi resistivi inglobati nel corpo di frana principale. E' opportuno altresì segnalare, nel settore mediano del corpo di frana, la presenza di tre anomalie conduttive di resistività associabili a possibili accumuli idrici favoriti da particolari condizioni di fratturazione ed alterazione dei litotipi. Si segnala infine nella porzione più sommitale della sezione investigata dalla tomografia elettrica, la presenza di un dissesto superficiale (profondità 10-15 m) di forma tipicamente allungata (in sezione) il cui settore di piede è dislocato dal settore di distacco della frana profonda.

7-RACCOLTA ED ANALISI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Ad integrazione degli studi e dei rilievi eseguiti, sono state raccolte ed analizzate le indagini geognostiche realizzate, per vari scopi, nell'abitato di San Martino di Finita. In particolare sono state reperite le seguenti stratigrafie di sondaggio (**tavole 4 e 8**):

- ✓ n.2 sondaggi realizzati da Italgas S.p.A. nell'ambito degli interventi di bonifica della rete di distribuzione del metano (profondità, rispettivamente, di 17,00 e 18,00 m dal p.c.)
- ✓ n.2 sondaggi realizzati dall'amministrazione comunale di San Martino di Finita nell'ambito degli interventi di consolidamento alla Chiesa Parrocchiale (profondità, rispettivamente, di 12,20 e 20,00 m dal p.c.);
- ✓ n.4 sondaggi realizzati dall'Amministrazione Provinciale di Cosenza lungo la S.P. Bivio San Martino di Finita – Santa Maria Le Grotte (fino a profondità di 20,00 m dal p.c.).

Alcuni di questi sondaggi sono attrezzati di tubi piezometrici all'interno dei quali sono stati installati sensori (piezometri) che sono stati utilizzati, nell'ambito del progetto AMAMIR, per la misurazione del livello idrico sotterraneo.

8-LA RETE DI MONITORAGGIO A.M.A.MI.R.: CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO E DISTRIBUZIONE AREALE DEI SENSORI

8.1-Cenni sulla metodologia utilizzata

Gli strumenti oggi a disposizione consentono di attuare efficacemente strategie di monitoraggio dei versanti in frana: l'uso di metodologie satellitari nel campo del controllo dei dissesti rappresenta un aspetto operativo che si è progressivamente consolidato e diffuso negli ultimi anni, soprattutto con il diffondersi dei sistemi GPS di ultima generazione e con l'avvento di altre soluzioni innovative, che permettono di interconnettere a costi ridotti un Centro di Controllo e Sorveglianza con stazioni remote di misura. La connessione avviene generalmente mediante normali linee telefoniche o, laddove richiesto dalle situazioni, attraverso dei sistemi di comunicazione terrestri basati su tecnologia GSM/GPRS/WI-MAX.

Il livello tecnologico delle stazioni di misura permette di monitorare in maniera continua, o ad intervalli regolari, qualsiasi fenomeno franoso nella sua componente tridimensionale. Il monitoraggio avviene sull'arco delle 24 ore, mentre le precisioni si spingono verso misure da sub-centimetriche a sub-millimetriche in funzione della tipologia del sensore, della tipologia di analisi e della tipologia di analisi delle serie storiche registrate. Su tale tecnologia è basato il sistema di monitoraggio A.M.A.Mi.R. utilizzato per il controllo in tempo reale delle variazioni dei vari parametri, di superficie e di sottosuolo, che influenzano la frana di San Martino di Finita.

Il sistema determina movimenti differenziali tra idonei punti di riferimento, opportunamente ubicati sia sul terreno che sulle strutture, a seguito delle considerazioni geognostiche e strutturali relative all'esame del fenomeno in atto. Le suddette considerazioni hanno consentito di delimitare arealmente il corpo di frana su cui giace l'abitato di San Martino di Finita, di ipotizzarne i limiti verticali (attraverso la realizzazione di una tomografia elettrica ad alta definizione), di individuare gli edifici maggiormente compromessi dal dissesto, di individuare e cartografare le aree sorgentizie.

Sulla scorta di tali indicazioni sono state individuate alcune aree che presentano deformazioni superficiali particolarmente spinte: su tali aree sono stati individuati i punti su cui ubicare i **punti mobili e**

fissi di misura GPS, nonché alcuni edifici, che mostravano evidenti lesioni e basculamenti, su cui sono stati applicati **estensimetri** ed **inclinometri da parete**. Considerando che variazioni di portata e intorbidimenti delle acque di sorgente possono preludere a repentine accelerazioni dei dissesti con possibili parossismi degli stessi (come nel caso della frana di Cavallerizzo del 7 marzo 2005) è stata allestita una **stazione di monitoraggio-sorgente** presso una scaturigine di significativa entità ricadente nel centro abitato di San Martino di F. La stazione è composta da più sensori: misuratore di portata, misuratore di ossigeno disciolto, misuratore di conducibilità, misuratore di pH/temperatura e sonda per la misurazione del grado di umidità del suolo. Al fine di valutare il contributo derivante dalle precipitazioni meteoriche alla falda idrica presente nel corpo di frana, è stata installata una **stazione meteo** composta da termometro, igrometro, pluviometro e barometro. Infine all'interno dei perfori di sondaggio attrezzati di tubi piezometrici, eseguiti in varie epoche sull'area in frana, sono stati installati **piezometri elettrici fissi**.

La risultanza delle osservazioni ha consentito di giungere ad una rappresentazione spaziale dei movimenti dei punti di controllo mediante vettori di posizione e spostamento con indicazioni sulla velocità e sulla accelerazione. E' stato così possibile evidenziare movimenti anche particolarmente complessi del terreno e delle strutture nel loro complesso ed analizzare sia i fenomeni di cedimento che fenomeni di rotazione rispetto ad un determinato sistema di riferimento.

La problematica del posizionamento di un riferimento "indisturbato", cioè non coinvolto nel dissesto, normalmente di difficile soluzione con strumenti e metodi di misura legati alle tecniche topografiche a corto raggio, viene superata dalla possibilità di posizionare lontano dalla zona di controllo le stazioni di riferimento in modo tale che queste non siano affette dagli stessi fenomeni della zona in esame. E' noto infatti che la misura di un movimento assoluto in topografia è spesso inficiata dalla necessità di istituire punti di stazione o di riferimento dai quali effettuare le misure che di per se possano essere considerati stabili ed inamovibili. Nel caso del progetto A.M.A.Mi.R. il sito di riferimento "indisturbato" è stato individuato presso la scuola media di Cerzeto, area sub-pianeggiante esente da processi di versante in atto e/o potenziali.

In ultima analisi, il monitoraggio dello spostamento dei terreni in frana e delle deformazioni dei manufatti ha rappresentato un contributo determinante per la necessaria opera di prevenzione relativa ad eventuali allarmi di sgombero. Tale azione è stata potenziata dal confronto tra i dati derivanti dalle stazioni GPS con altri dati monitorati relativi a pluviometri, estensimetri, piezometri, ecc..

8.2- Caratteristiche della rete di monitoraggio

La rete di monitoraggio A.M.A.Mi.R. (**Tavola 6**) è composta dei seguenti elementi predisposti per l'acquisizione e la trasmissione in continuo dei dati ad un apposita centrale di controllo (Centro Elaborazione Dati):

- N. 1 **stazione GPS differenziale di riferimento**, ubicata presso la Scuola Media di Cerzeto, in area ritenuta non affetta da fenomeni di movimento gravitativo sufficientemente distante dall'area di monitoraggio. L'antenna geodetica è collocata sulla copertura dell'edificio (per avere il cielo completamente visibile al di sopra di 15° dall'orizzonte). La stazione prevede un sistema per la registrazione in locale e un sistema di trasmissione dati (ADSL via cavo o via mobile), un *controller* con *software* di registrazione e per l'archiviazione delle sessioni GPS;

- N. 2 stazioni di misura **GPS** ad installazione fissa (**stazioni fisse**), ubicate su edifici ricadenti in aree particolarmente coinvolte nel dissesto;
- N. 6 stazioni di misura GPS di tipo mobile (**stazioni mobili**), trasportate su punti di misura sui quali siano stati installati dispositivi a centramento forzato, per eseguire misure cadenzate;
- N. 12 **estensimetri da parete**, collocati lungo lesioni che interessano edifici di varia tipologia;
- N. 9 **inclinometri da parete**, generalmente associati agli estensimetri da parete;
- N. 4 **piezometri da pozzo**, collocati lungo i fori di sondaggio attrezzati di tubo piezometrico;
- N. 1 **stazione meteo**, ubicata nel piazzale antistante la ex-scuola media di San Martino di Finita, composta da un termoigrometro, un pluviometro ed un barometro;
- N. 1 **centrale di monitoraggio sorgente**, composta da un misuratore di portata, un misuratore di ossigeno disciolto, un misuratore di conducibilità, un misuratore ph/temperatura, una sonda per la misura dell'umidità del suolo; la centrale è ubicata in corrispondenza della sorgente di Rione Piazza di San Martino di Finita;
- N. 1 **Centro Elaborazione Dati**, composto da un Server ubicato presso i locali dell'ex-scuola media di San Martino di Finita. Il piazzale antistante il locali sono controllati da una webcam collegata al sito internet (www.amamir.cnr.it).

Nello schema concettuale del sistema (**fig. 28**) sono rappresentate le stazioni di rilevamento GPS, i sensori, la connessione alla centrale di controllo di stazioni e sensori, una dotazione simbolica della centrale di controllo (*storage* ed elaborazione) e l'apertura alla pubblicazione internet.

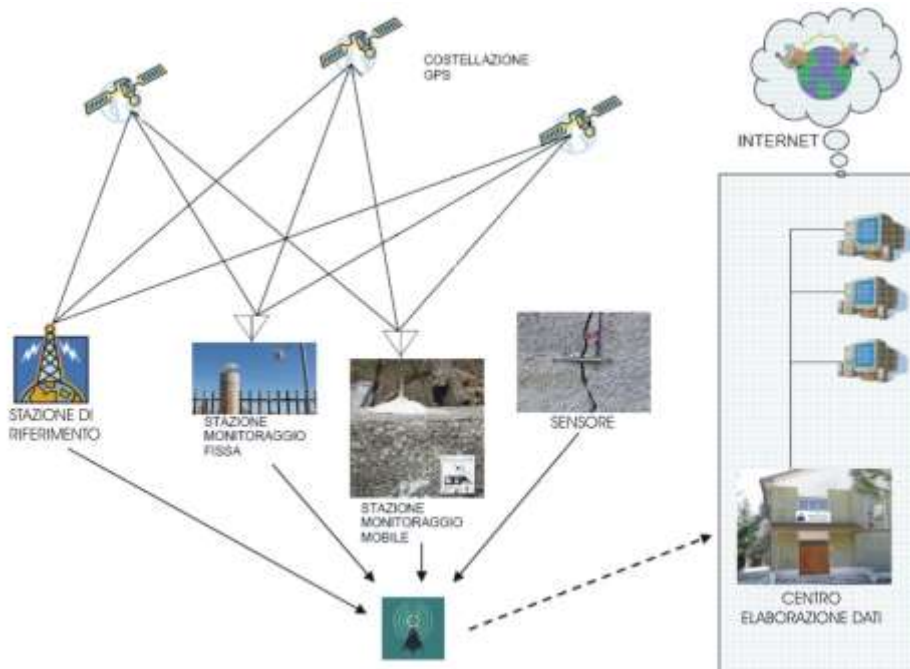


Figura 28 – Schema concettuale

Nel paragrafo che segue sono elencate le tipologie dei sensori installati nei siti predisposti ad ospitarli. Per ogni sensore vengono riportate le caratteristiche tecniche ed una scheda con relativa ubicazione su aerofotogrammetria, nonché la documentazione fotografica. La tabella di sintesi riportata sotto elenca la

Tipologia sensore	Quantità	Codice sensore
Estensimetro da parete SIM	12	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12
Inclinometro da parete mono assiale SIM	8	lp1, lp2, lp3, lp4, lp5, lp6, lp7, lp8
Inclinometro da parete biassiale LEICA	1	lpb1
Piezometro elettrico SIGGEO	4	Pz1, Pz2, Pz3, Pz4
Centralina di monitoraggio sorgente: - Misuratore di portata ISOMAG - Misuratore ossigeno disciolto TRIOXMATIC - Misuratore conducibilità TETRACON - Misuratore pH/temperatura SENSOLYT - Sonda umidità del suolo THETAPROBE	1	CMS
Stazione meteo: - Termometro LASTEM - Igrometro LASTEM - Pluviometro LASTEM - Barometro DRUCK	1	STP
Stazione di misura fissa GPS	3	Gf1, Gf2
Stazione di misura mobile GPS	6	G3, G4, G5, G6, G7, G8
Piezometro elettrico fisso SIM	1	Pzf1
Inclinometro fisso da foro SIM	3	lf1, lf2, lf3

di sintesi riportata sotto elenca la tipologia, il numero e il codice dei sensori. Le rilevazioni provenienti dai vari sensori (stazioni GPS, estensimetri, piezometri, ecc.) sono trasmesse, via cavo, ad una centrale di monitoraggio (Centro Elaborazione Dati, **fig. 29**), ove automaticamente vengono archiviate, processate, diagrammate ed analizzate. Il sistema provvede inoltre alla redazione di rapporti finali di movimento. I dati sono così pubblicati sul sito internet www.amamir.cnr.it dove utenti abilitati possono consultare tutte o alcune delle informazioni del sistema centrale tramite *client*. La centrale è costituita da un PC, con idonee capacità di elaborazione e di

archiviazione dati opportunamente ridondati, dotato di sistemi di trasmissione dati (ADSL via cavo) al fine di ricevere i dati rilevati presso le stazioni di misura in tempo reale. I suddetti processi di acquisizione, elaborazione e restituzione dei dati sono gestiti da appositi *software* che consentono, mediante G.I.S. (Sistemi Informativi Geografici), la visualizzazione delle varie stazioni di monitoraggio e le relative analisi dei dati acquisiti.

La fase finale del Progetto è stata mirata alla rimodulazione della rete A.M.A.Mi.R. per la messa a punto di sistemi di allertamento. Giunta la naturale scadenza della Convenzione tra il CNR-IRPI ed il Comune di San Martino di Finita nell'ambito del Progetto A.M.A.Mi.R., si sta valutando l'opportunità di un rinnovo della Convenzione stessa. In ogni caso, terminato ogni rapporto di collaborazione tra il CNR-IRPI ed il Comune di San Martino di Finita, sarà necessario individuare la figura di un operatore al quale affidare la gestione e la manutenzione della rete A.M.A.Mi.R.



Figura 29 – Il Centro Elaborazione Dati (C. E. D.) ubicato presso l'ex-scuola media di San Martino di Finita

8.3. Ubicazione e documentazione fotografica dei sensori della rete A.M.A.Mi.R.

8.3.1 Estensimetri da parete

Gli estensimetri da parete, sensori ad elevata precisione che rilevano la variazione della distanza tra due punti, sono impiegati come misuratori di giunti o di fessure in manufatti o ammassi rocciosi.

Nell'ambito del Progetto A.M.A.Mi.R. sono stati utilizzati misuratori di spostamento elettrici del tipo DS810 (**fig. 30**), realizzati in acciaio INOX e in grado di misurare spostamenti relativi di due punti fino a 5 cm, con una risoluzione di 0,01 mm.

Gli estensimetri emettono segnali elettrici direttamente associabili, mediante apposito *software*, ai valori della variazione di distanza tra i due punti di riferimento.

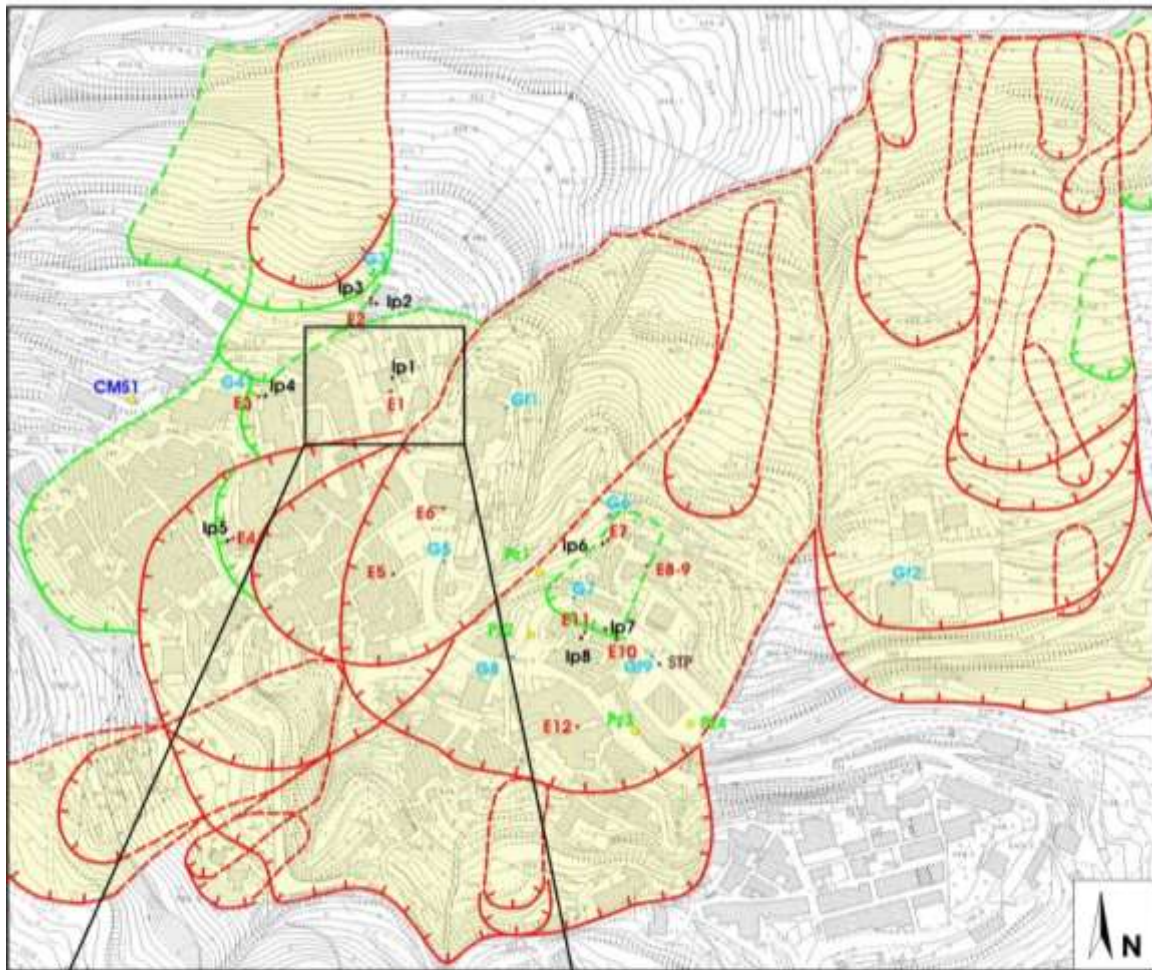
I sensori sono stati posizionati in corrispondenza delle lesioni presenti sugli edifici maggiormente danneggiati dal dissesto.

Gli estensimetri sono stati associati agli inclinometri da parete (descritti nel paragrafo successivo) per accertare univocamente il verificarsi di movimenti gravitativi ed i relativi cinematismi.



Figura 30 - Estensimetro da parete mod. DS810

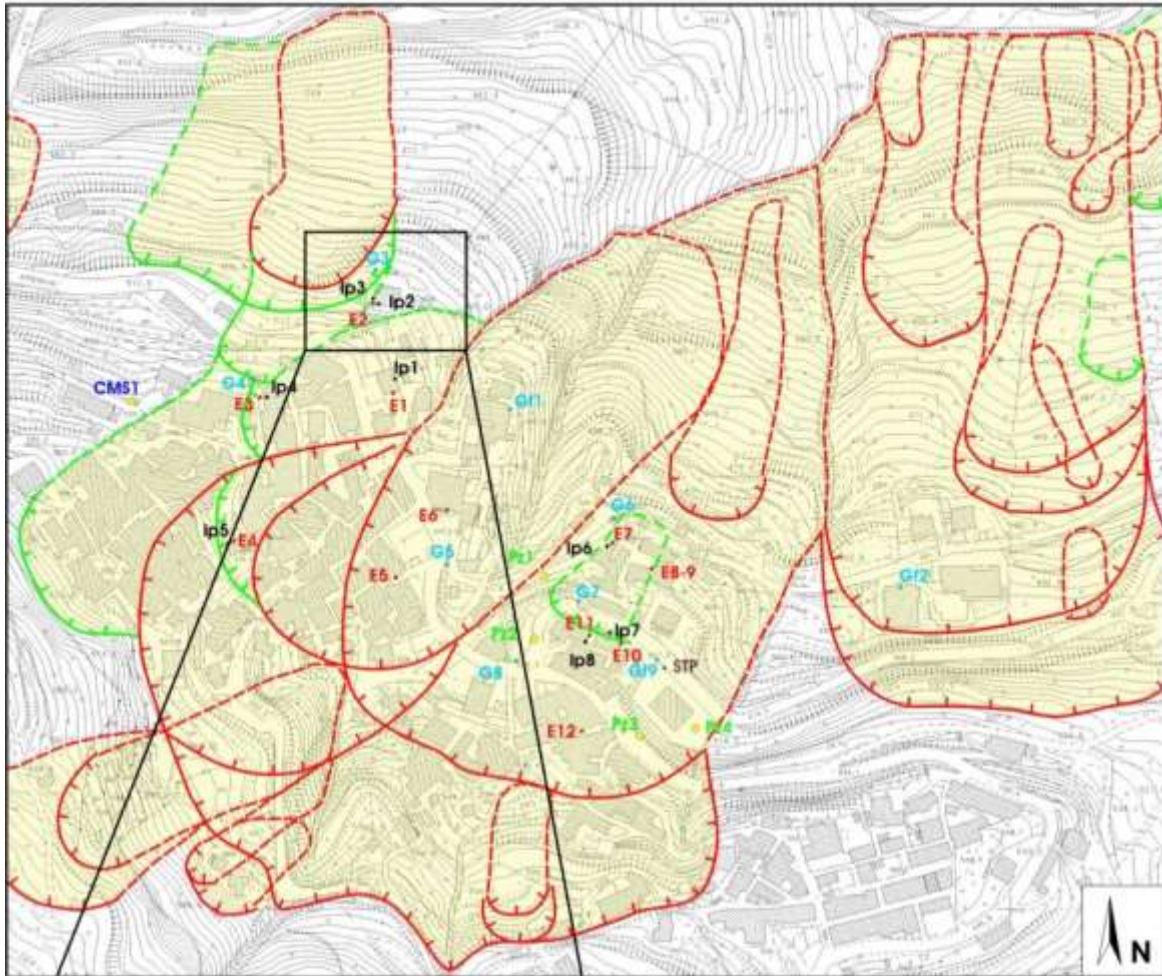
Estensimetro E1



Direzione del movimento: 60 N



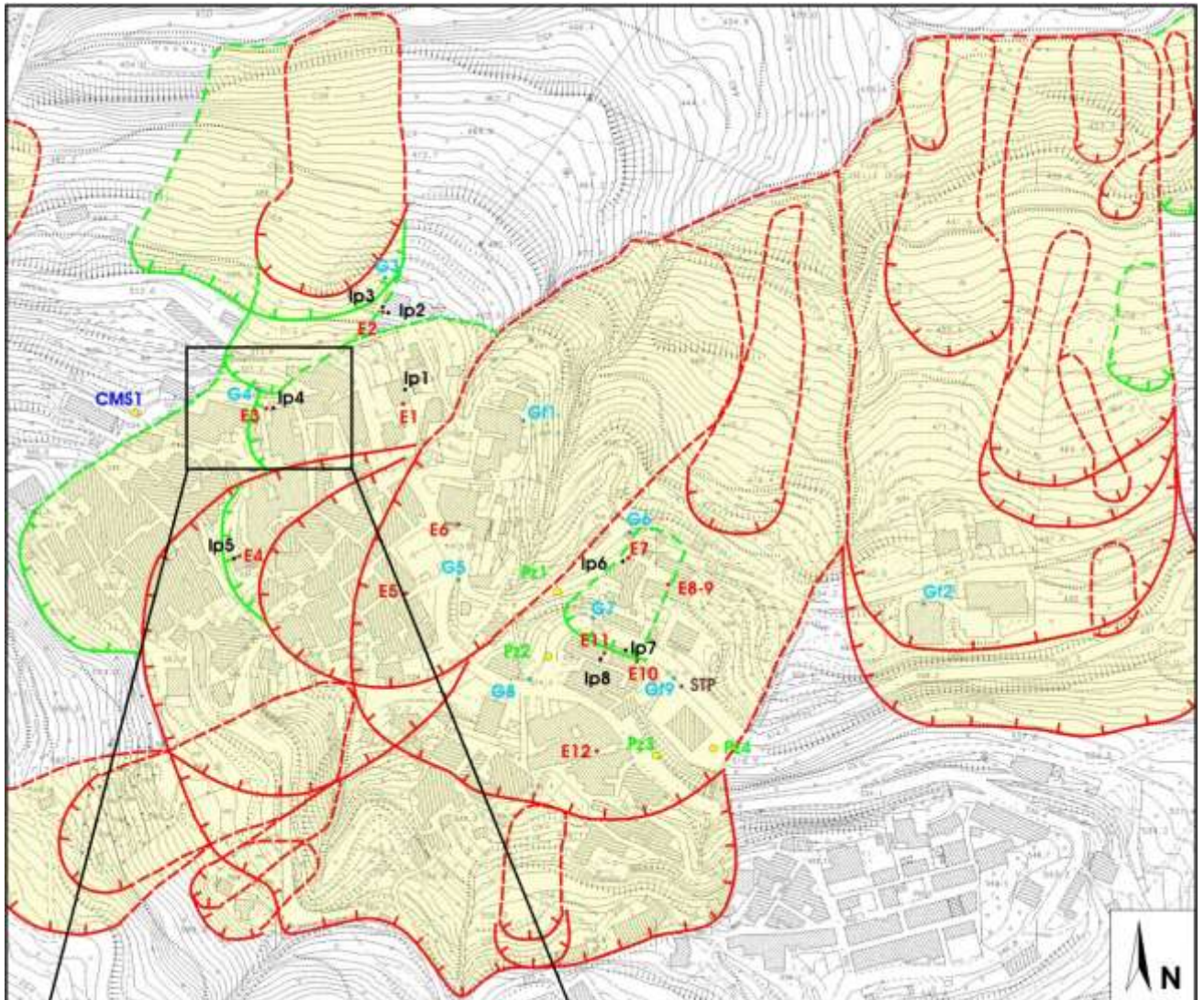
Estensimetro E2



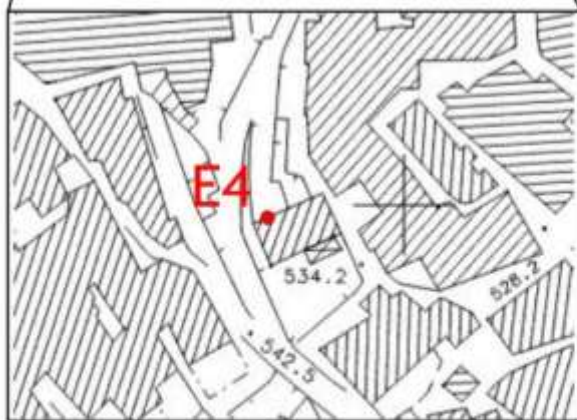
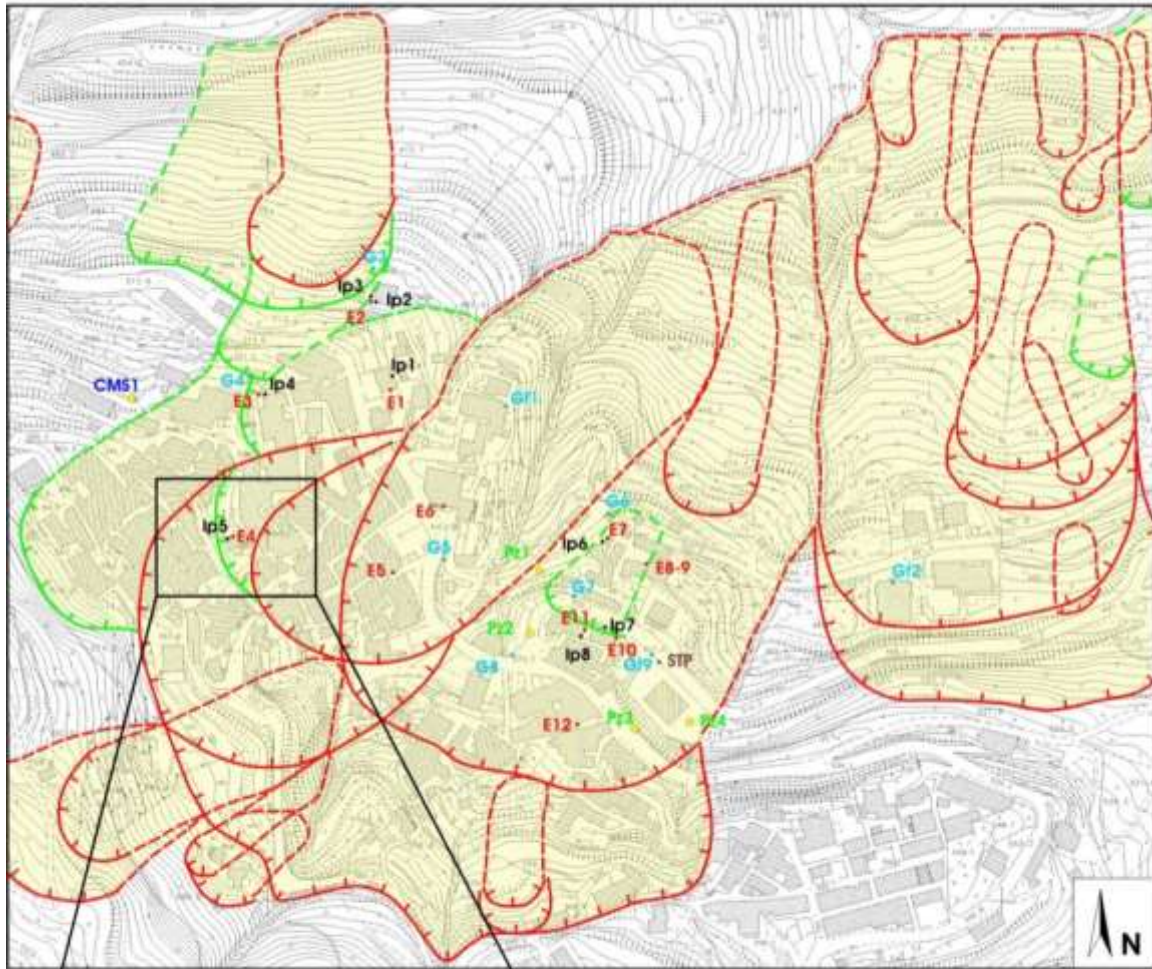
Direzione del movimento: 100 N



Estensimetro E3



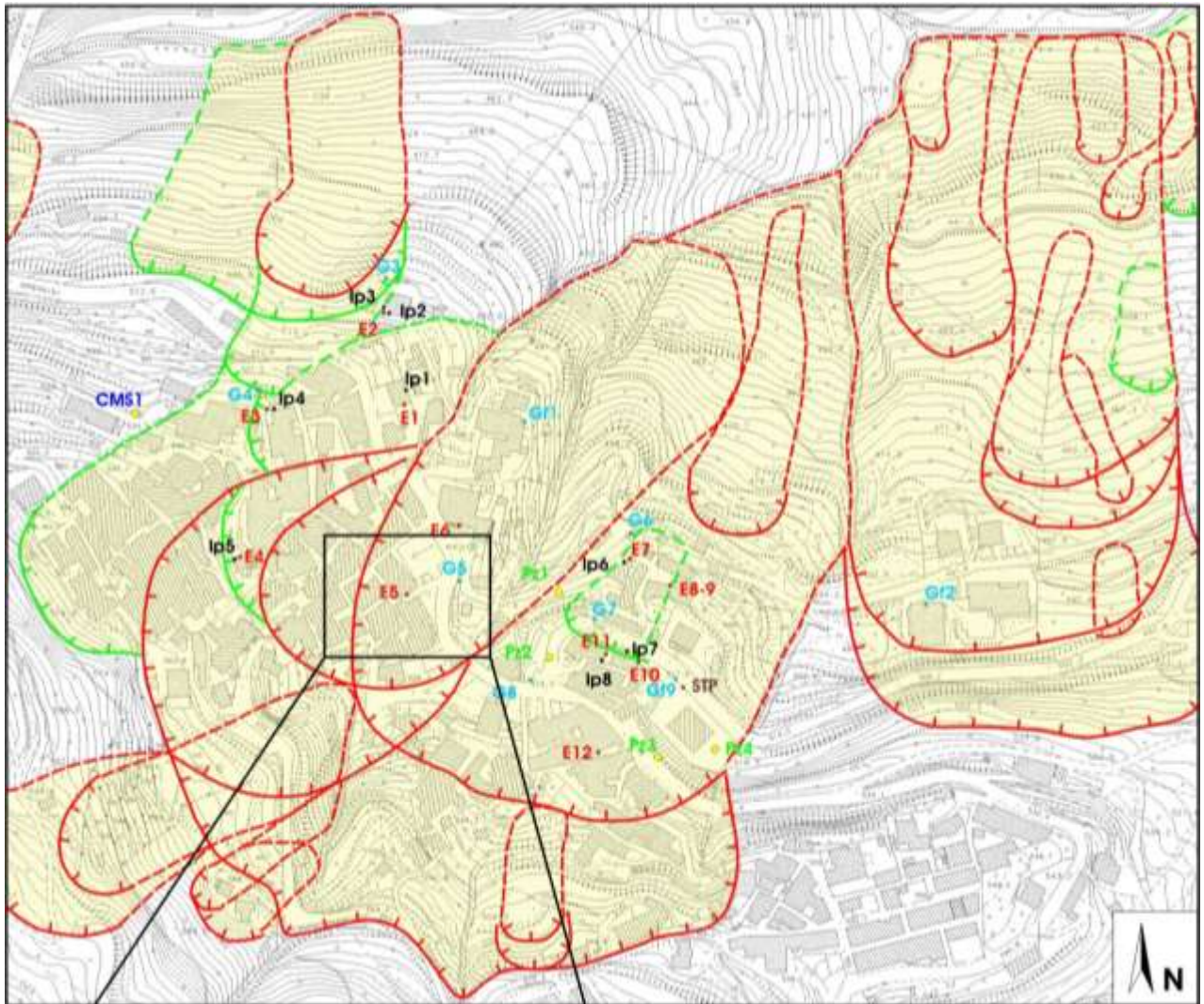
Estensimetro E4



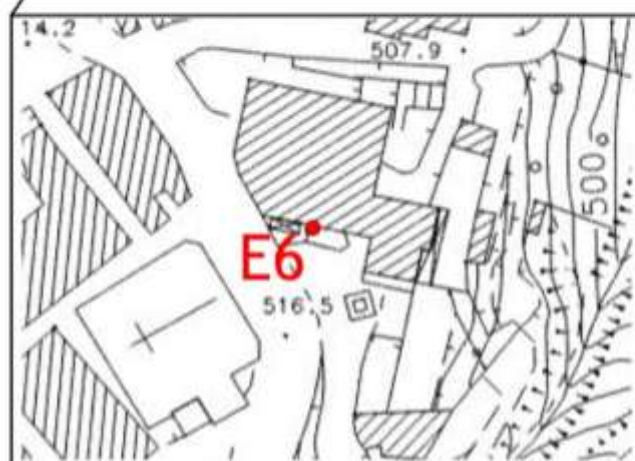
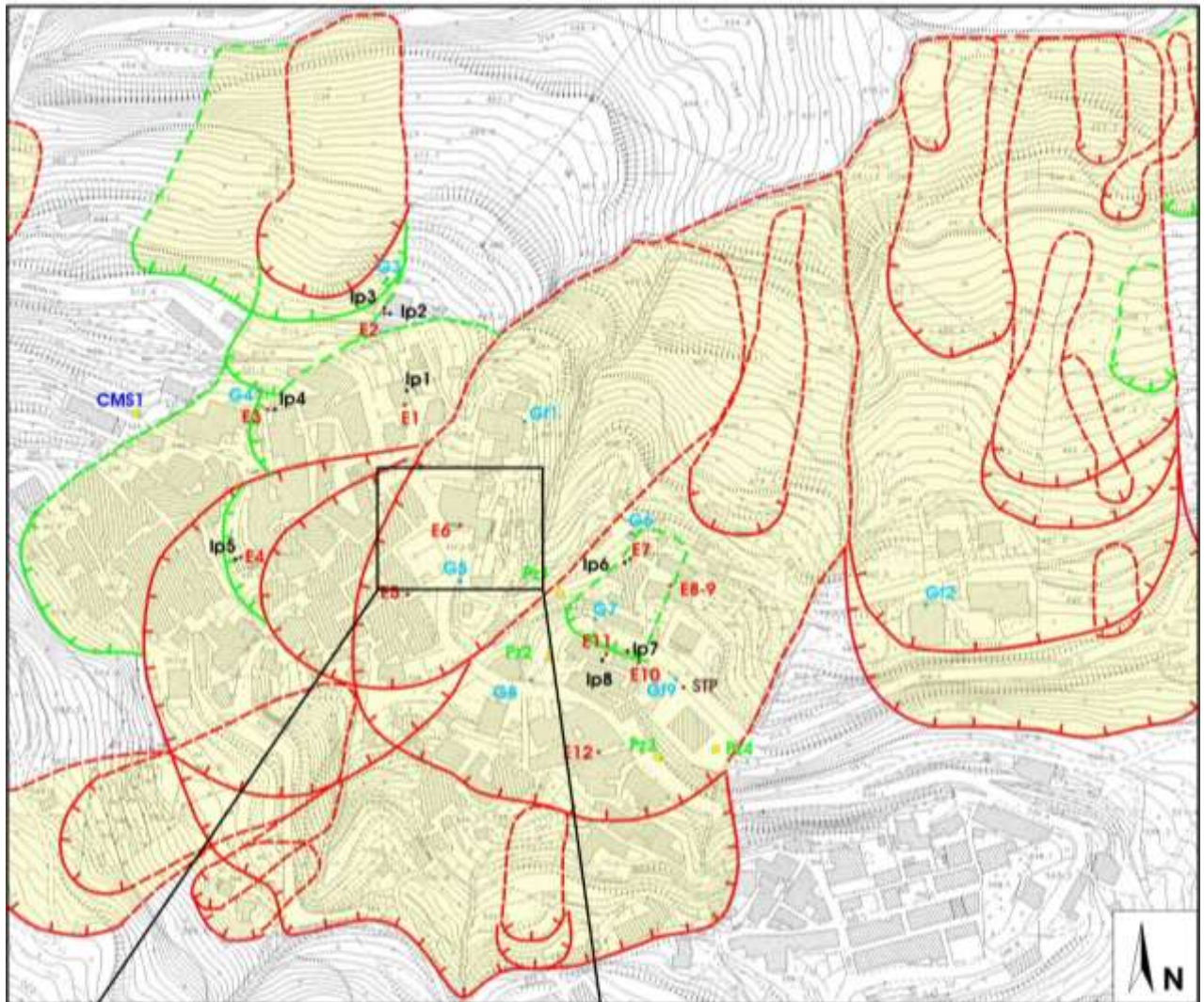
Direzione del movimento: 60 N



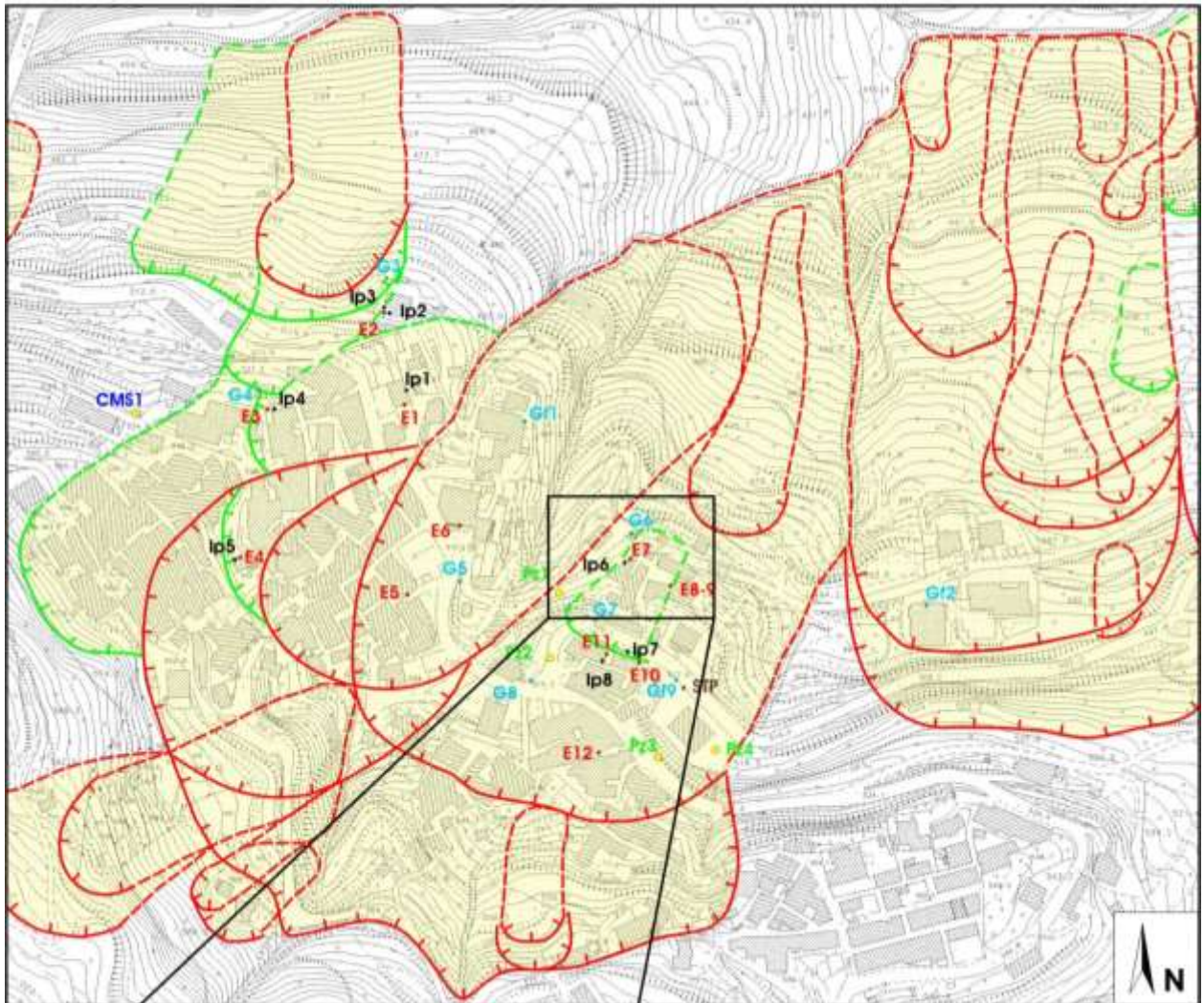
Estensimetro E5



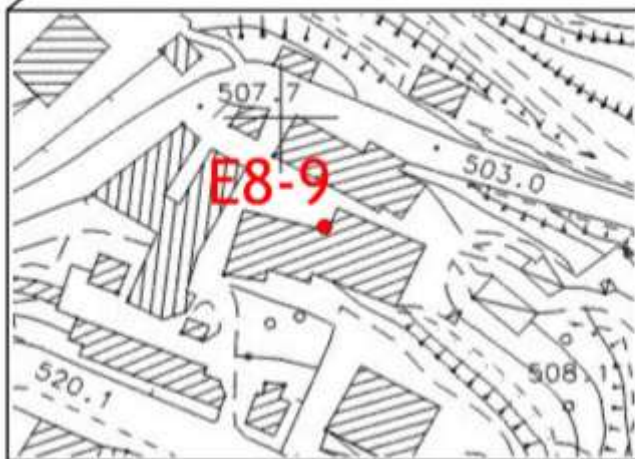
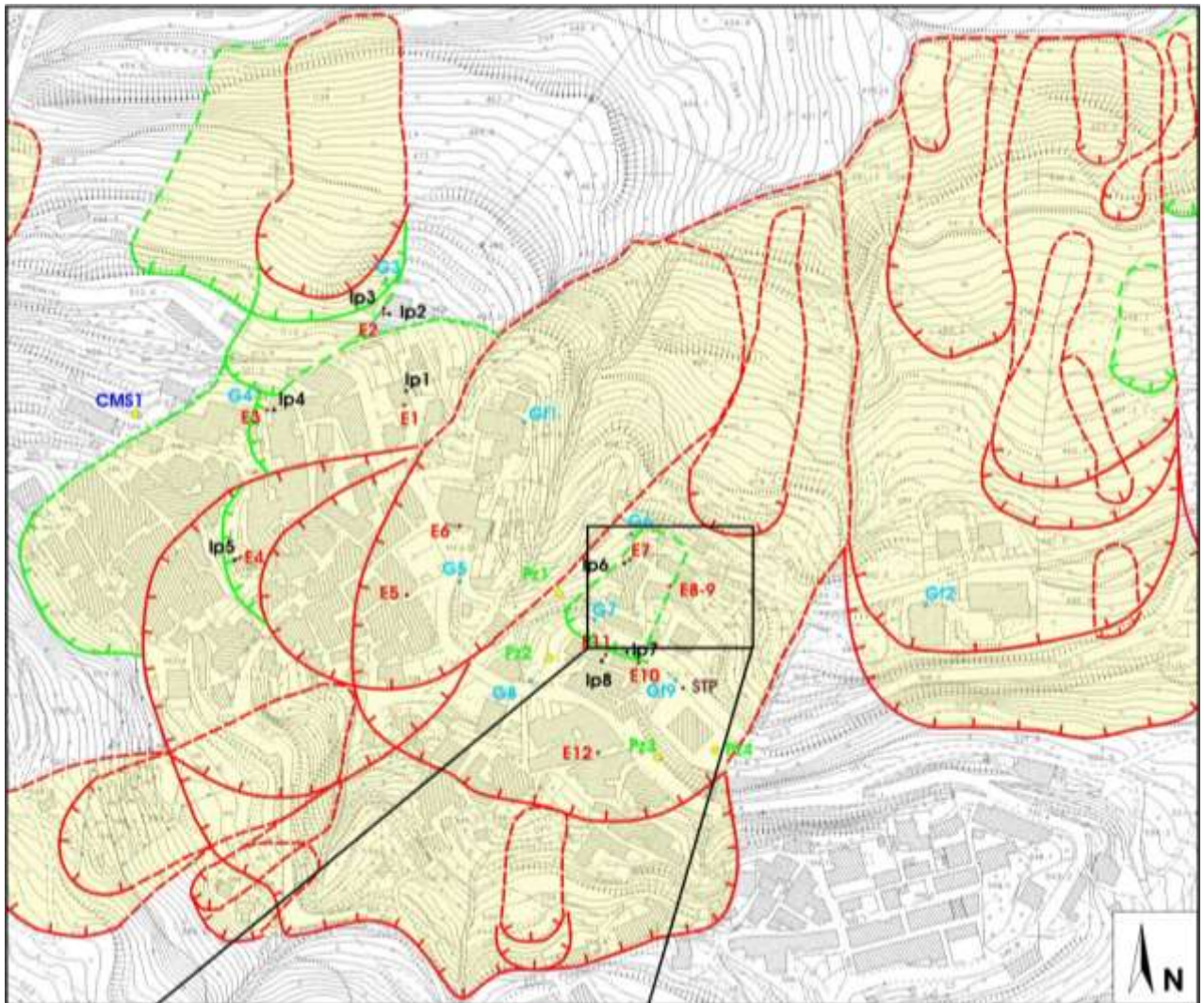
Estensimetro E6



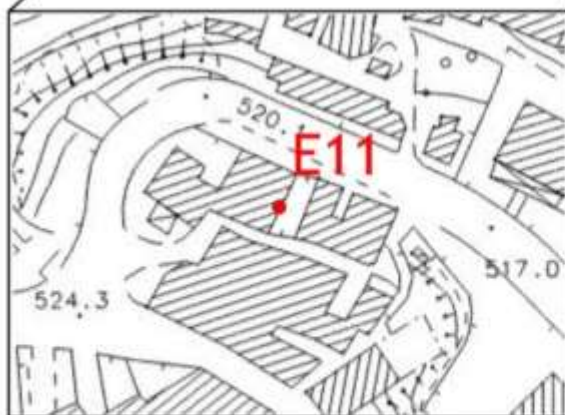
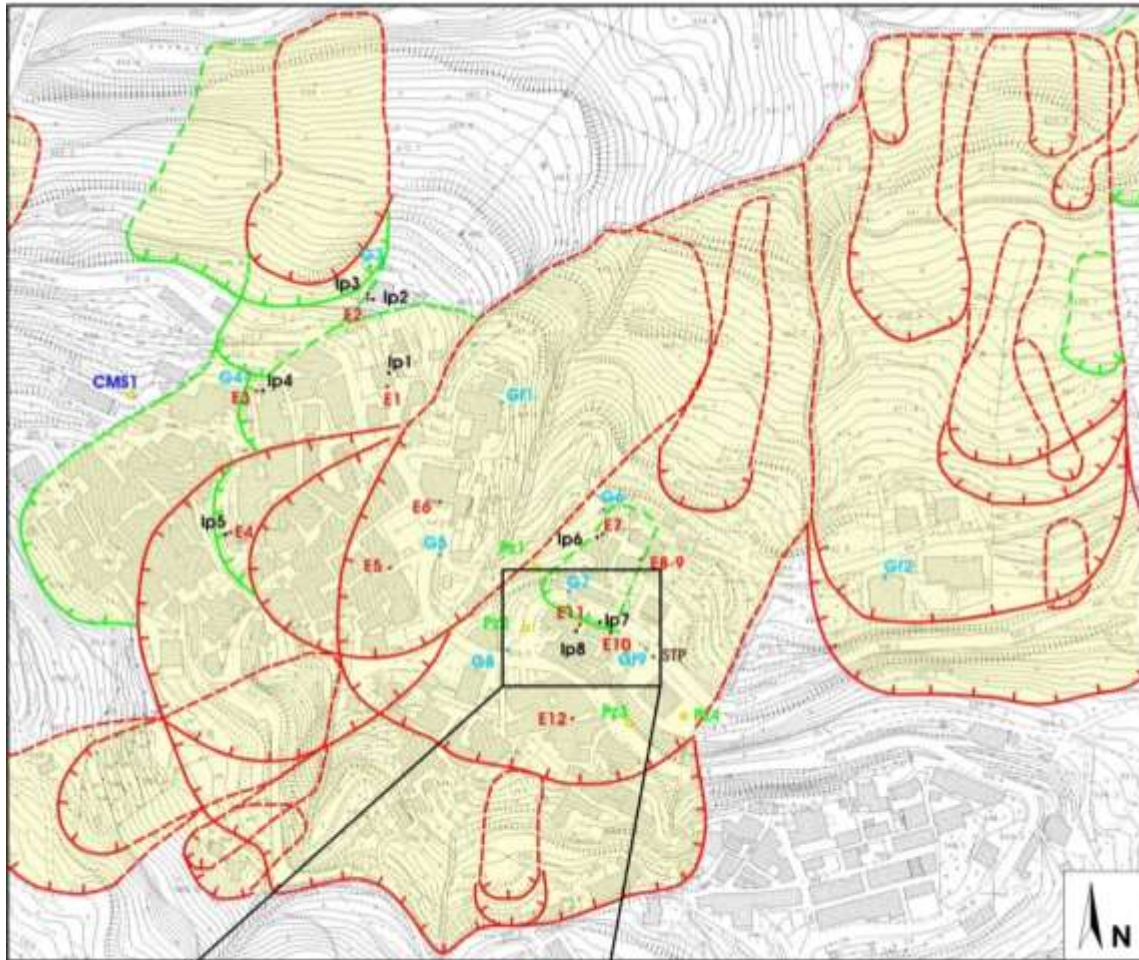
Estensimetro E7



Estensimetro E8-9



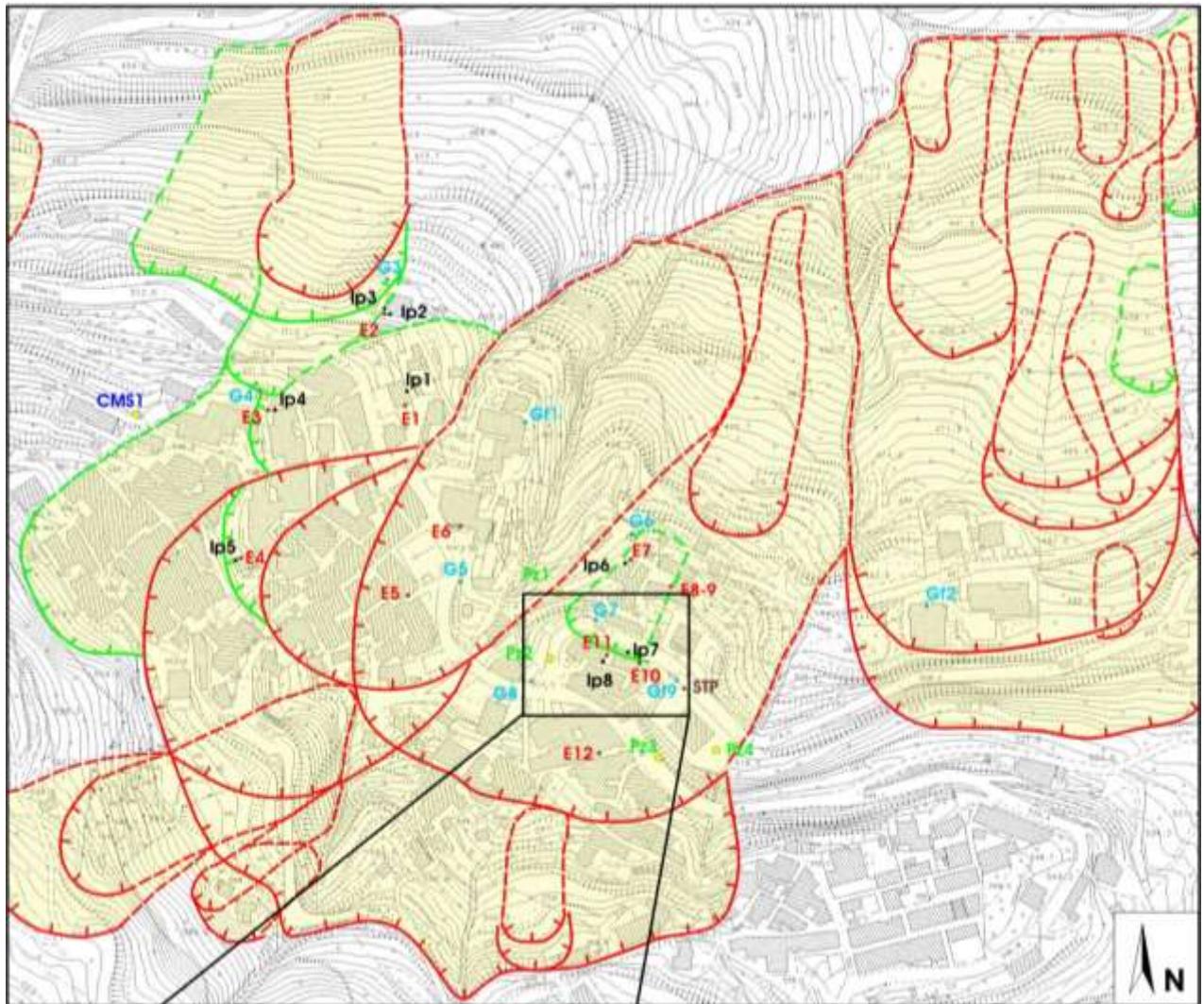
Estensimetro E11



Direzione del movimento: 30 N



Estensimetro E12



8.3.2-Inclinometri da parete

Gli inclinometri da parete sono dispositivi utilizzati per misurare variazioni angolari (rispetto alla verticale) delle pareti di edifici su cui vengono messi in opera, consentendo così di accertarne possibili basculamenti.

Nell'ambito del Progetto A.M.A.Mi.R. sono stati installati otto inclinometri monoassiali e un inclinometro biassiale: i primi misurano le inclinazioni dell'asse Z rispetto alla verticale riferita ad un'unica direzione giacente sul piano orizzontale (asse X), mentre il secondo misura le inclinazioni di Z riferite sia all'asse X che all'asse Y.

Gli inclinometri da parete monoassiali utilizzati sono sensori elettrolitici con sensibilità dello 0,01%, mod. IN920-SIM STRUMENTI (**fig. 31**). Considerate le caratteristiche del dissesto di San Martino di finita, è stato ritenuto opportuno predisporre un *range* di misura a +/- 1°. Tali sensori consentono pertanto di apprezzare variazioni angolari con una sensibilità fino al centesimo di grado.

L'inclinometro, realizzato in acciaio inossidabile e poliestere rinforzato, emette un segnale elettrico direttamente associabile ai valori dell'inclinazione dello strumento (lungo l'asse X e/o Y). Un apposito programma consente di convertire i valori delle misure rilevate in mA, in gradi rispetto alla verticale



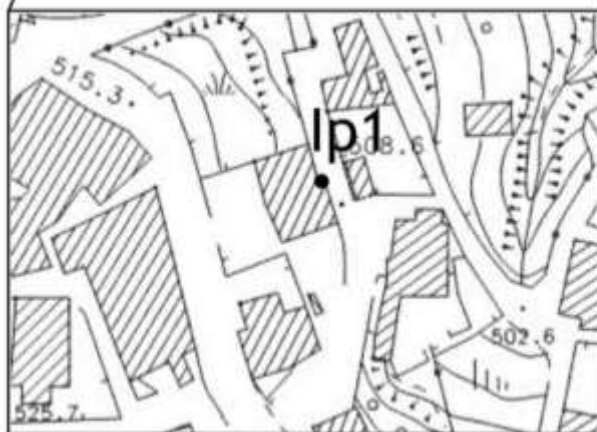
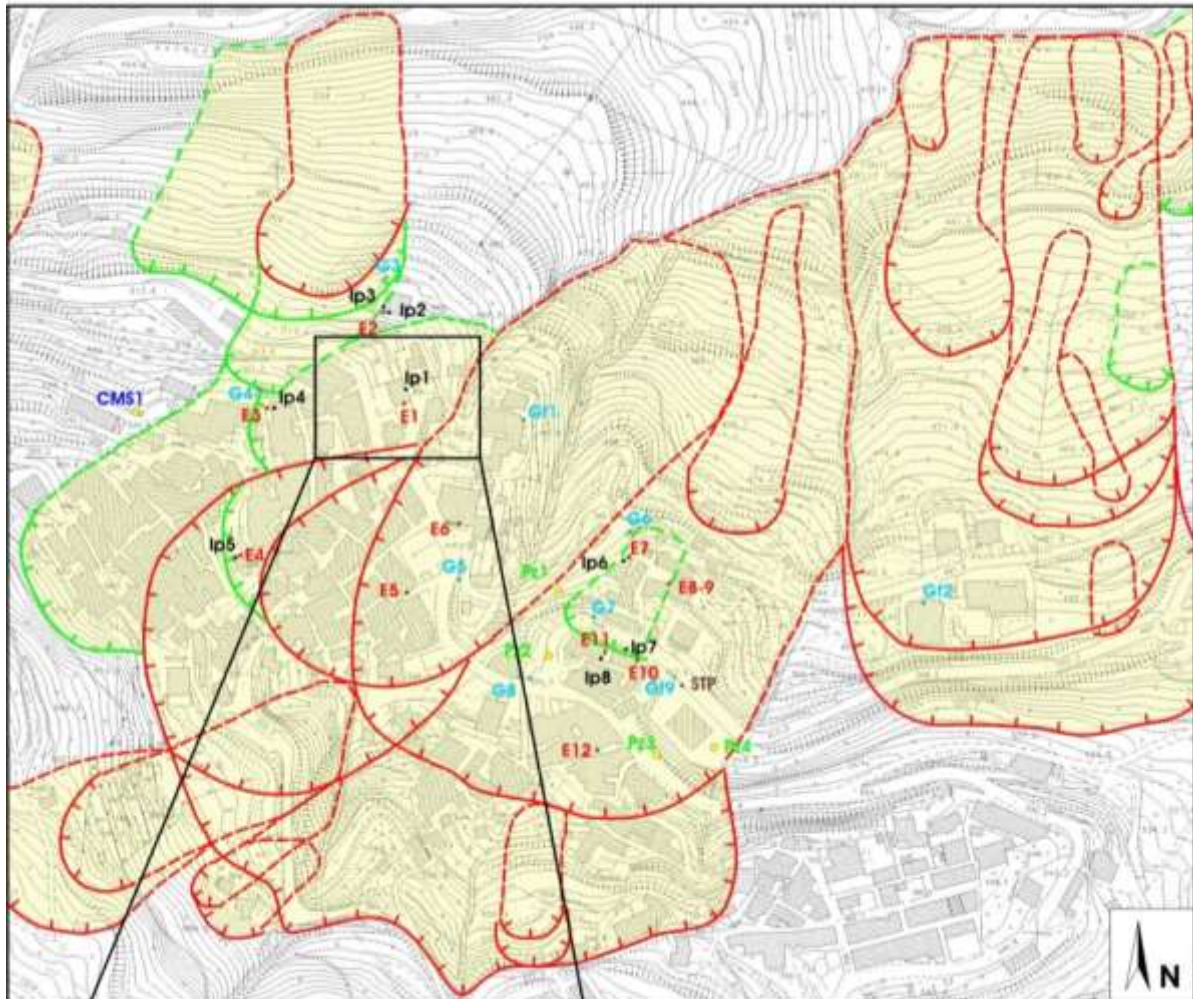
Figura 31 - Inclinometro da parete mod. IN920



Figura 32 Particolare della protezione in alluminio realizzata per la protezione degli inclinometri dall'irraggiamento solare.

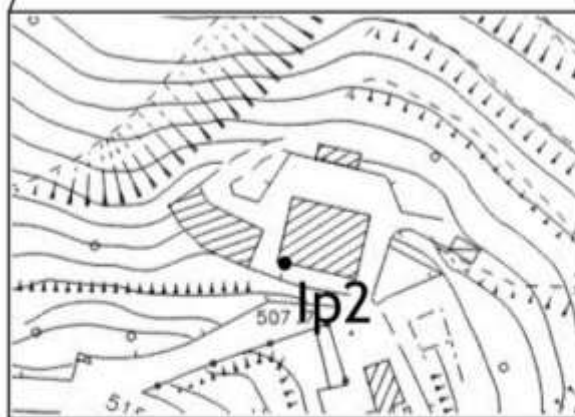
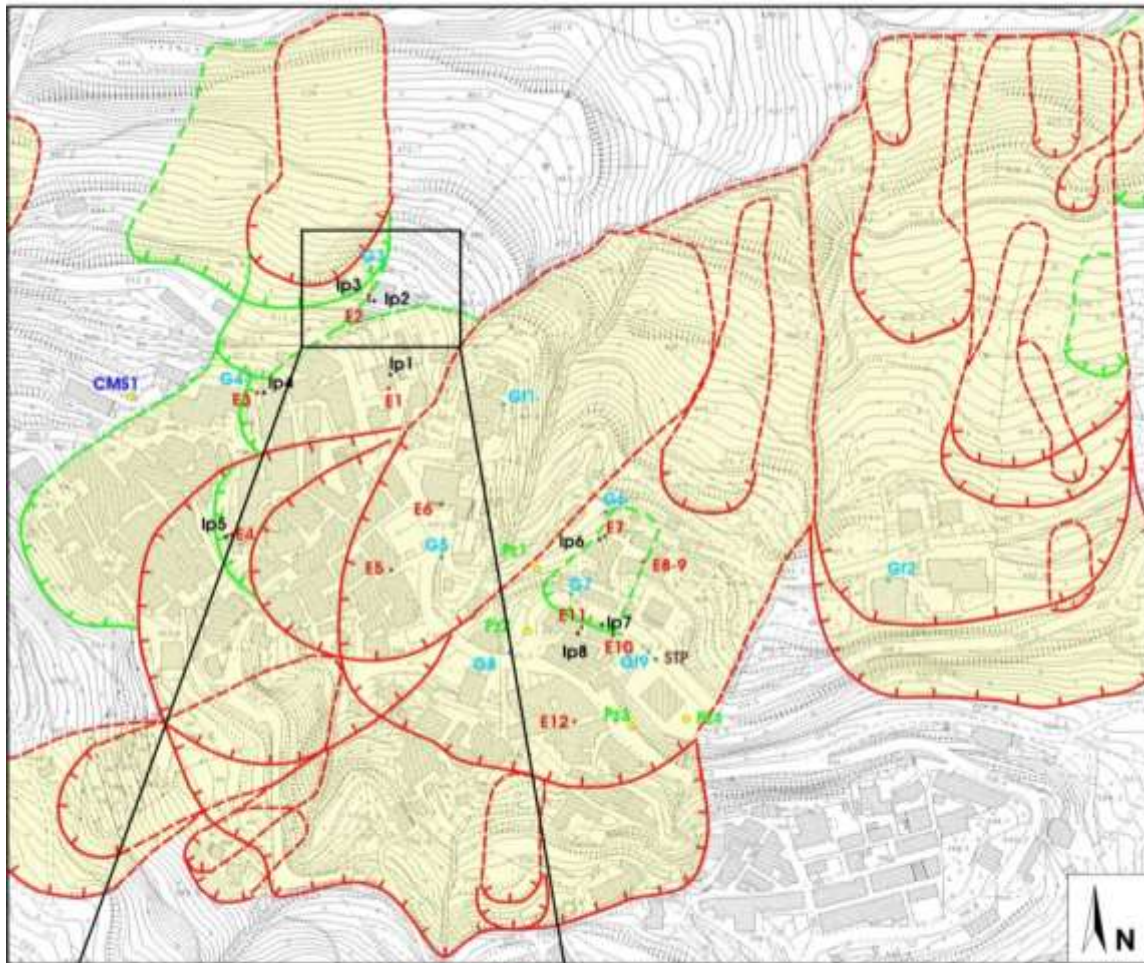
L'elevata risoluzione, rende sensibile gli inclinometri da parete all'irraggiamento solare: al fine di attenuarne gli effetti, i sensori sono stati muniti di appositi sistemi di protezione in alluminio (**fig. 32**).

Inclinometro monoassiale Ip1



Direzione del movimento: 65 N

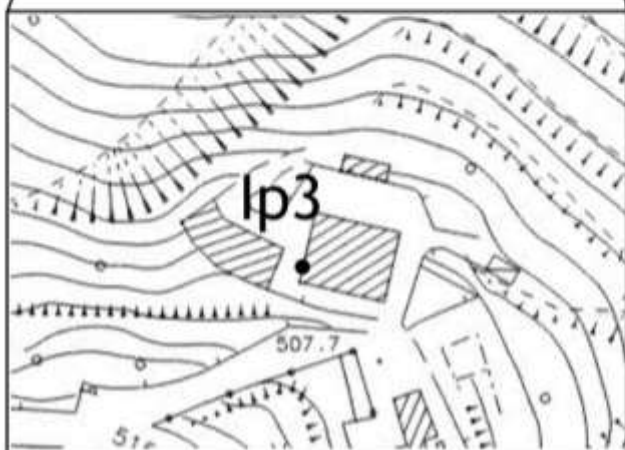
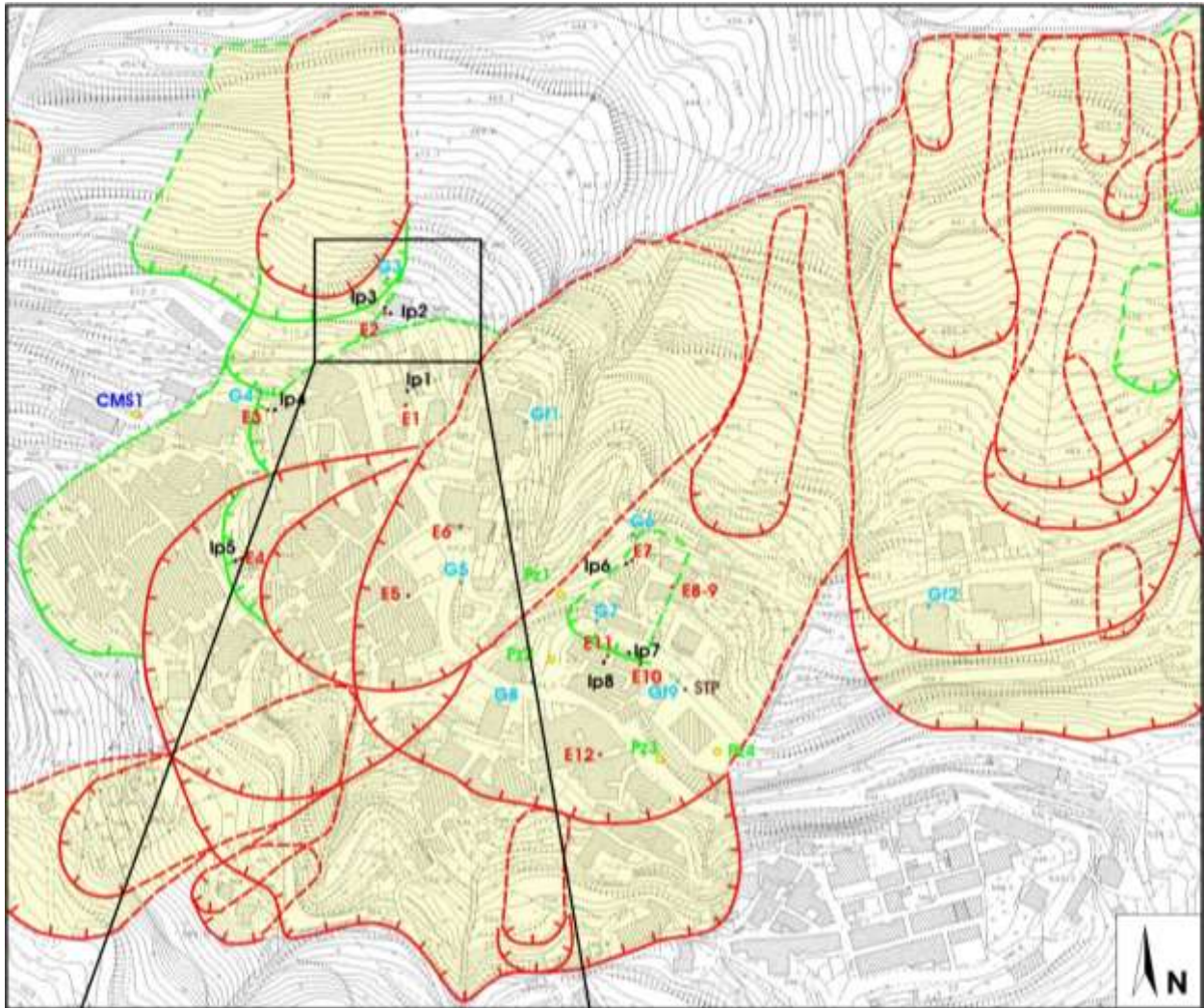
Inclinometro monoassiale Ip2



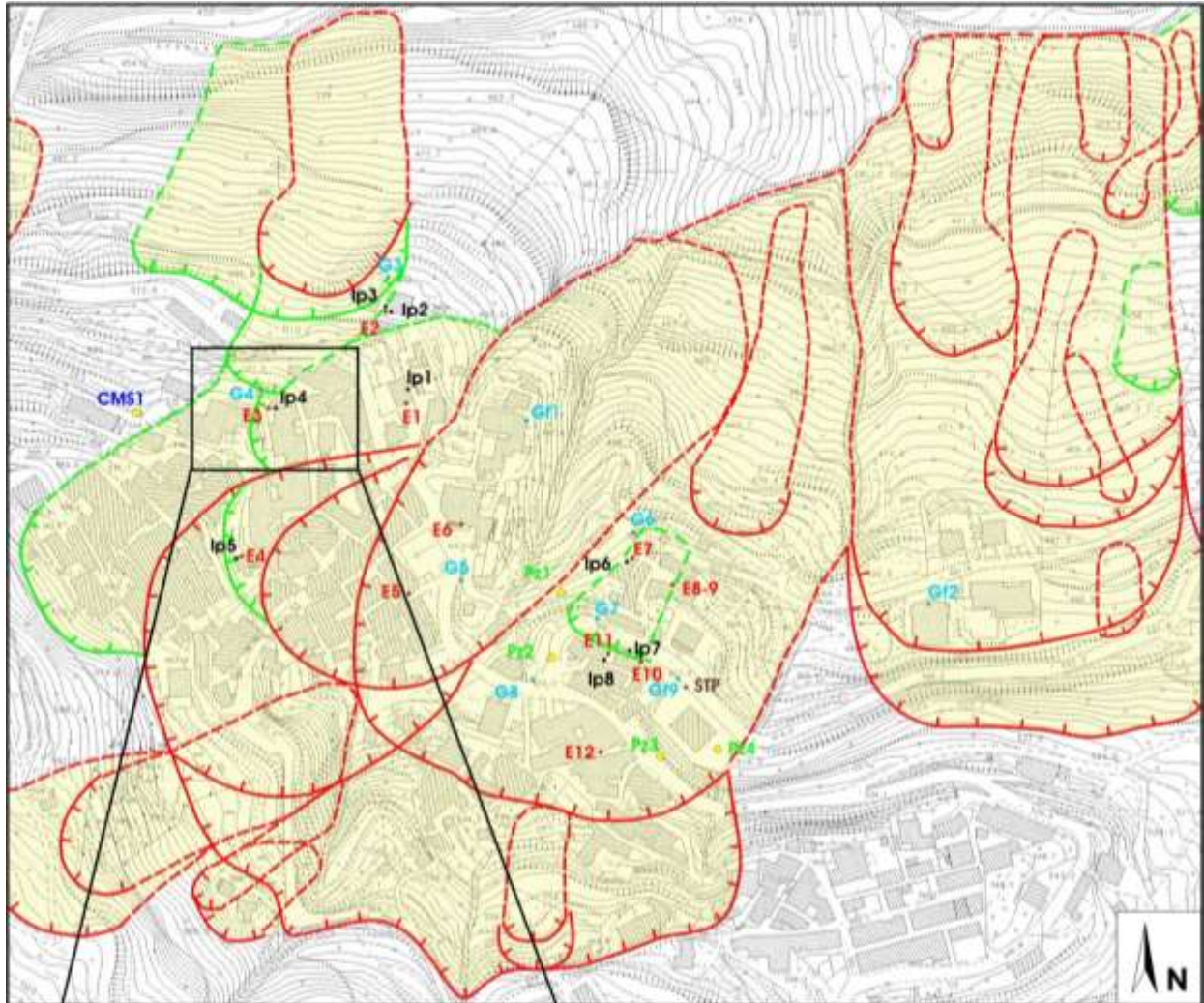
Direzione del movimento: 100 N



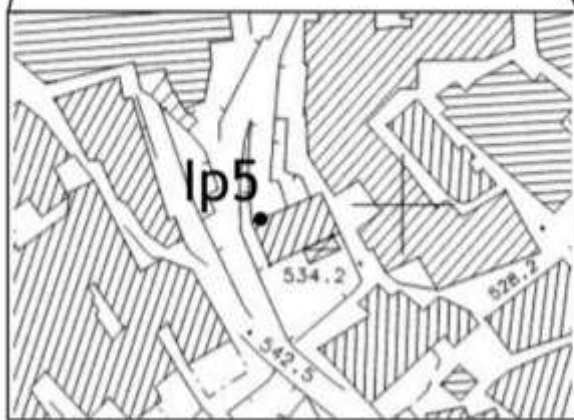
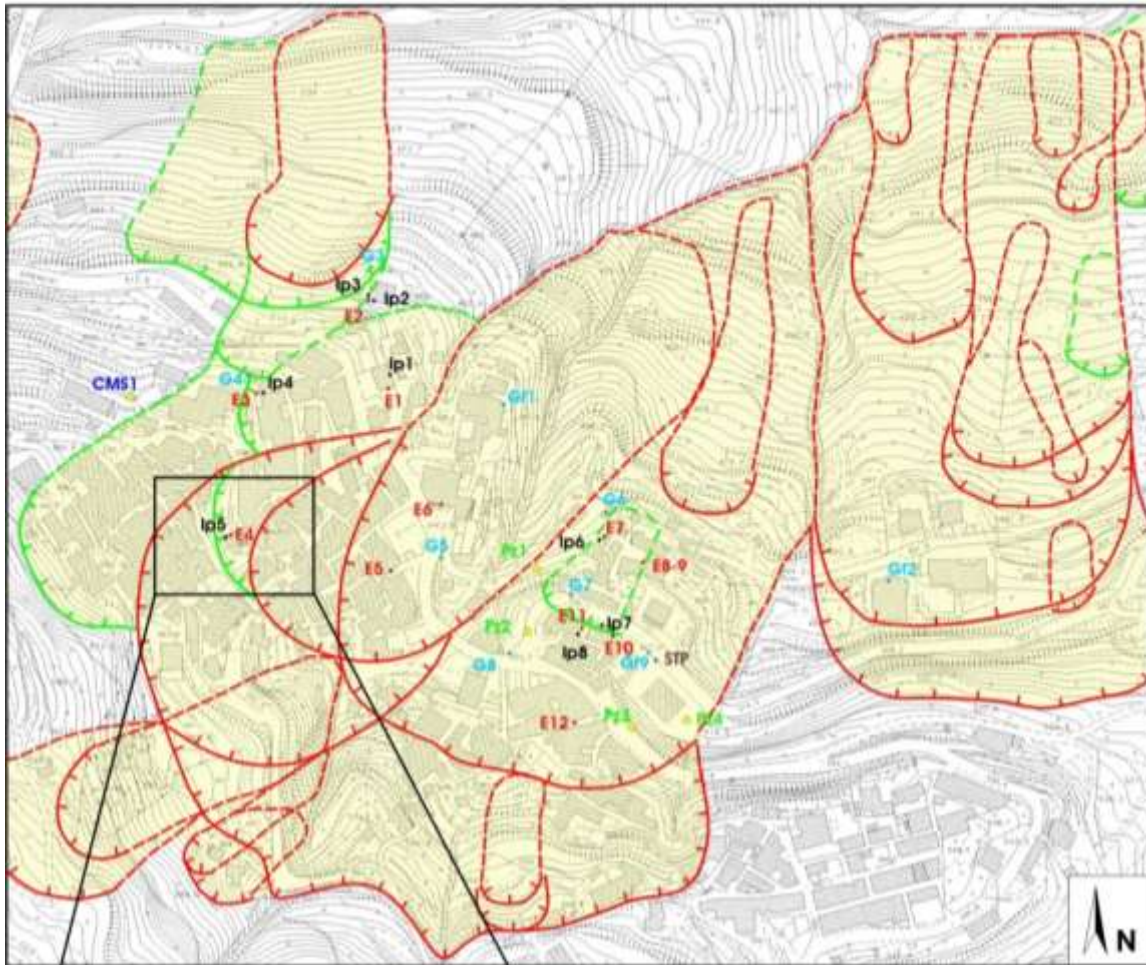
Inclinometro monoassiale Ip3



Inclinometro monoassiale Ip4



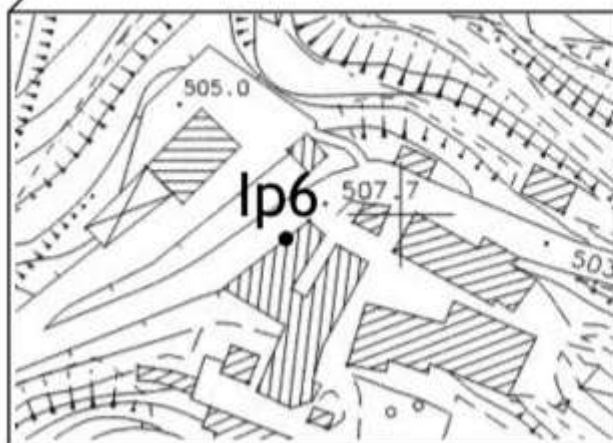
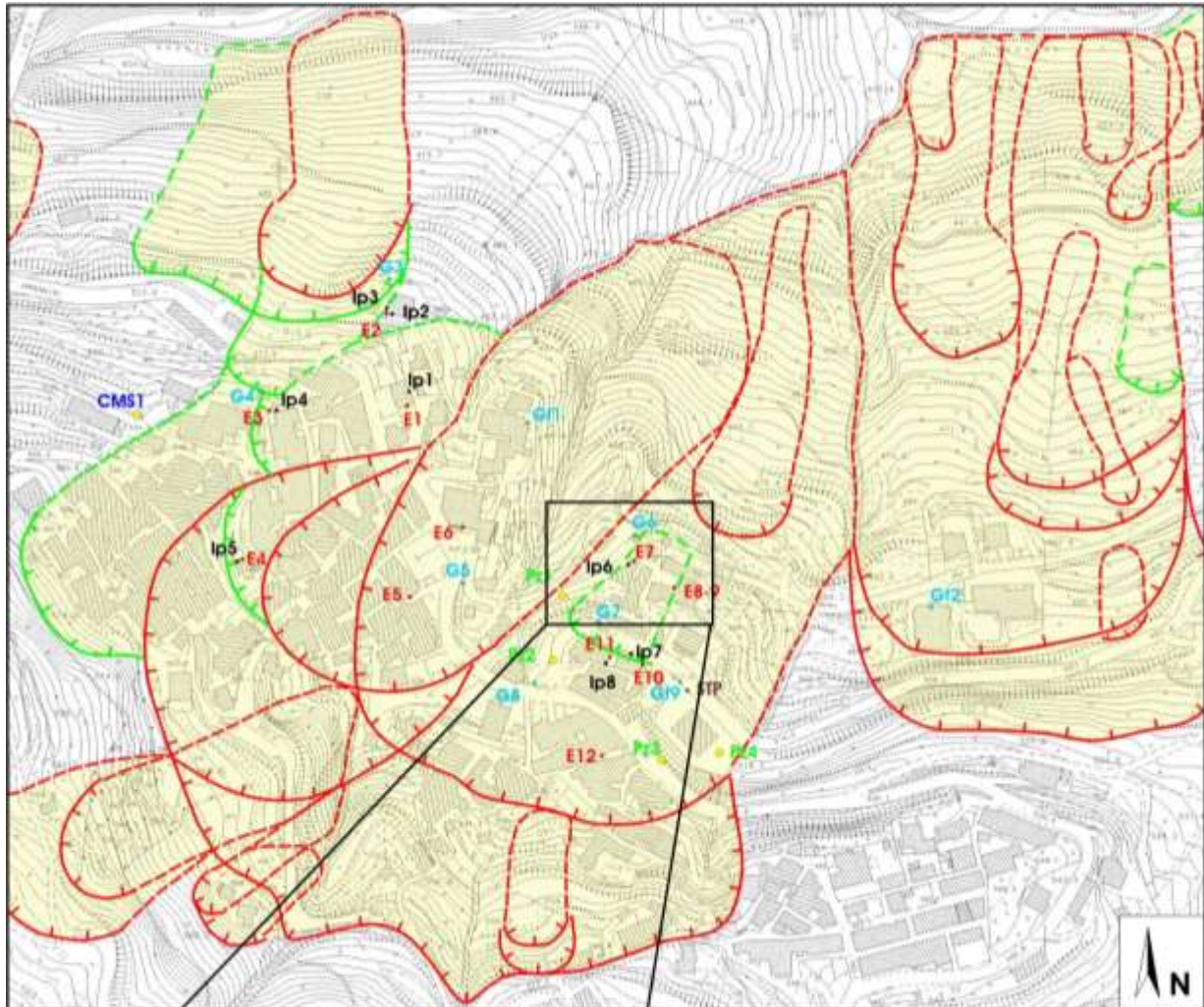
Inclinometro monoassiale Ip5



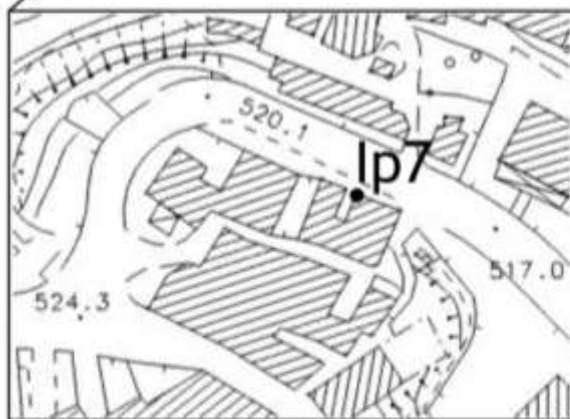
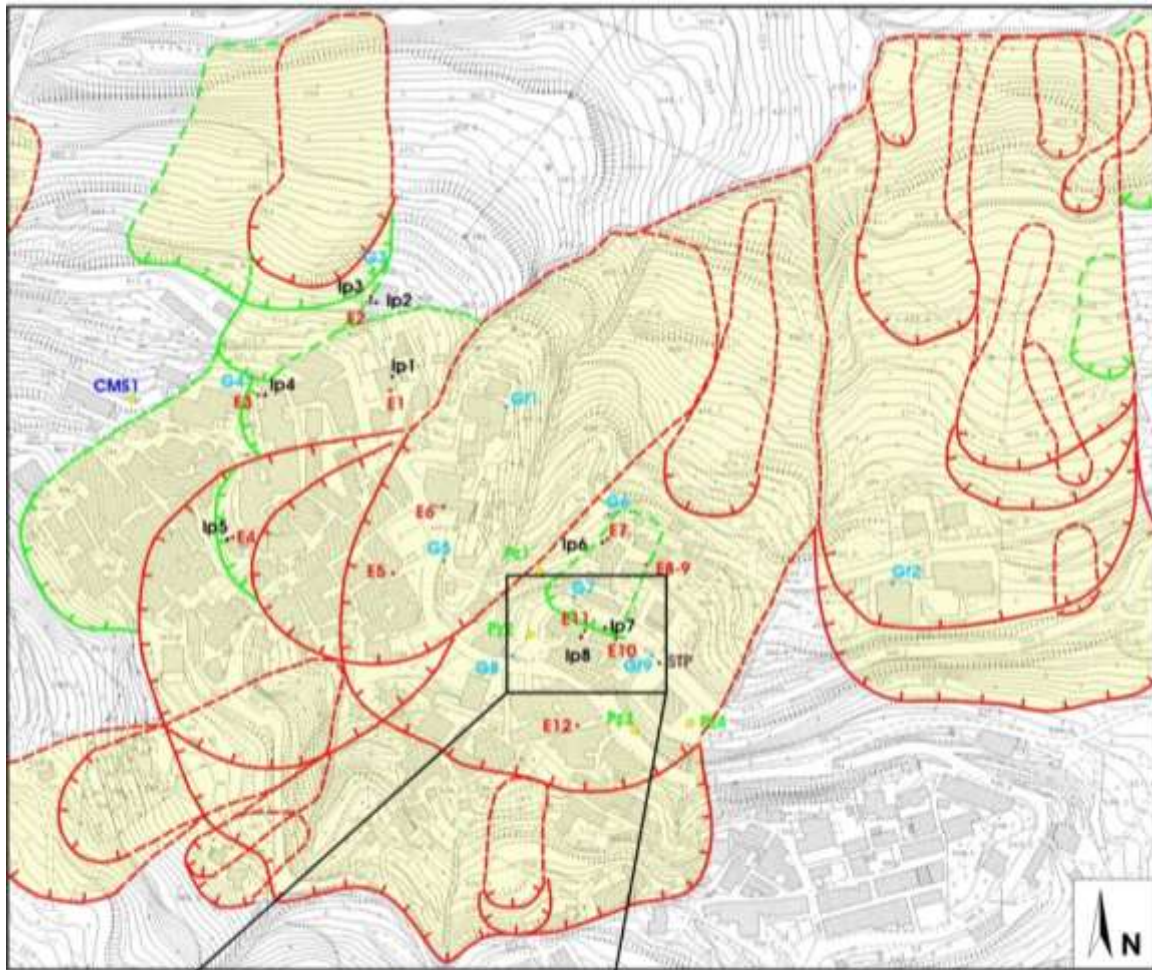
Direzione del movimento: 60 N



Inclinometro monoassiale Ip6



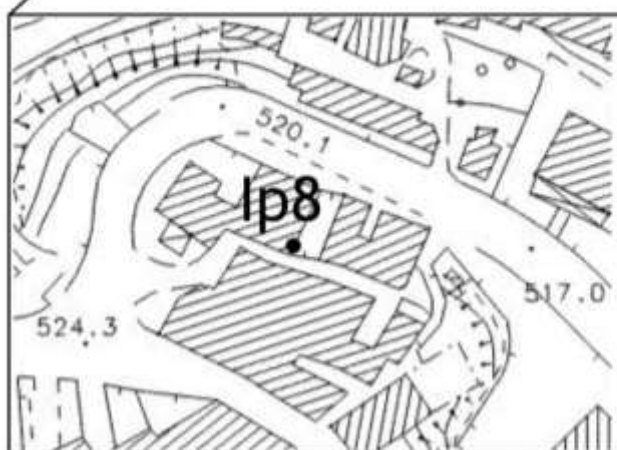
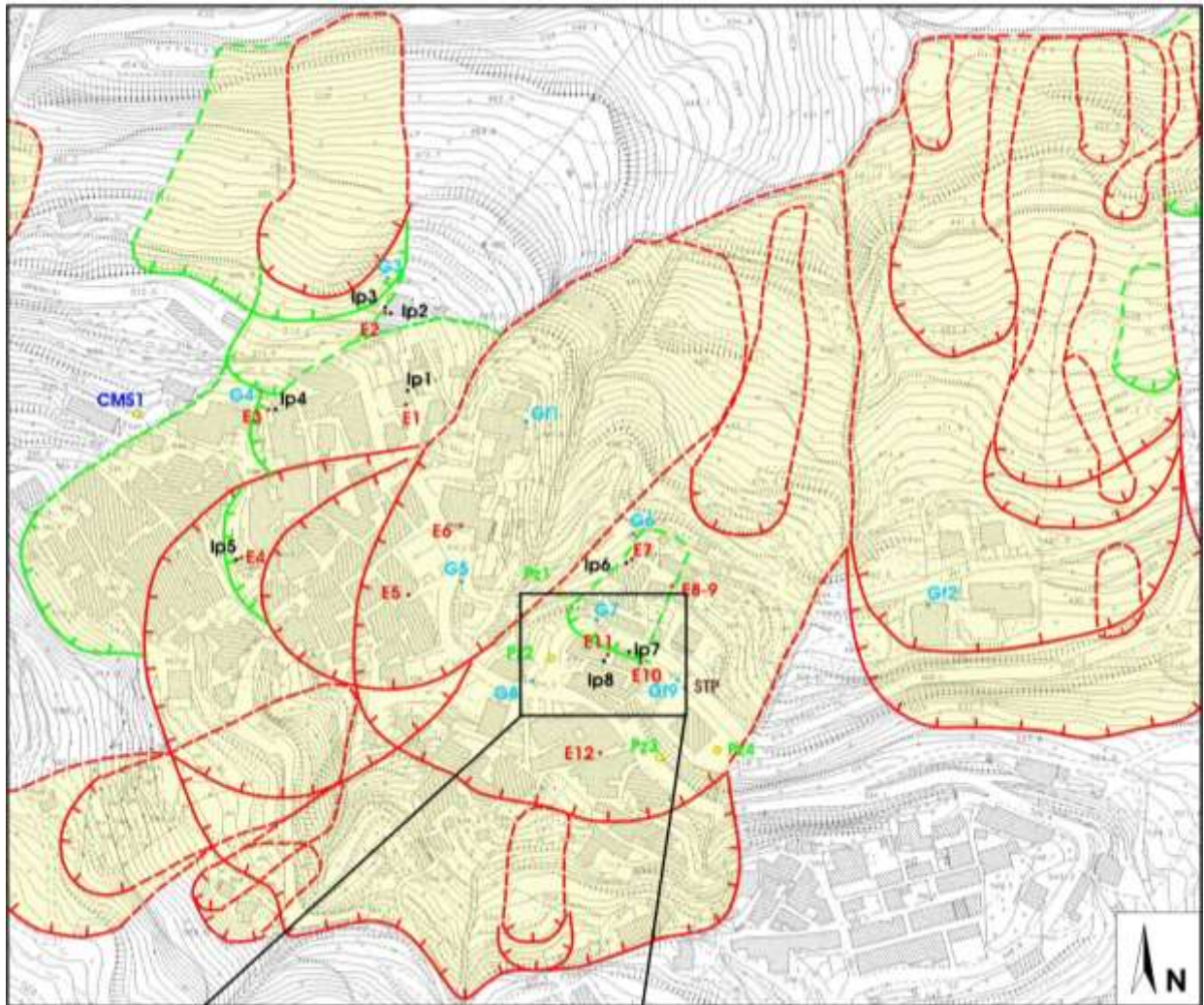
Inclinometro monoassiale Ip7



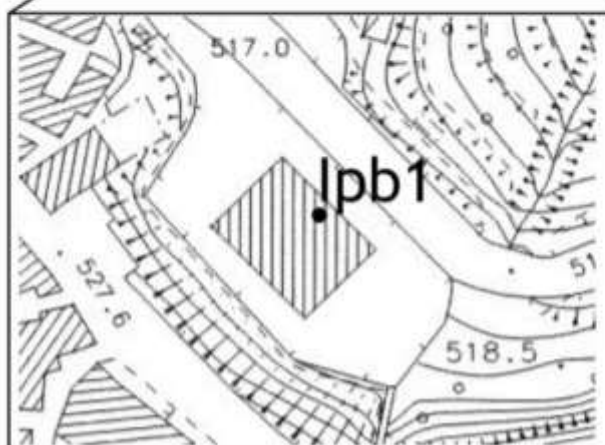
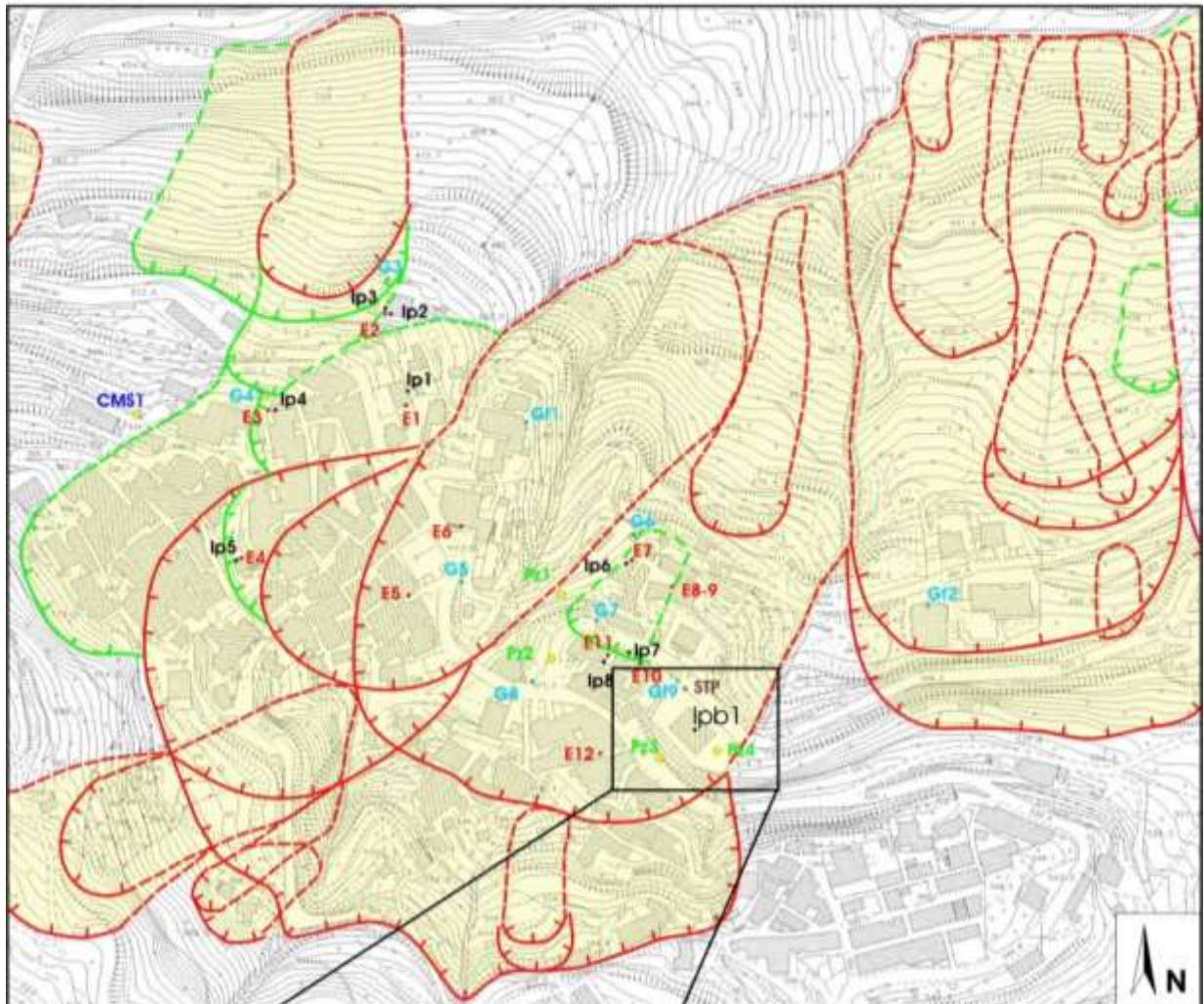
Direzione del movimento: 10 N



Inclinometro monoassiale Ip8



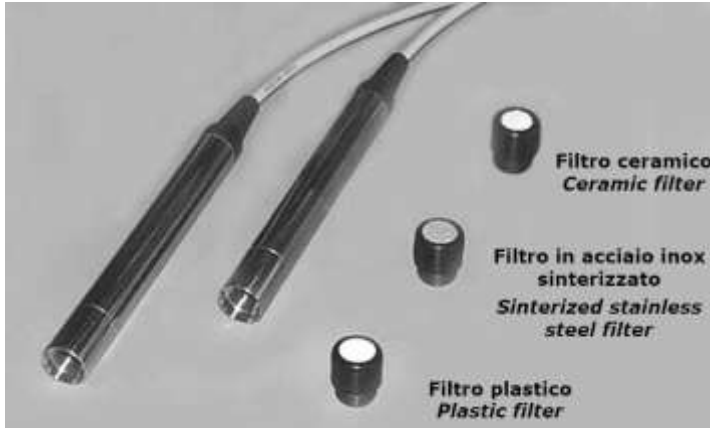
Inclinometro bi assiale Ipb1



8.3.3-Piezometri elettrici

I piezometri elettrici sono utilizzati per misure automatiche dei livelli di falda e di pressione interstiziale. Tali sensori emettono segnali elettrici associabili ai valori di profondità della falda, mediante apposito *software*. I piezometri sono collegati al C.E.D. che ne gestisce l'automazione delle misure.

I piezometri installati, mod. **P235S4-SISGEO** (fig. 33) e mod. **LV610-SIM** (fig 34), comprendono un corpo cilindrico in acciaio inossidabile contenente la camera idraulica, il sensore di misura, la scheda di condizionamento 4-20 mA e la terminazione del cavo; un filtro, a forma di disco, realizzato in ceramica, che



mette in comunicazione la camera idraulica con l'ambiente esterno; un cavo elettrico di opportune caratteristiche che collega lo strumento all'unità di lettura.

Il piezometro del tipo **LV610-SIM** è stato posizionato nel foro di sondaggio S2.

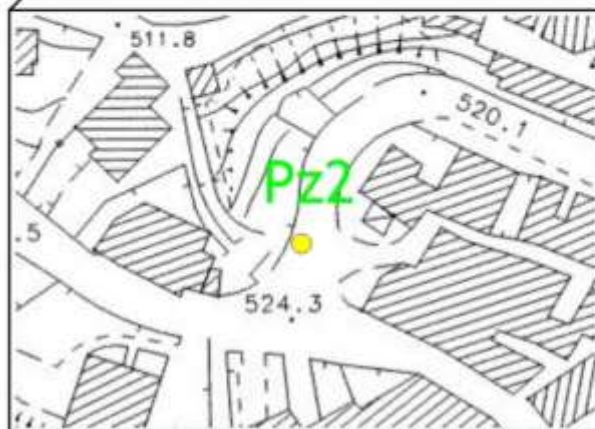
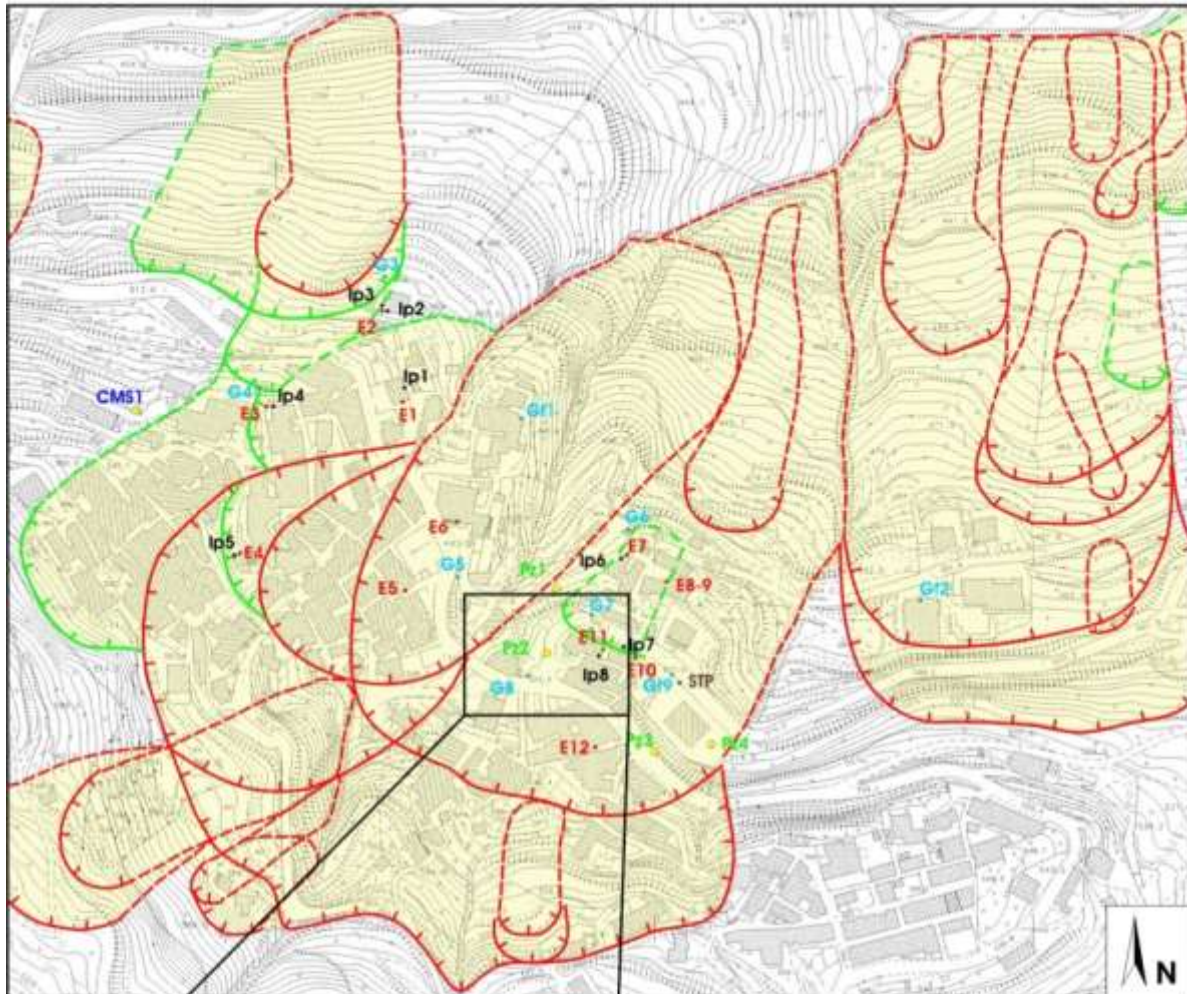
Figura 33 – Piezometro tipo P235S4 SISGEO

I piezometri del tipo **P235S4-SISGEO** sono stati installati nei restanti perfori di sondaggio attrezzati di canna inclinometrica

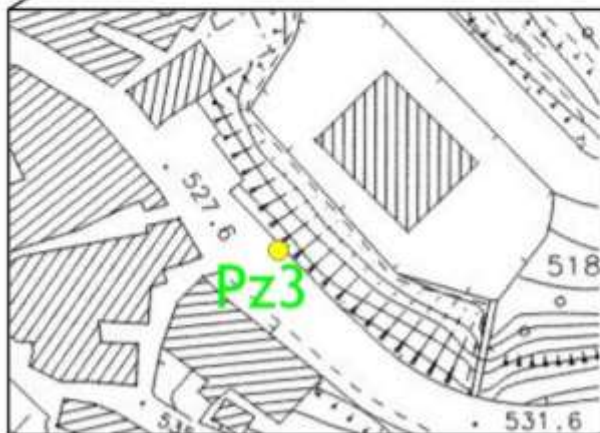
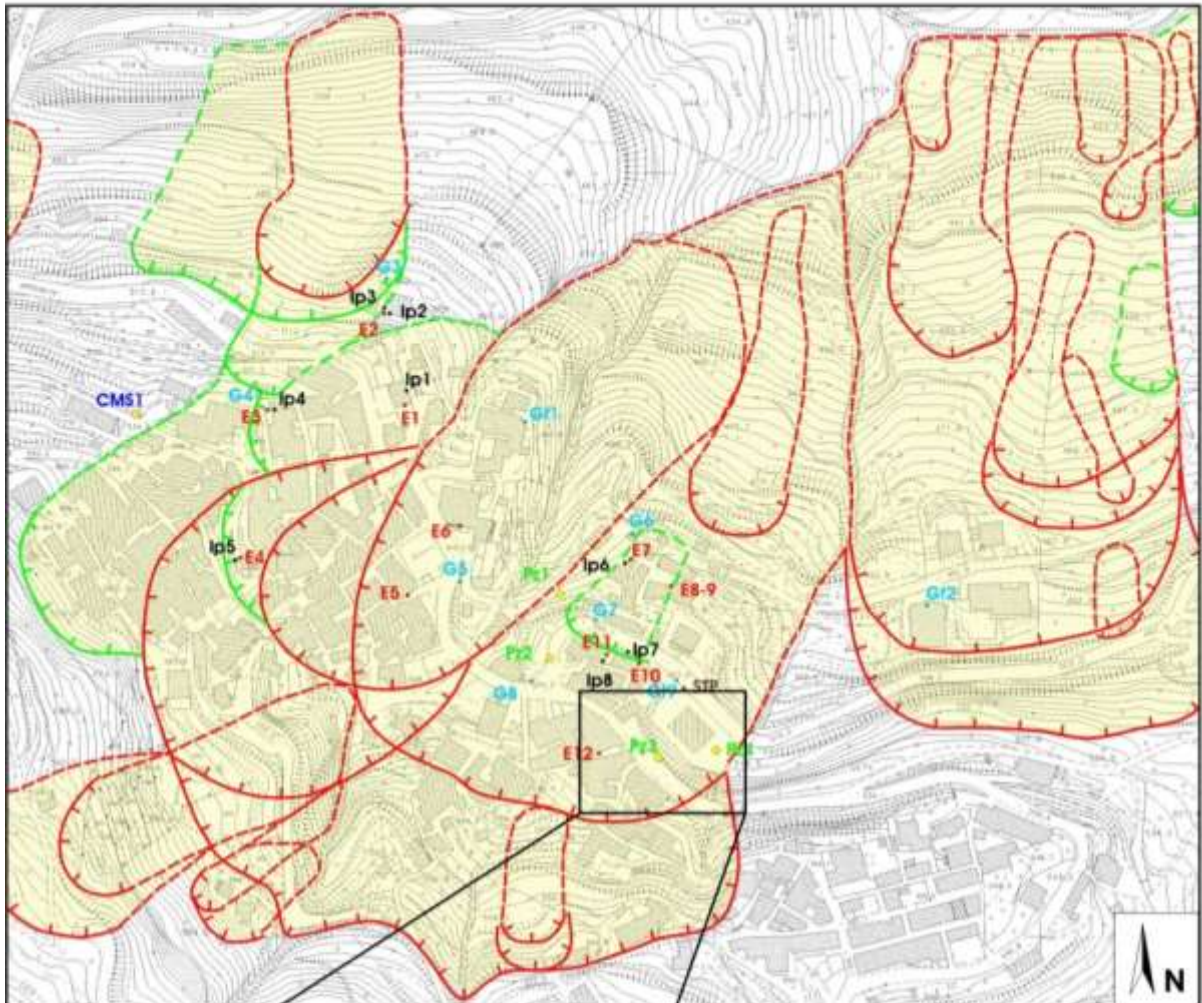


Figura 34 – Piezometro tipo LV610-SIM

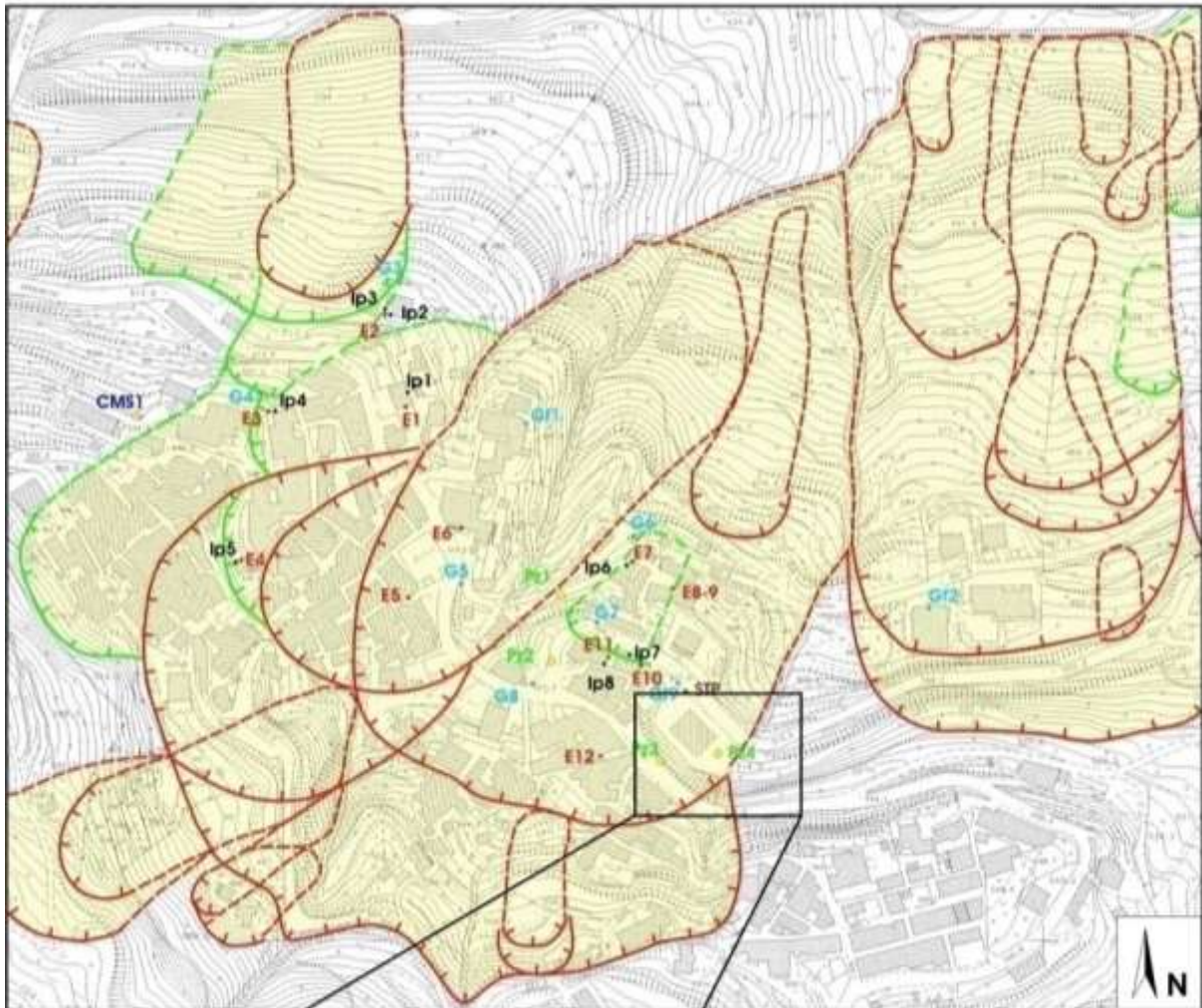
Piezometro Pz2



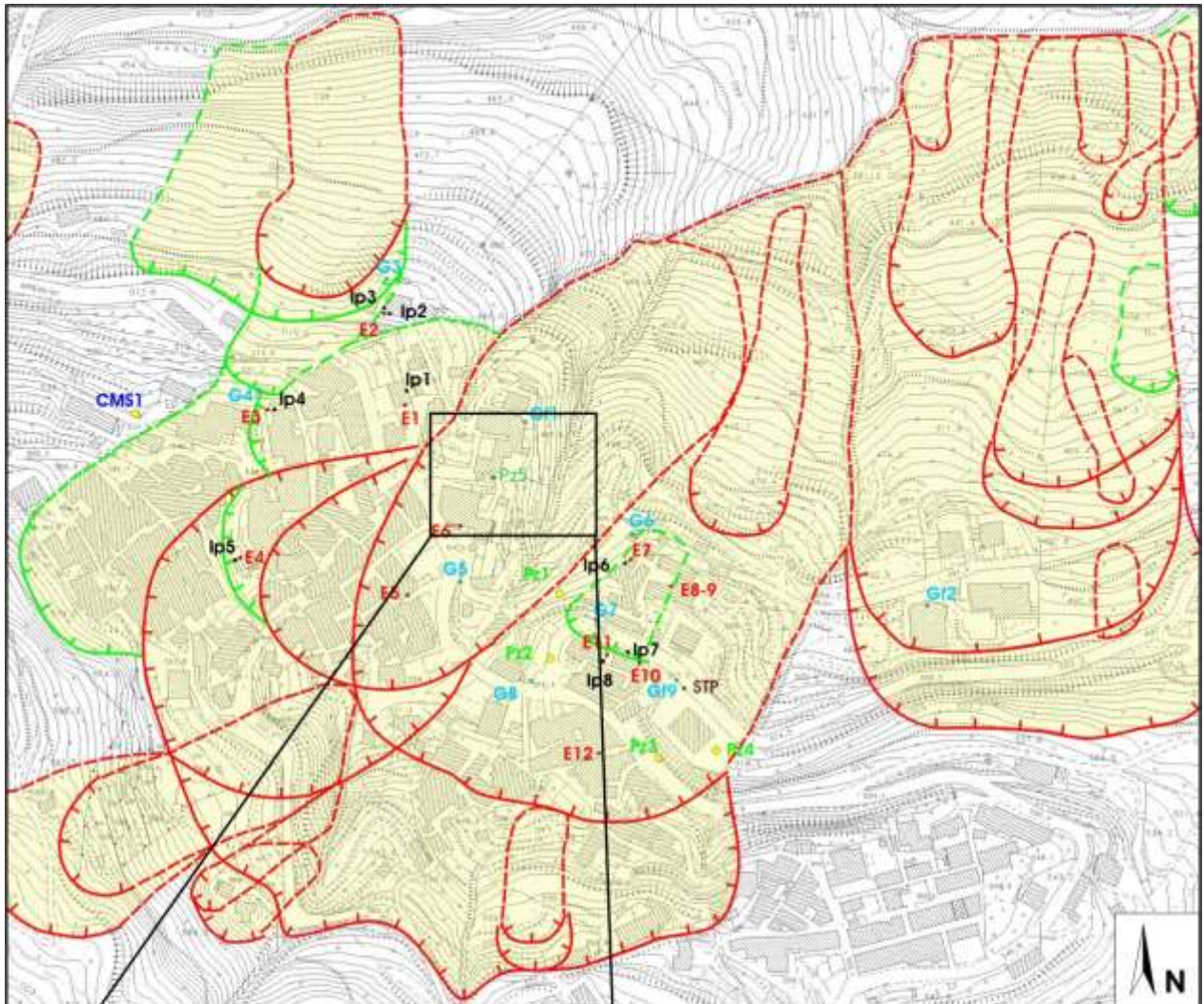
Piezometro Pz3



Piezometro Pz4

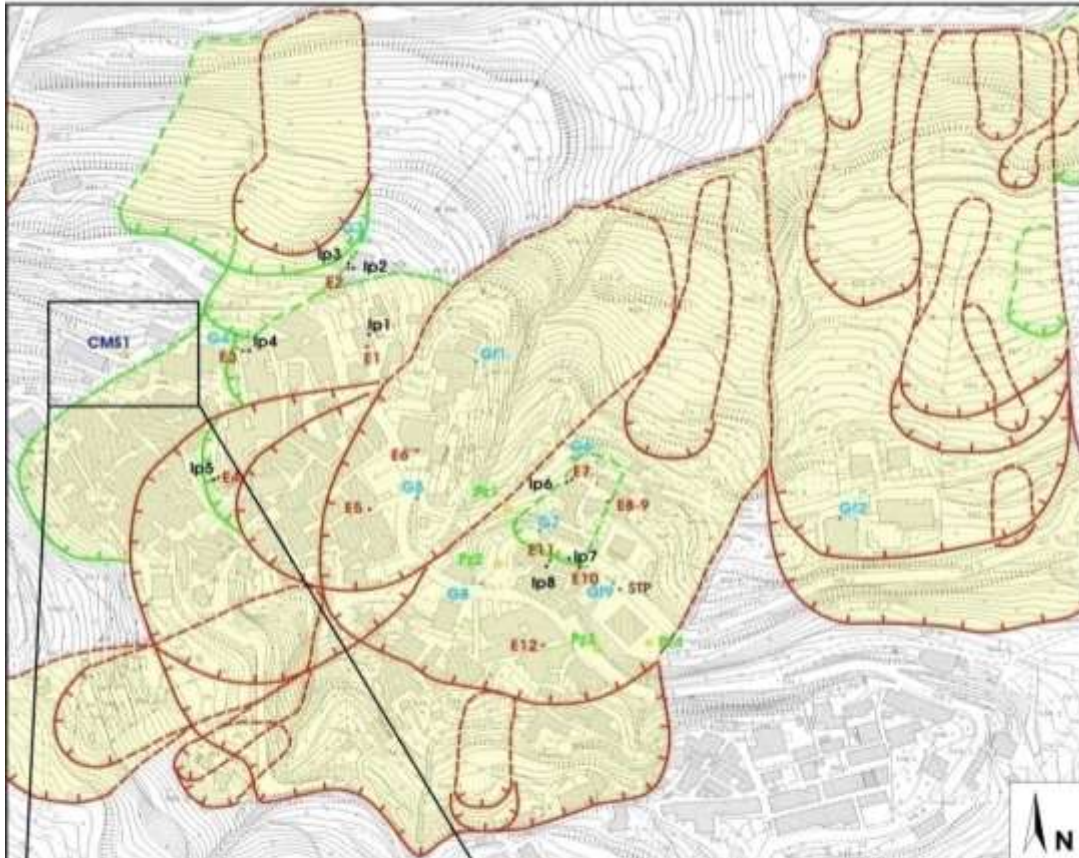


Piezometro Pz5



8.3.4 Centralina di monitoraggio sorgente

La centralina di monitoraggio sorgente è stata installata presso una sorgente di significativa portata ubicata nel Rione Piazza di San Martino di Finita.



La centralina è composta da una serie di sensori che misurano, in tempo reale, variazioni delle grandezze che caratterizzano le acque che scaturiscono dalla sorgente, come repentine variazioni di portata e intorbidimento delle acque che possono preludere a repentine accelerazioni dei fenomeni franosi e quindi a possibili immediati collassamenti. Tali sensori sono rappresentati da:

- un **misuratore di portata**,
- un **misuratore di ossigeno disciolto**,
- un **misuratore di conducibilità**,
- un **misuratore pH/temperatura**,
- una **sonda per la misurazione dell'umidità del suolo**.

I vari sensori acquisiscono i dati in modo automatico ed in tempo reale li trasmettono, via cavo, al Centro Elaborazione Dati. Nella figura di pagina precedente è ripotata l'ubicazione e la documentazione fotografica della centralina di monitoraggio sorgente individuata con la sigla **CMS**.

8.3.5 Stazione Termo-Pluviometrica

Nel piazzale antistante i locali del C.E.D. è stata installata una stazione meteo composta da un termoigrometro, un pluviometro ed un barometro (sigla **STP** nella rete di monitoraggio). La stazione ha fornito una serie di utili indicazioni utili per la valutazione, in tempo reale, del contributo derivante dalle precipitazioni meteoriche all'acquifero contenuto entro il corpo di frana.



Figura 35 - Termoigrometro mod.
LASTEM DMA575

Il **termoigrometro** (mod. LASTEM DMA575, **fig. 35**) è uno strumento che misura in continuo la temperatura e l'umidità relativa. Lo strumento ha *range* di misura della temperatura compreso tra -30°C e $+70^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,15^{\circ}\text{C}$) e dell'umidità relativa compreso tra 0 %, e 100 %, ($\pm 1,5\%$). Caratteristica di questi sensori è l'intercambiabilità dell'elemento sensibile termoigrometrico, che ne rende agevole la manutenzione ed elimina la necessità della calibratura.

Il **pluviometro** (mod. C401A-LASTEM, **fig. 36**) è un sensore predisposto per la misurazione in continuo delle piogge. E' costituito da una struttura cilindrica esterna in acciaio inox contenente un cono di raccolta delle acque di precipitazione appositamente realizzato per evitare il fenomeno del rimbalzo delle gocce all'esterno della struttura e per consentire la raccolta di acque anche in caso di precipitazioni di modesta entità. Il sensore permette inoltre di discriminare l'apporto da precipitazione pluviometrica da quello dovuto a condensazione (mediante un principio di misura di tipo conducimetrico tra due elettrodi mantenuti a temperatura più alta di quella dell'ambiente al fine di inibire la formazione di condensa).

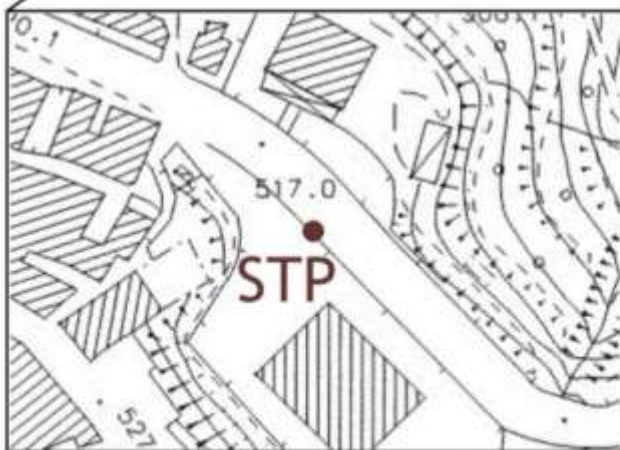
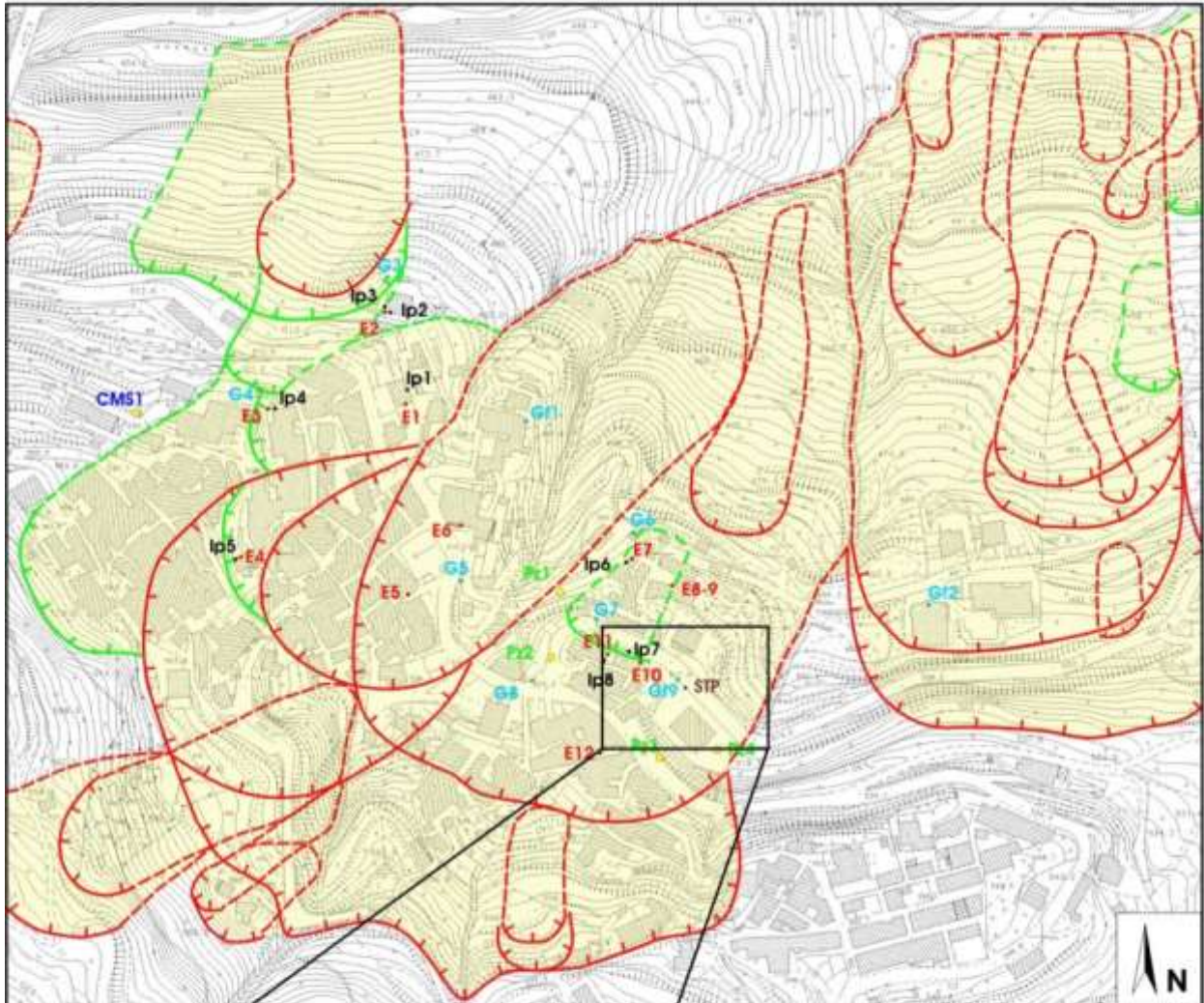


Figura. 36 - Pluviometro
mod. C401A-LASTEM

Il **barometro** (mod. GE Sensing tipo serie PMP 4000; **fig. 37**) è un sensore predisposto per la misura della pressione atmosferica. Lo strumento ha un *range* di misura compreso tra 70 mbar e 700 bar (+/- 0,04%).



Figura. 37 - Barometro mod. PMP 4000



8.3.6-Stazioni di misura GPS

Un GPS (Global Positioning System) è un sistema che utilizza la tecnologia satellitare per determinare la posizione (latitudine e longitudine) di un qualunque punto collocato sulla superficie terrestre. Nel caso particolare di versanti instabili, il GPS consente di determinare movimenti differenziali tra punti di riferimento opportunamente ubicati sul territorio indotti da fenomeni gravitativi. La possibilità di determinare movimenti differenziali in tre dimensioni, consente di evidenziare ed analizzare cinematismi di movimento, anche particolarmente complessi, sia dei terreni che delle strutture ricadenti lungo versanti instabili.

Il sistema di monitoraggio GPS utilizzato nel progetto A.M.A.Mi.R. è stato realizzato per consentire la misurazione in continuo o ad intervalli prestabiliti, con precisioni sub-centimetriche della posizione dei punti ritenuti di interesse, e di restituire una rappresentazione spaziale dei movimenti mediante vettori di posizione e spostamento, con indicazioni sia sulla velocità che sull'accelerazione. Il sistema è composto da:

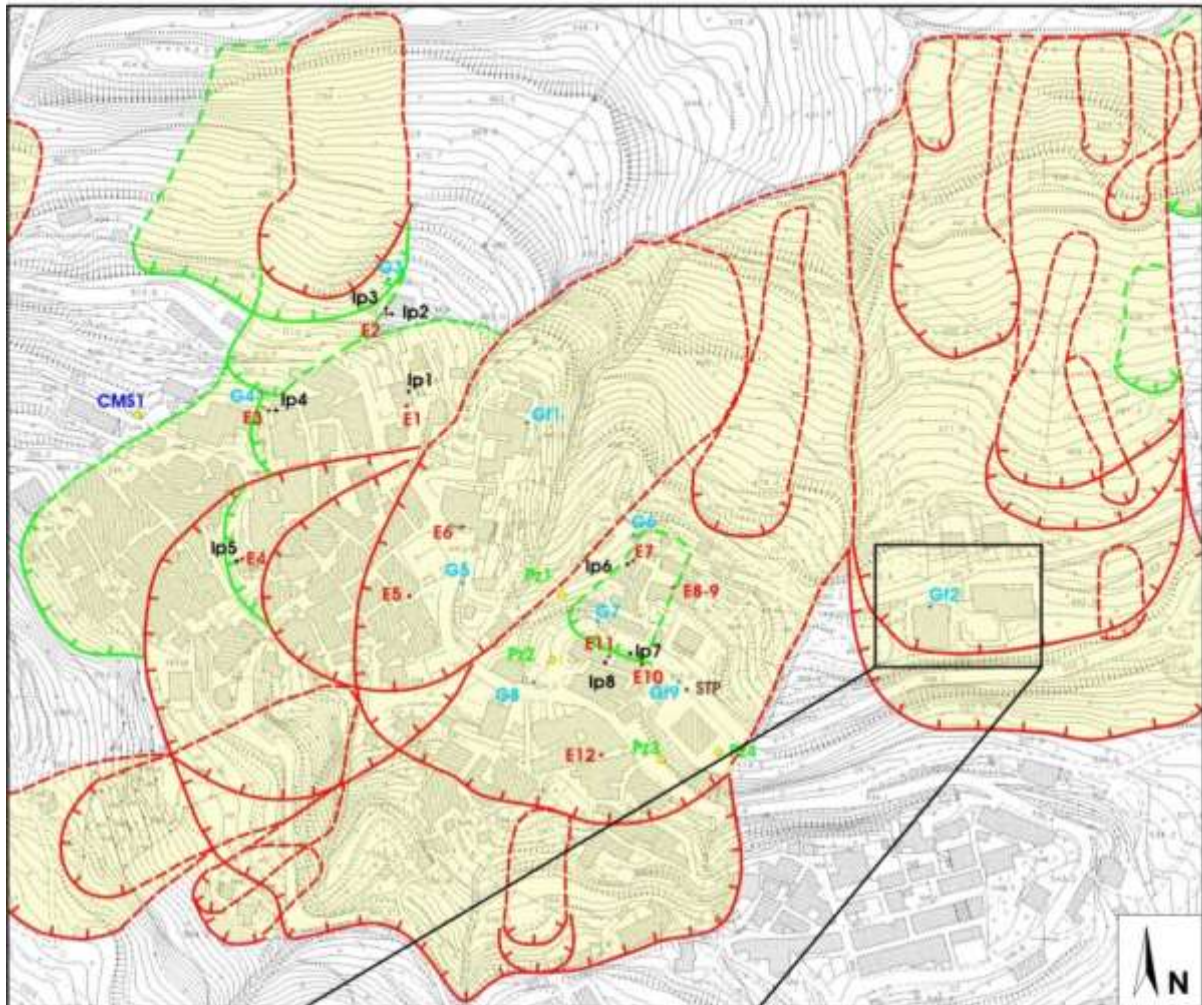
- **N.1 stazione GPS di riferimento** provvista di un ricevitore GPS collocato in un'area esente da fenomeni di dissesto al quale riferire i movimenti di punti di misura GPS collocati all'interno del corpo di frana. La stazione permanente della rete di monitoraggio A.M.A.Mi.R. è stata posizionata presso l'edificio che ospita la scuola media di Cerzeto, in un'area pianeggiante ritenuta esente da processi gravitativi. L'architettura di tale stazione prevede una antenna geodetica collocata sulla copertura dell'edificio (per avere il cielo completamente visibile al di sopra di 15° dall'orizzonte), un ricevitore e un computer di controllo dell'intero sistema che consente, tra l'altro, il monitoraggio da remoto del ricevitore GPS e il salvataggio locale dei dati acquisiti. La stazione GPS permanente opera senza interruzioni acquisendo e immagazzinando i dati di codice e di fase di tutti i satelliti visibili dal ricevitore 24 ore su 24 per 365 giorni l'anno. Il sistema è collegato alla rete elettrica, mentre il controllo da remoto del ricevitore è collegato ad una linea ADSL.
- **N.3 stazioni GPS fisse** provviste di ricevitore, antenna geodetica e controller collocati su apposita stazione realizzata con supporti metallici. Le stazioni fisse sono state ubicate su immobili di particolare importanza che versano in condizioni di particolare precarietà, per i quali sia richiesto un monitoraggio continuo e controllato, o su immobili ricadenti in aree di interesse strategico per la comprensione, nel tempo, dei cinematismi della frana di San Martino di Finita.
- **N.6 stazioni GPS mobile** provviste di ricevitore, antenna geodetica e *controller* portatile. Con la stazione mobile potranno essere eseguite misure GPS su punti prescelti opportunamente attrezzati ad ospitare i ricevitori GPS con sistemi a centratura forzata, per eseguire misure periodiche (**fig. 38**). Il ciclo di misura prevede l'acquisizione dei dati almeno per un'ora ripetuta con cadenza da stabilirsi in funzione dei movimenti riscontrati (settimanale, mensile, stagionale).

Attualmente sono state installate e messe in funzione 2 delle 3 stazioni di misura GPS ad installazione fissa e sono stati collocati gli appositi supporti per i ricevitori di tipo mobile. Nel seguito sono riportate le ubicazioni e relativa documentazione fotografica dei punti di monitoraggio GPS fissi e mobili.

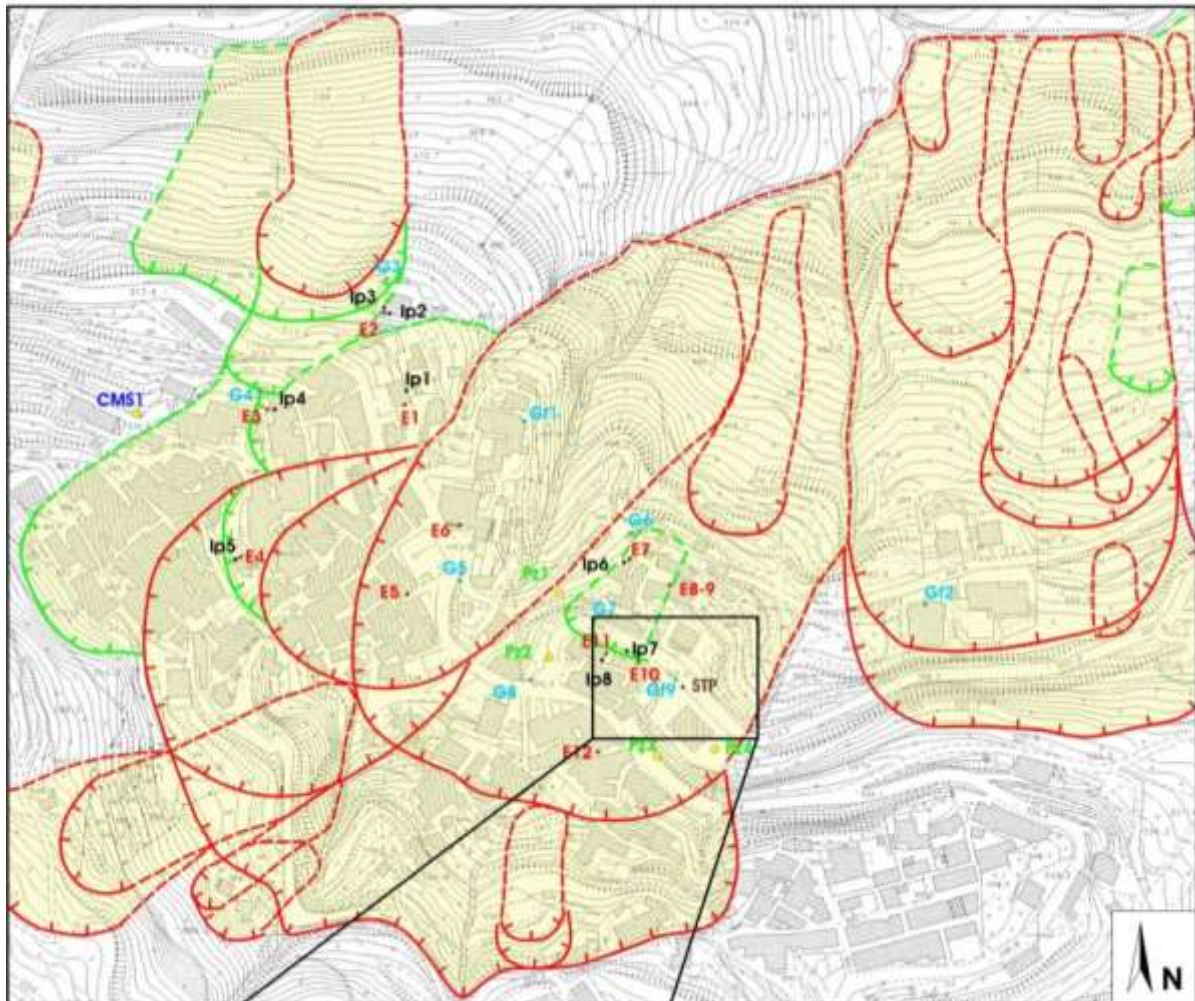


Figura. 38 - Punto di misura stazione GPS mobile

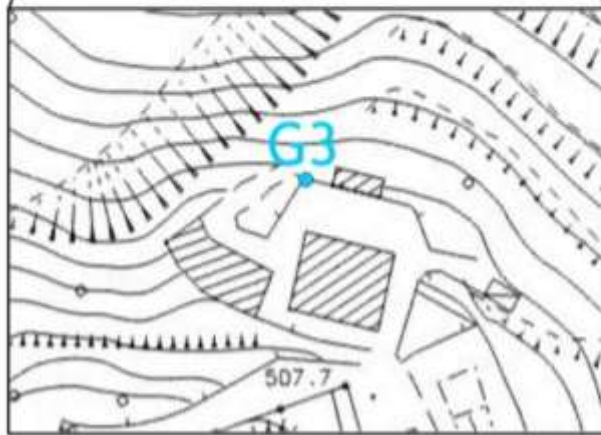
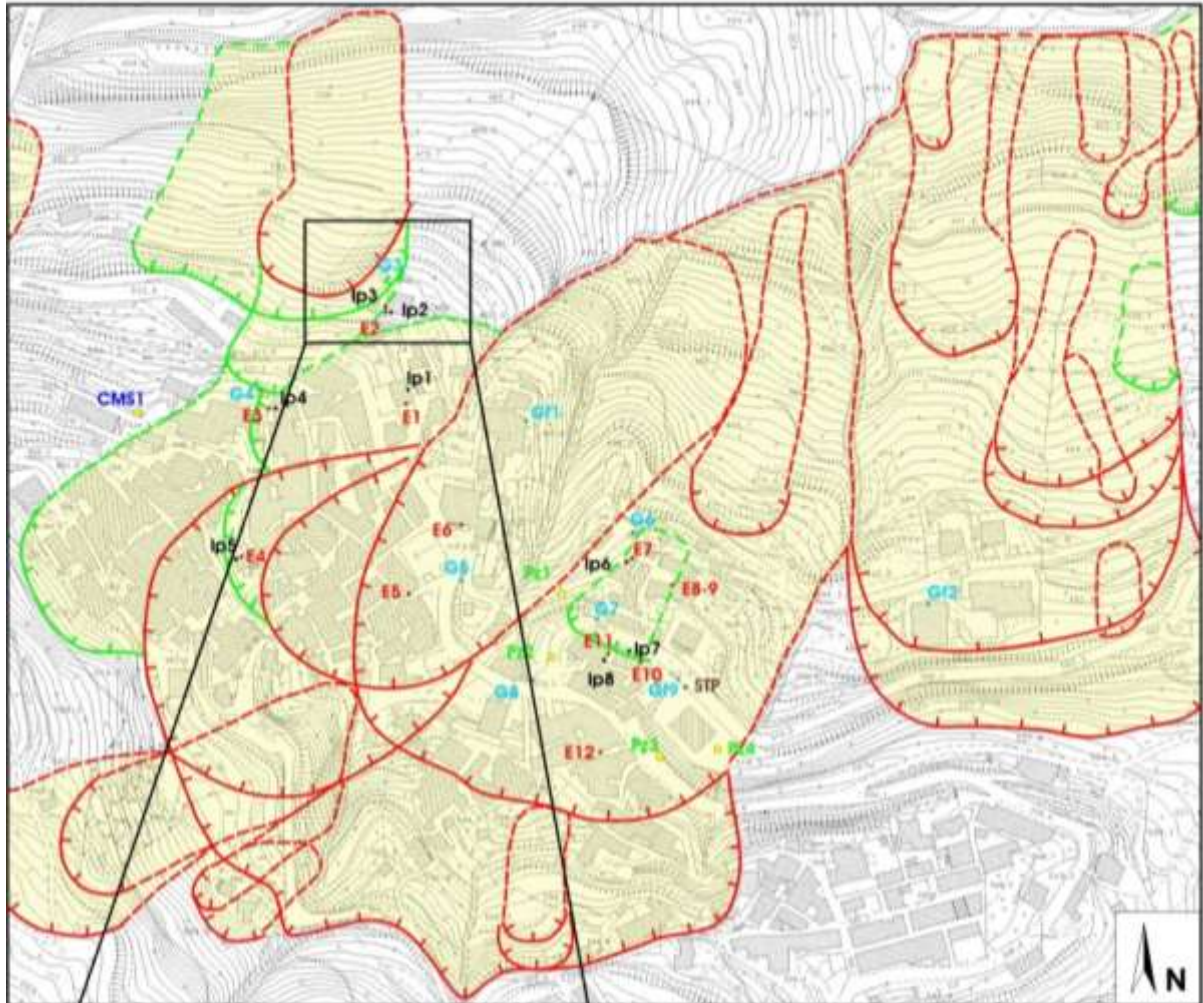
Stazione GPS fissa Gf2



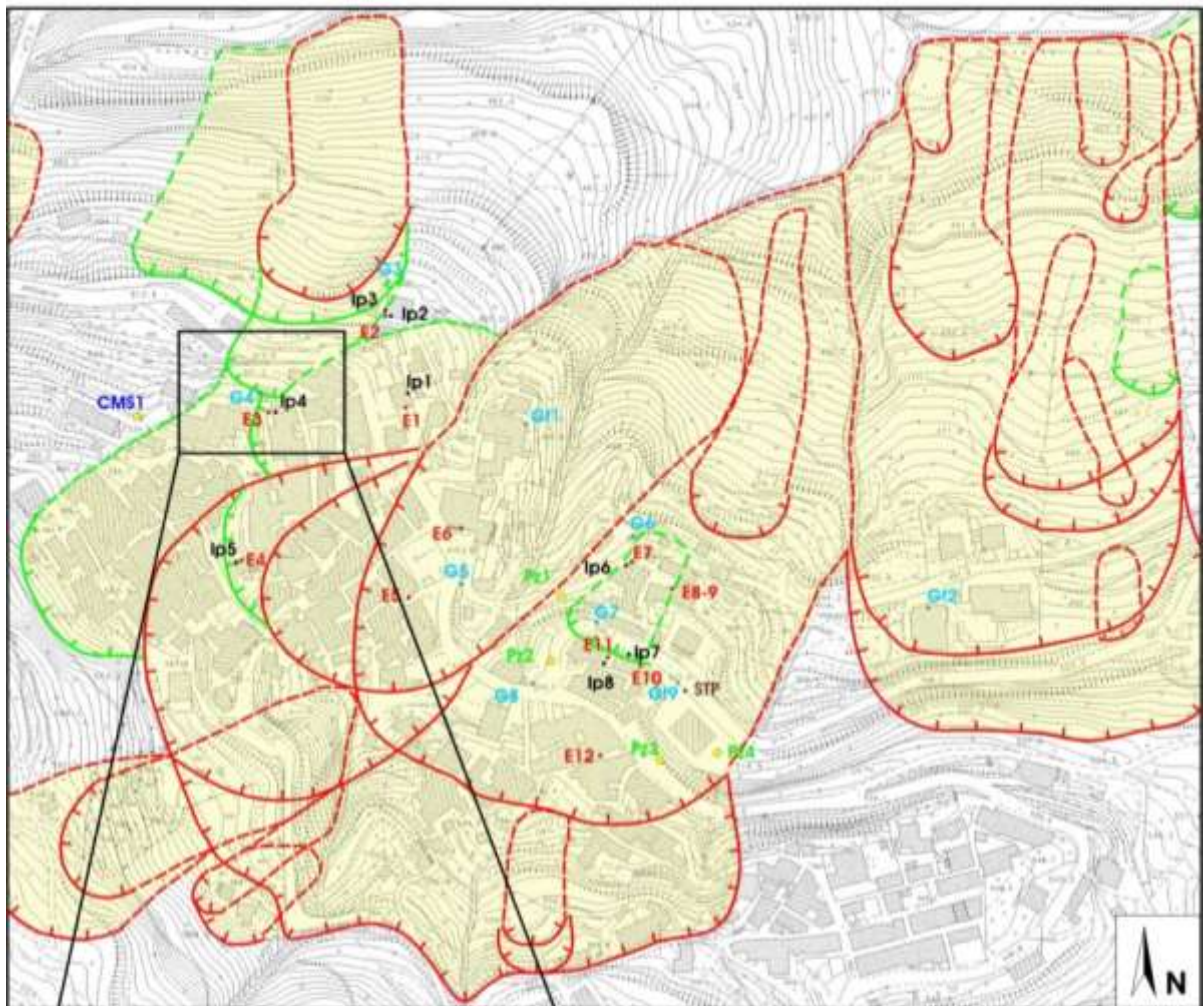
Stazione GPS fissa Gf9



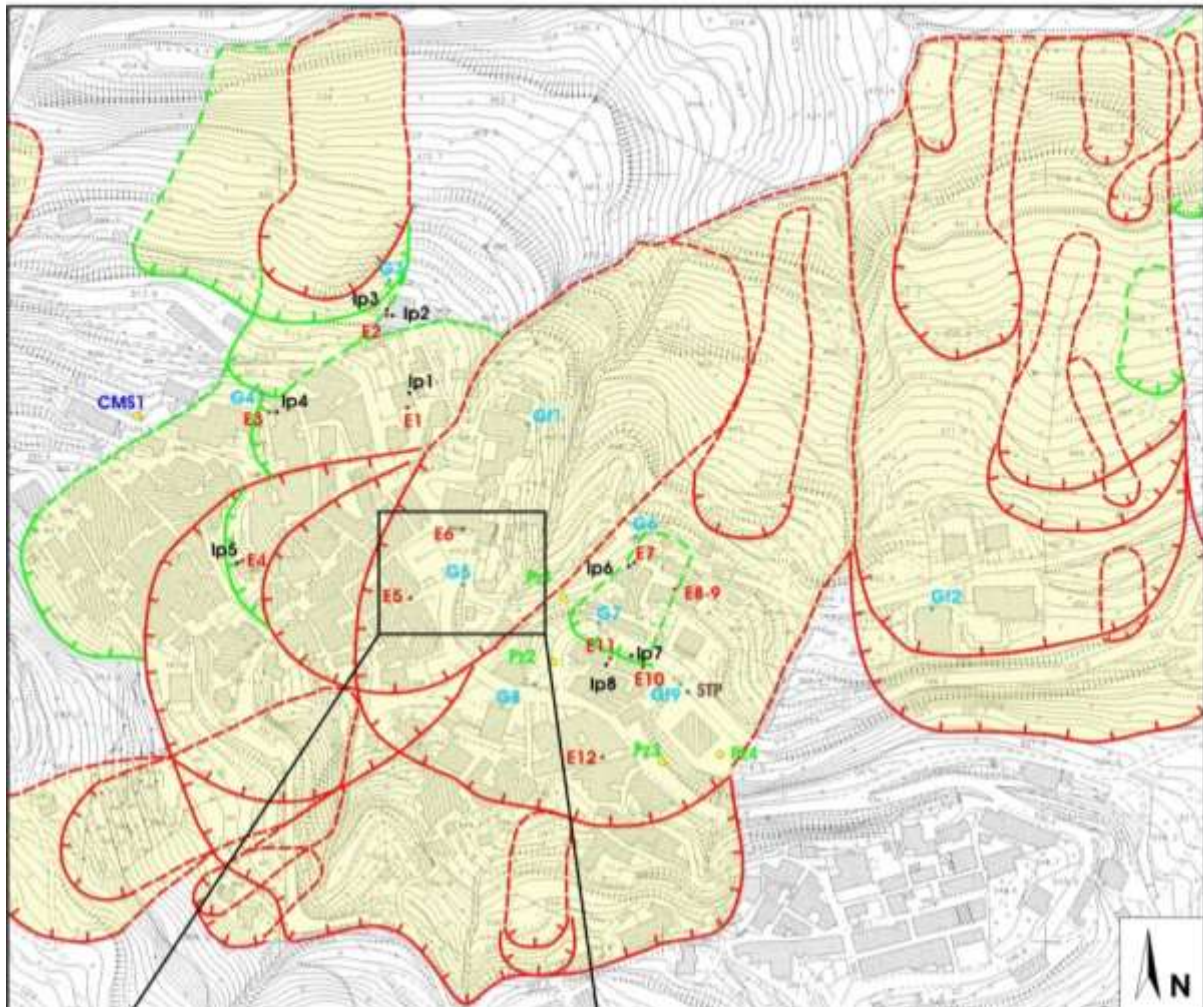
Stazione GPS mobile G3



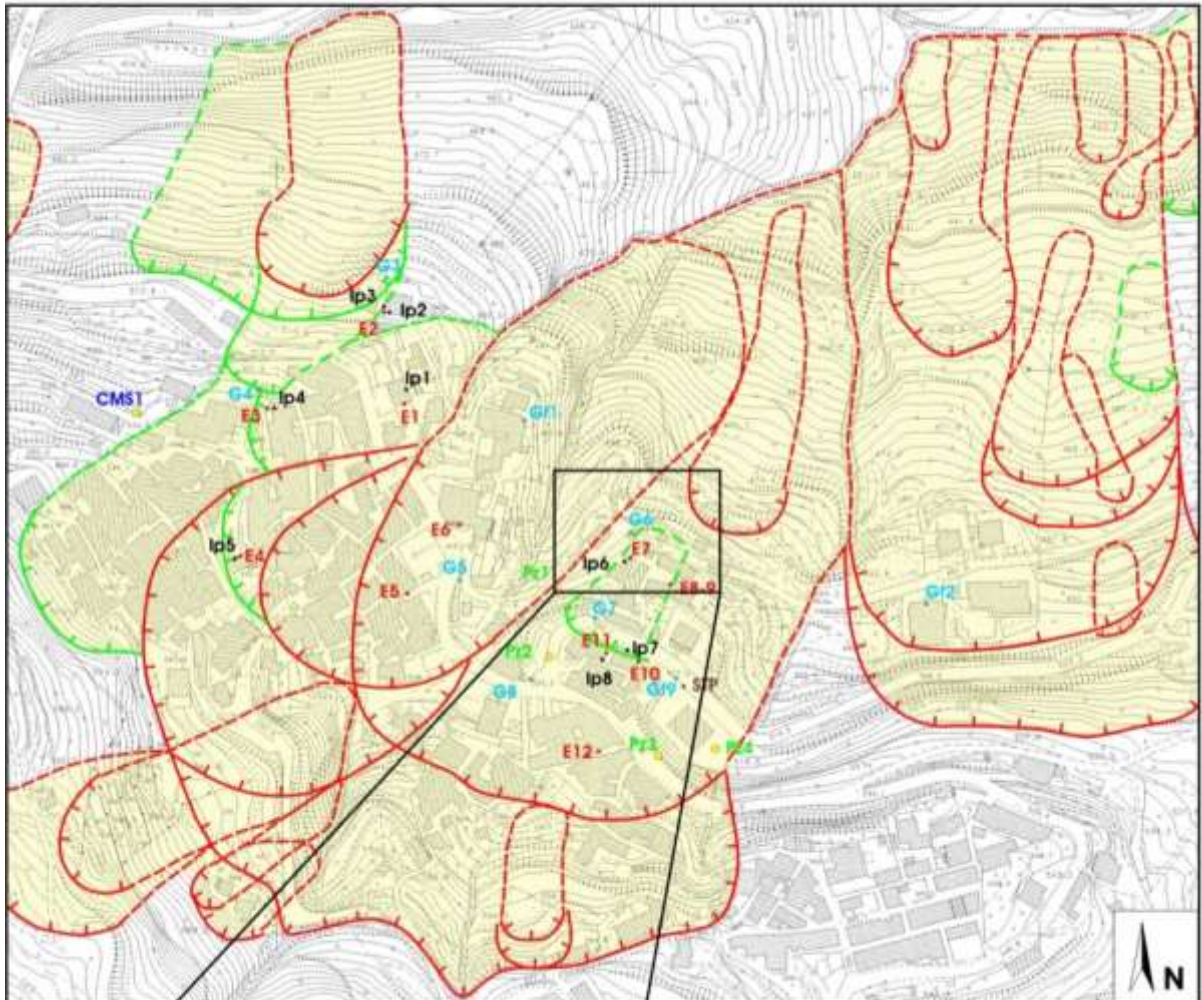
Stazione GPS mobile G4



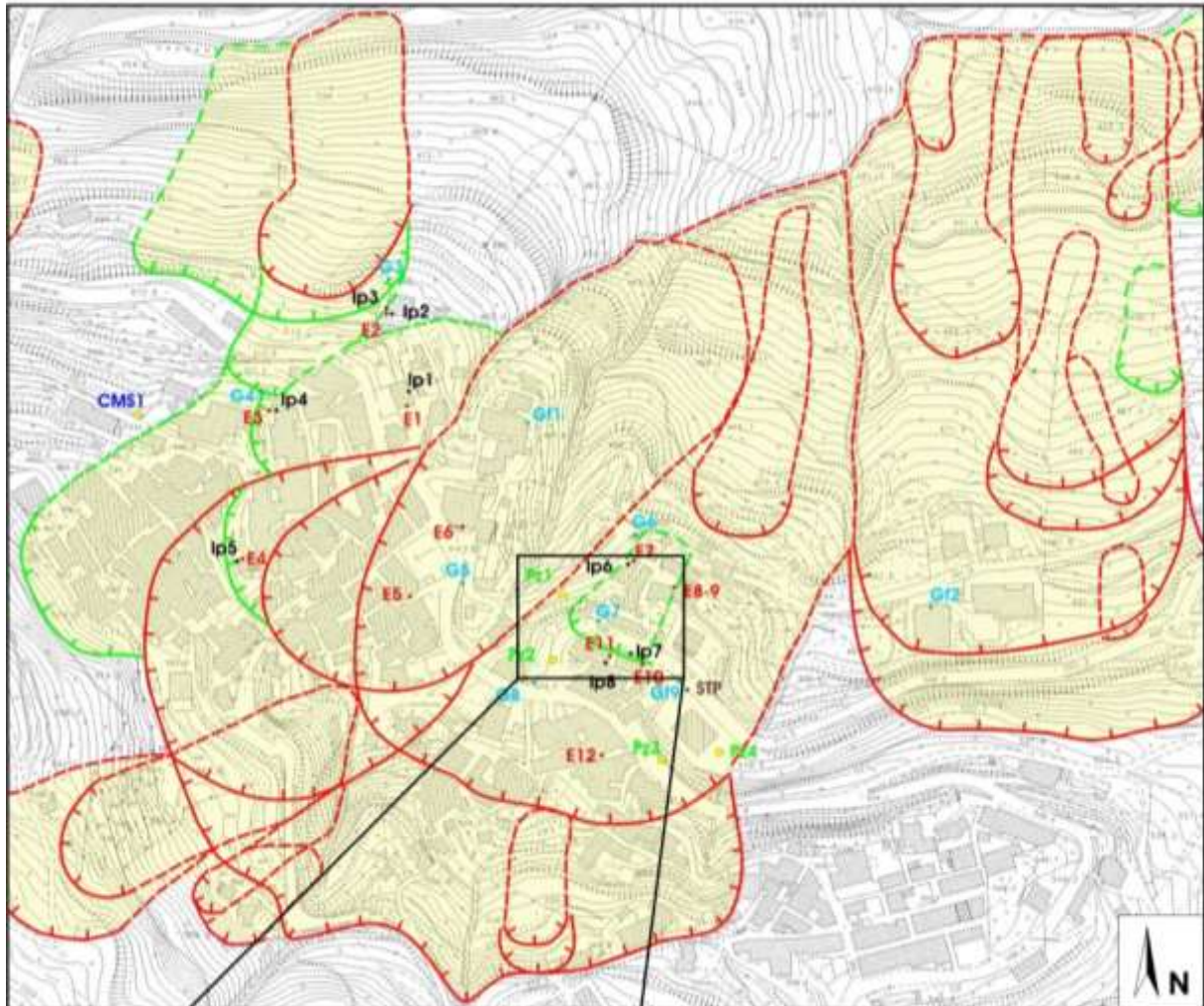
Stazione GPS mobile G5



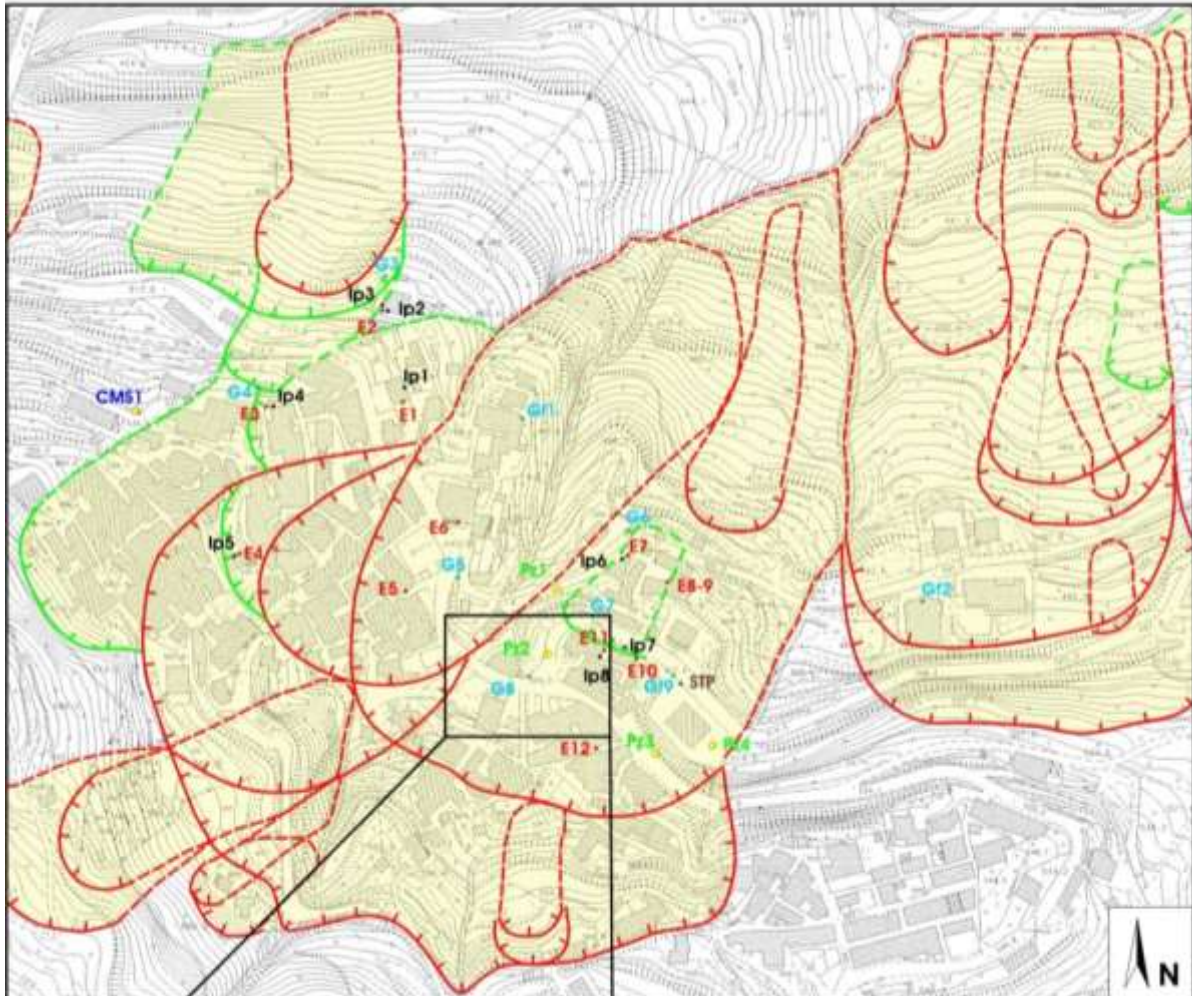
Stazione GPS mobile G6



Stazione GPS mobile G7



Stazione GPS mobile G8



8.3.7. *Inclinometri fissi da foro*

Al fine di stabilire la profondità più idonea a cui collocare le tre sonde inclinometriche fisse nel perforo di sondaggio S1, sono state preventivamente eseguite misure inclinometriche manuali con lo scopo di individuare la possibile superficie di scorrimento profondo della frana di San Martino di Finita connessa con il movimento in atto.

Le misure manuali sono state effettuate mediante una sonda "Slope Indicator mod. s/n 26180" (fig.39) utilizzando un cavo di collegamento di 60 m, con letture eseguite ogni metro.



Figura 39 – Sonda Slope Indicator mod. s/n 26180, utilizzata per le misure inclinometriche

Durante il periodo aprile-novembre 2009 sono state eseguite n. 5 misure:

- In data 06/04/2009 (questa misura è stata indicata come "misura zero", ovvero come misura di riferimento per le successive);
- In data 12/06/2009;
- In data 21/07/2009;
- In data 21/09/2009;
- In data 10/11/2009;

Le inclinazioni misurate sono state successivamente elaborate in modo da ottenere la deformata del tubo e, quindi, gli spostamenti rispetto alla verticale ideale, così come visualizzato nei seguenti grafici in cui è evidenziato lo spostamento (misurato in mm) rispetto alla profondità.

In **figura 40** sono rappresentati i grafici mostranti gli spostamenti cumulativi (in mm) in funzione della profondità, desunti dalle misure inclinometriche eseguite il 12/06/2009, il 21/07/2009, il 21/09/2009 e il 10/11/2009. Dall'esame dei grafici si nota come risulti ben evidente un piano di scorrimento profondo (a 51 m dal p.c.) che corrisponde all'incirca con la superficie di contatto delle metamorfite con le sottostanti argille plioceniche.

Nell'intervallo 12/06/2009-10/11/2009, si è registrato un lento e costante movimento, lungo la suddetta superficie, che ha raggiunto uno spostamento complessivo di circa 15 mm. Altri due piani di scorrimento secondari sono stati riscontrati rispettivamente intorno ai 20 e ai 7 metri dal pc ed hanno evidenziato, nel complesso, spostamenti di entità inferiore rispetto al movimento profondo. E' stato

possibile ravvisare l'entità complessiva dello spostamento orizzontale, che a livello della superficie di campagna ha raggiunto l'entità di 25 mm.

Le misure inclinometriche eseguite nel periodo sopra indicato hanno permesso di valutare la velocità di traslazione orizzontale a livello del piano di campagna, valutata in circa 1.1 mm/settimana, secondo la progressione rappresentata in **figura 40**.

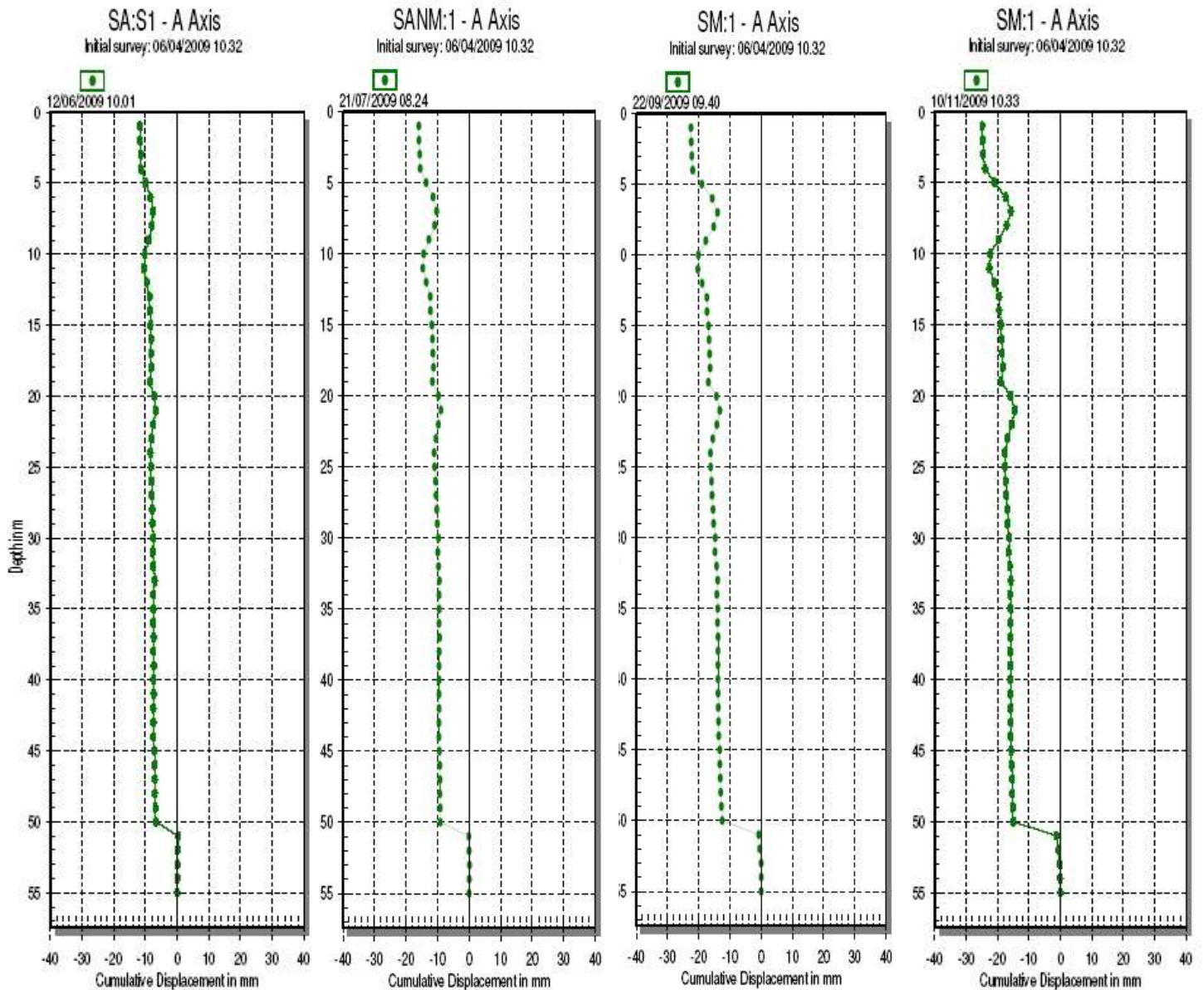


Figura 40 – Grafici mostrandoti gli spostamenti cumulativi (in mm) in funzione della profondità, desunti dalle misure inclinometriche eseguite nel perforo S1

Dall'analisi dei dati riportati in **figura 41** che rappresenta lo spostamento cumulativo (in mm) Asse A-AsseB, relativamente al periodo di riferimento, si rileva la direzione del vettore-spostamento del dissesto, orientato NE-SW, relativamente a tutti e tre i piani di scorrimento.

Nel complesso si desume come l'entità dello spostamento profondo risulti sensibilmente più accentuata rispetto ai due più superficiali, probabilmente in virtù di una maggiore dipendenza di questi ultimi dall'oscillazione del livello piezometrico.

Sulla scorta delle indicazioni fornite dalle letture inclinometriche manuali, si è ritenuto opportuno collocare all'interno del tubo inclinometrico tre sonde inclinometriche fisse (lunghe 1 metro) i cui punti mediani sono stati ubicati alle seguenti profondità dal piano campagna: **53,5 m** (settore non coinvolto nello spostamento sottostante il piano di scorrimento), a **50,5 m** (settore interessato dal maggiore spostamento cumulato) e **45 m** (settore immediatamente sovrastante il piano di scorrimento).

Le tre sonde sono state collegate alla rete, in modo da avere, anche per questi sensori, informazioni in tempo reale sugli spostamenti in atto che, unitamente ai dati dei sensori-spostamento collocati in superficie ed ai dati piezometrici, consentiranno di ottenere una reale e tempestiva cognizione del livello di rischio dell'area, legato alla mobilitazione delle porzioni profonde del corpo di frana di San Martino di Finita.

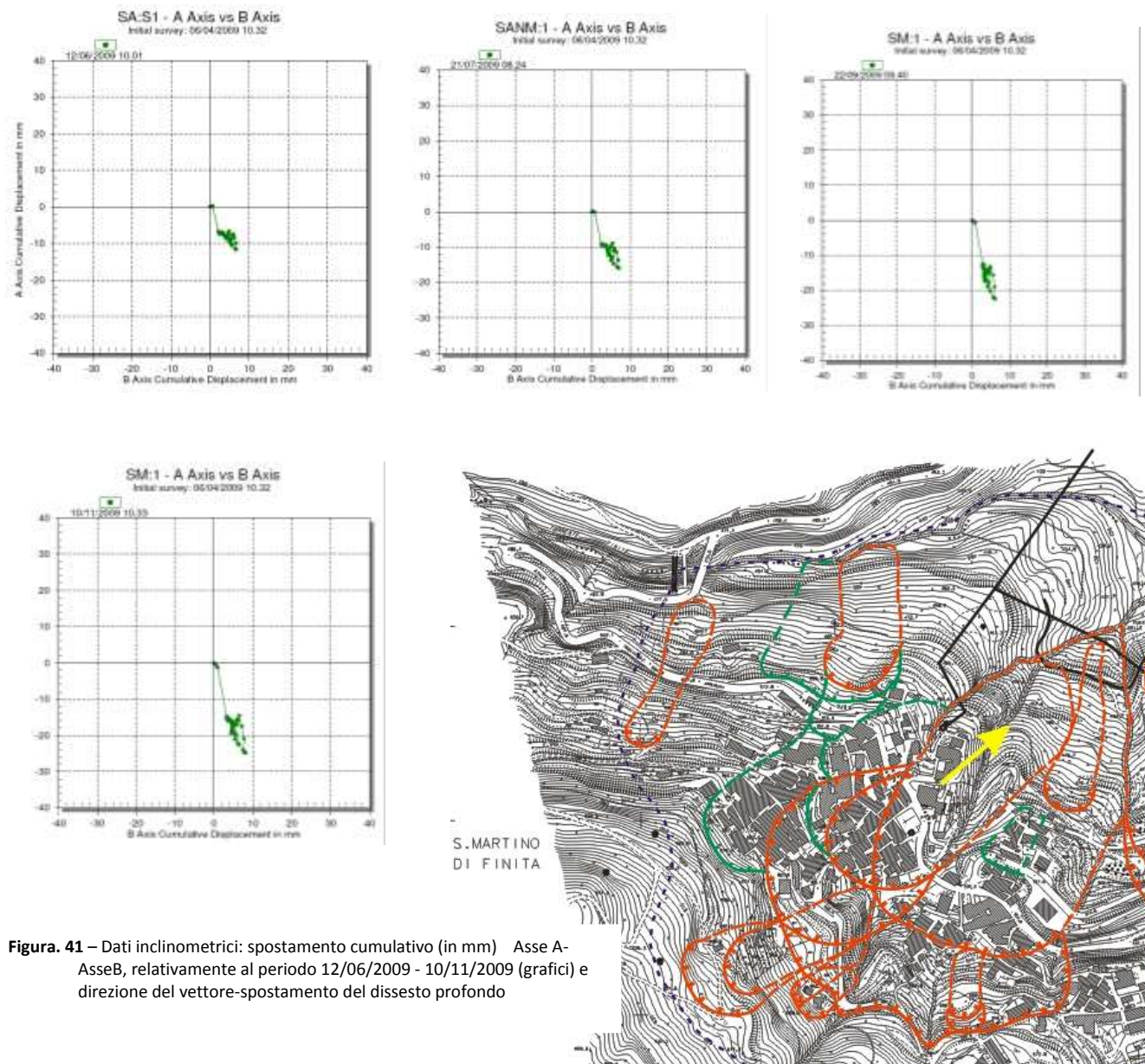


Figura. 41 – Dati inclinometrici: spostamento cumulativo (in mm) Asse A-AsseB, relativamente al periodo 12/06/2009 - 10/11/2009 (grafici) e direzione del vettore-spostamento del dissesto profondo

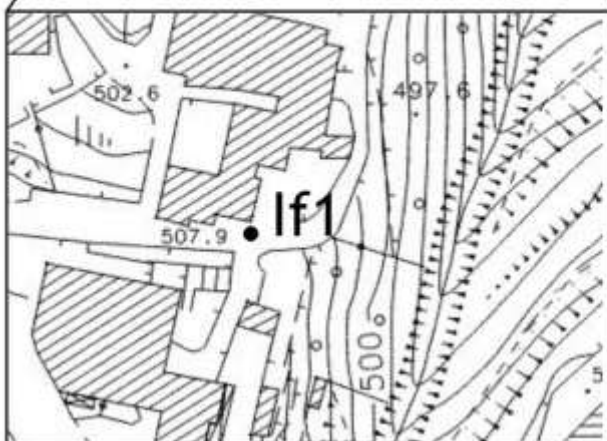
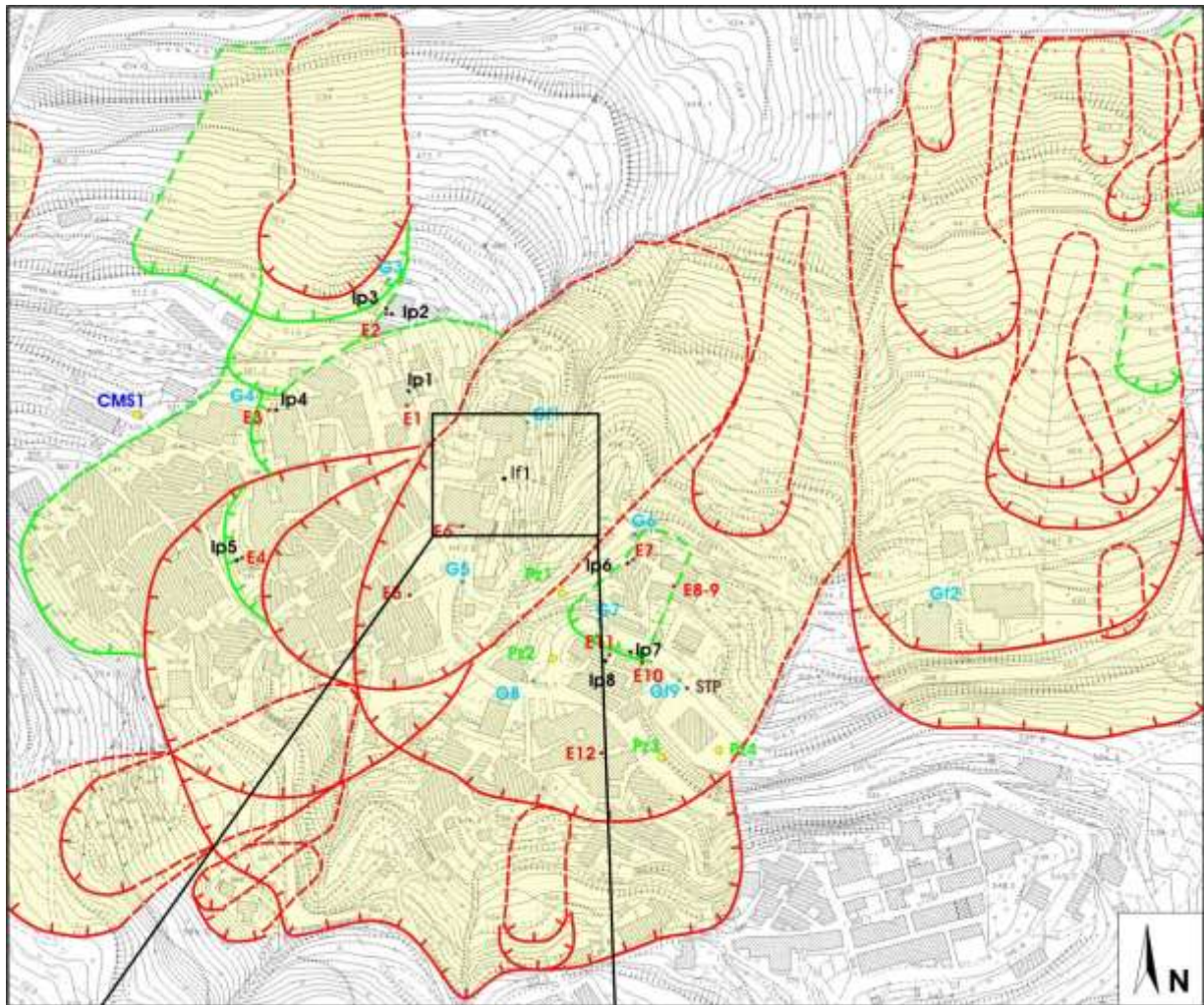
Gli inclinometri fissi da foro (serie IN930, Sim Strumenti) installati all'interno del tubo inclinometrico forniscono, relativamente agli assi X ed Y sul piano orizzontale, le inclinazioni rispetto alla verticale ideale passante per il punto in cui viene installato ogni singolo inclinometro. In tal modo consente di rilevare eventuali variazioni di posizione del suddetto punto connesse con fenomeni di scorrimento profondo (**fig. 42**).

Nel foro di sondaggio S1 sono stati installati 3 inclinometri fissi da foro (sigla **If1** della rete di monitoraggio AMAMiR).



Figura 42– Inclinometro fisso da foro (serie IN930, Sim Strumenti)

Nel seguito è riportata l'ubicazione e la documentazione fotografica dell'inclinometro fisso da foro **If1**.



9- il portale www.amamir.cnr.it

Nell'ambito del progetto A.M.A.Mi.R è stato attivato il portale www.amamir.cnr.it, che consente, agli utenti autorizzati, di controllare in tempo reale i principali parametri che controllano i movimenti franosi monitorati e le relative deformazioni di superficie.

Il portale è consultabile anche da utenti generici i quali - onde evitare possibili allarmismi derivanti da improprie interpretazioni dei dati - possono accedere ai dati differiti di 30 giorni. Nella figura di seguito riportata è visibile l'home page del sito, che si presenta con una grafica semplice e al contempo efficace, per una immediata consultazione.



Effettuando il "login" si accede alla pagina



tramite la quale, inserendo *user name* e *password*, è possibile accedere alle diverse aree riservate.

Cliccando su



appare la schermata:



attraverso la quale è possibile selezionare la provincia, il comune, la data di inizio e l'ora, la data di fine e l'ora ed il tipo dei sensori dei quali è possibile elaborare - in tempo reale - i relativi grafici tempo-dipendenti.

Nella schermata in basso si riporta - a titolo di esempio - il grafico di un sensore ubicato a San Martino di Finita (piezometro) che ha fornito informazioni relativamente al periodo 1 gennaio - 20 gennaio 2009.



10-Presentazione ufficiale del Progetto A.M.A.Mi.R. ed inaugurazione del Centro Elaborazione Dati (C.E.D.)

Il Progetto A.M.A.Mi.R. ed il relativo sito internet sono stati presentati ufficialmente il 18 giugno 2008, in occasione di un Convegno organizzato dal responsabile scientifico del Progetto e patrocinato dalla Protezione Civile Nazionale, dal Consiglio Nazionale dei Geologi e dal Dipartimento Terra e Ambiente del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Il convegno, che ha visto una nutritissima partecipazione con oltre 200 iscrizioni, si è svolto presso l'Hotel Executive di Rende (**fig. 43**). Alla manifestazione sono intervenuti autorevoli relatori, tra i quali Mario Tozzi, ed hanno partecipato numerosi tecnici ed amministratori provinciali e regionali, nonché sindaci di comuni interessati da problematiche connesse con il rischio da frana che sono intervenuti nel dibattito evidenziando grande interesse per il Progetto A.M.A.Mi.R.



Figura 43– Nella foto in alto i relatori Carlo Tansi, Mario Tozzi, Teodoro Santoro (Sindaco di San Martino di Finita) e Beniamino Tenuta (vice-presidente Consiglio Nazionale dei Geologi).

In basso la sala-convegni dell'Hotel Executive di Rende gremita.

Nella mattinata del 18 giugno, è stata inaugurata, presso l'edificio dell'ex-scuola media di San Martino di Finita, la sede C.E.D. (Centro Elaborazione Dati) (**fig.44**) del Progetto A.M.A.Mi.R., opportunamente arredata ed attrezzata di personal computer per l'acquisizione, l'elaborazione e la restituzione - in tempo reale - dei dati provenienti dai sensori sul sito www.amamir.cnr.it.



Figura 44 – Inaugurazione del Centro Elaborazione Dati del Progetto A.M.A.Mi.R. (18 giugno 2008). Nella foto Mario Tozzi e Carlo Tansi.

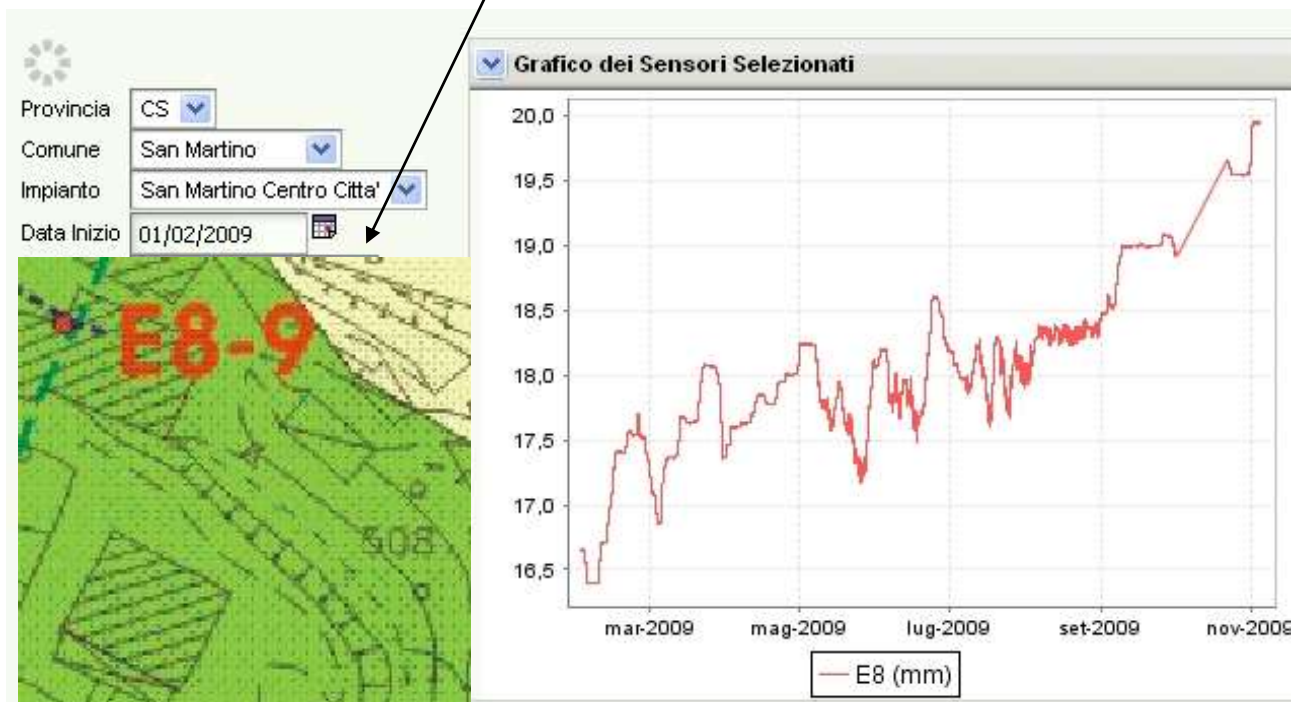
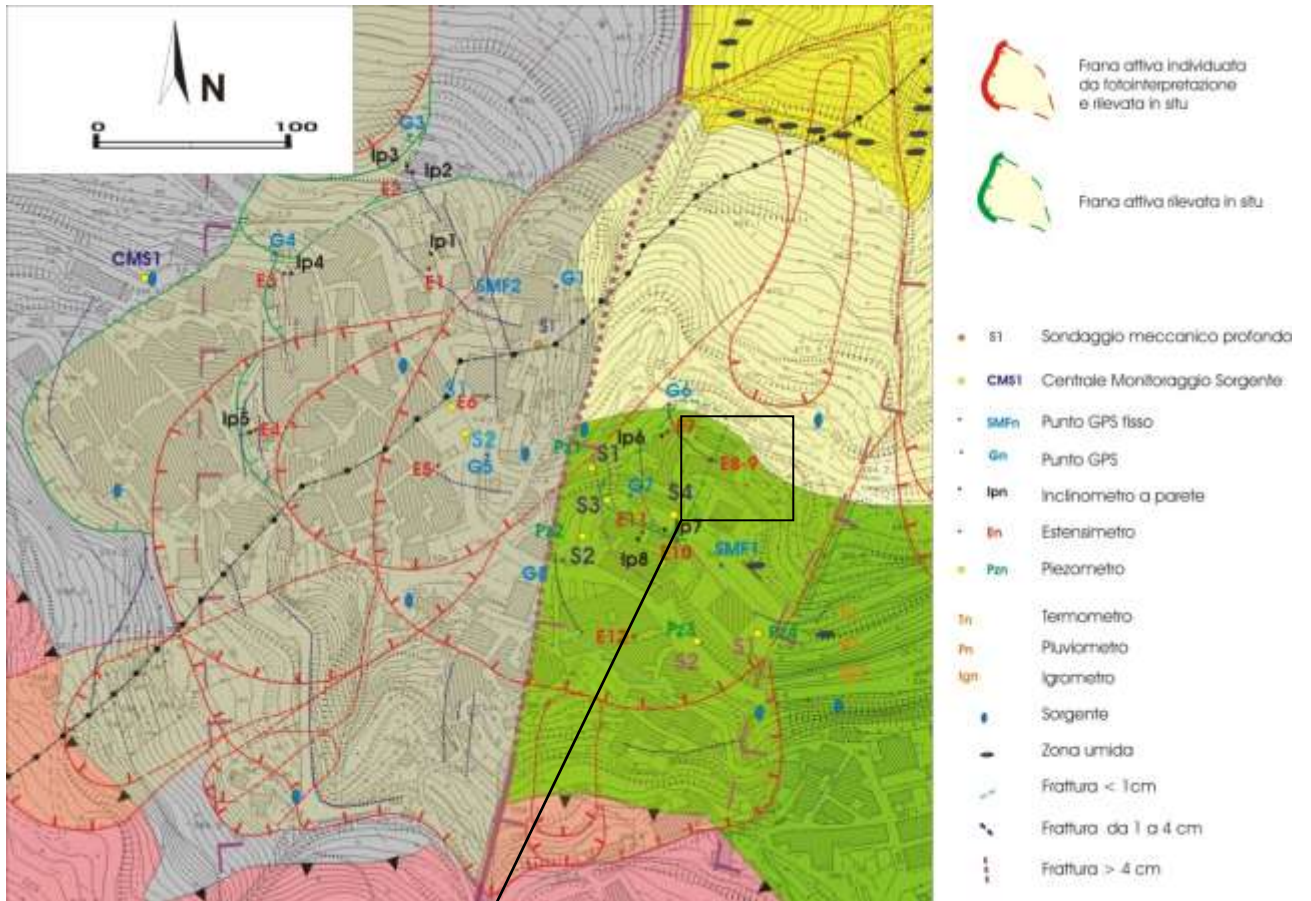
11- Valutazione delle deformazioni di superficie e dell'andamento della falda idrica sotterranea - con particolare riferimento all'inverno 2008-2009 - mediante l'analisi storica dei dati derivanti dai sensori della rete AMAMIR

Dall'entrata in funzione della rete di monitoraggio AMAMiR (marzo 2008) ad oggi, sono state acquisite, analizzate ed interpretate, le informazioni fornite dai sensori collocati nell'ambito del fenomeno franoso su cui sorge l'abitato di San Martino di Finita. Tali informazioni sono state valutate mediante l'analisi dei dati forniti (in forma grafica) dai vari sensori, con particolare riferimento alla stagione invernale 2008-2009 caratterizzata da precipitazioni particolarmente intense che hanno prodotto ingenti danni in Calabria, i quali si sono concentrati lungo la fascia pedemontana della catena costiera calabra entro cui ricade l'abitato di San Martino di Finita.

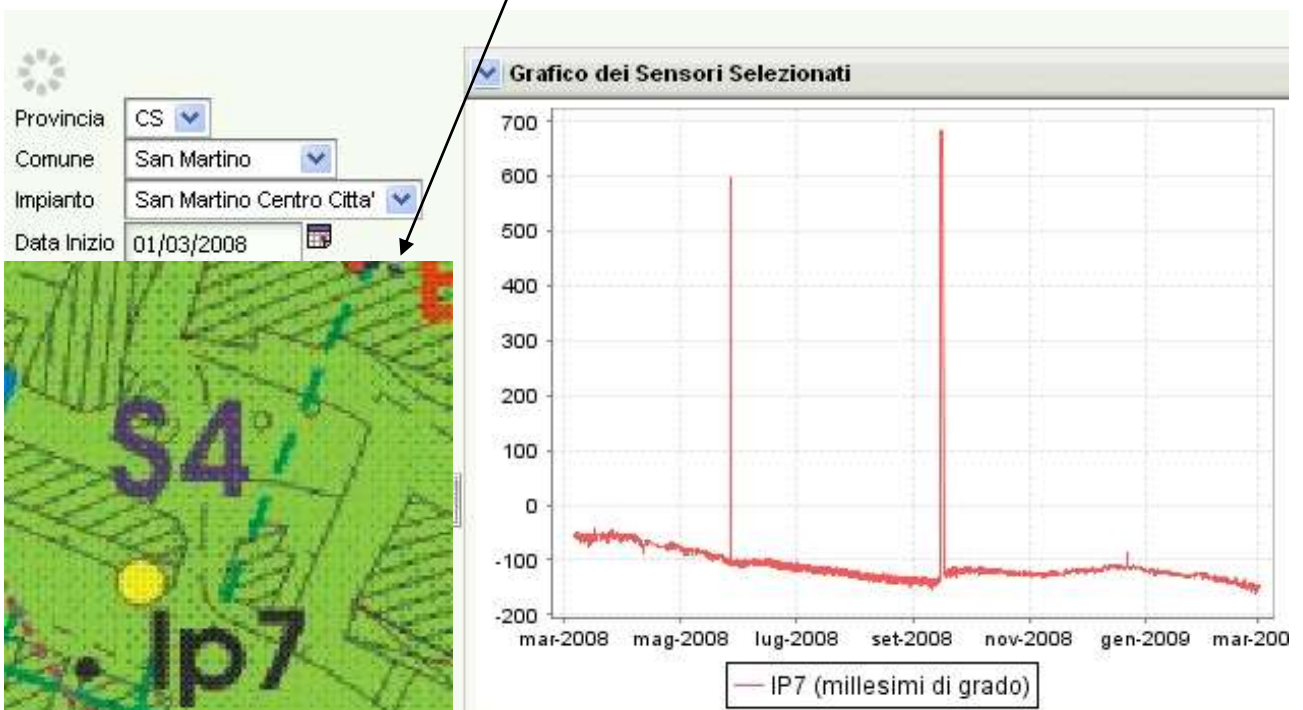
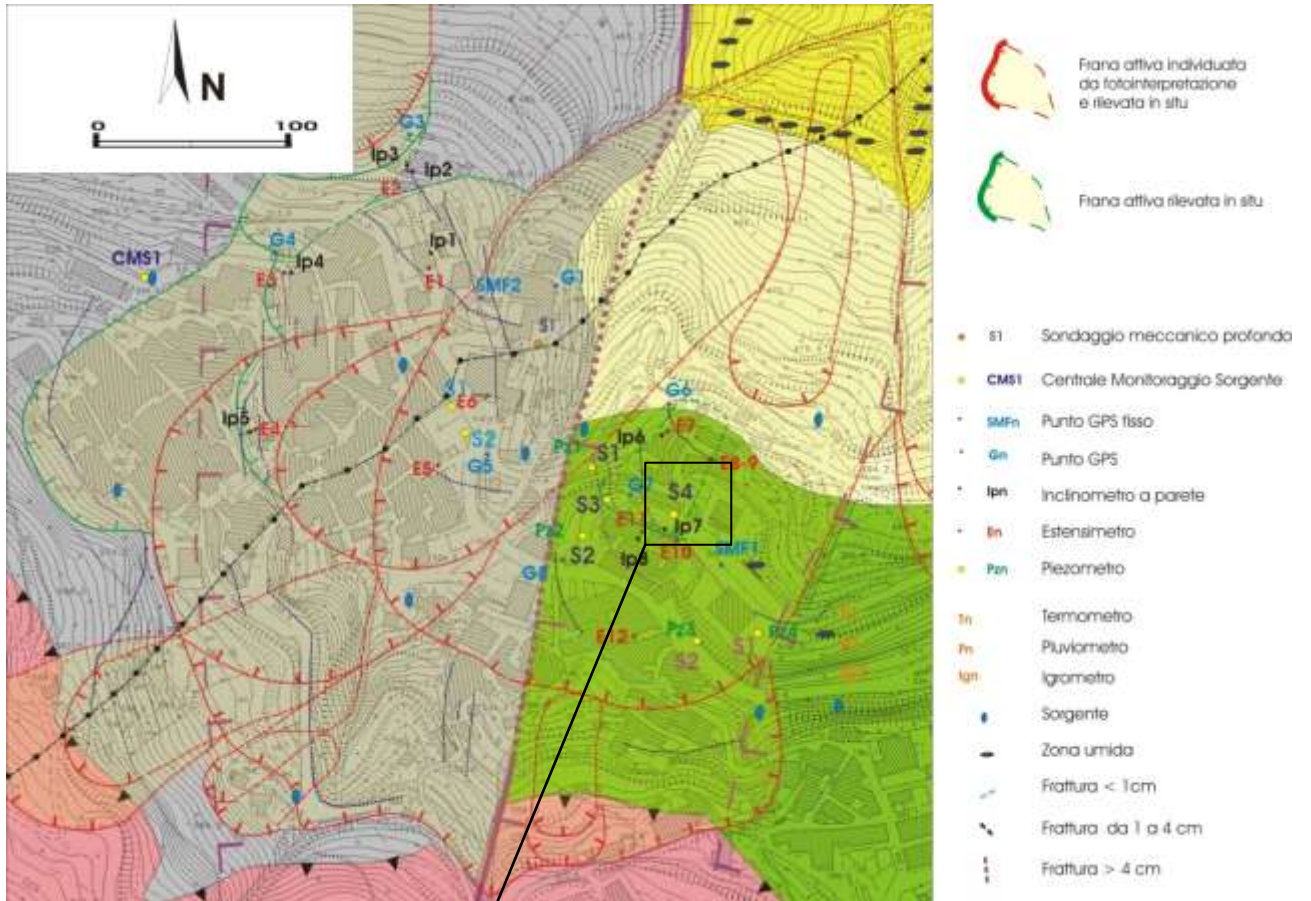
Nei paragrafi che seguono sono riportate le curve relative ai sensori della rete AMAMiR che, dalla data della rispettiva messa in funzione, hanno registrato variazioni significative del parametro rilevato.

Il grado di precisione delle misure è dell'ordine del millesimo di millimetro per quanto riguarda gli estensimetri e del millesimo di radiante, per ciò che concerne gli inclinometri. L'elevata sensibilità dei sensori è responsabile delle tangibili oscillazioni giornaliere (evidenziate dalle curve riportate nei grafici) dovuti alle normali escursioni termiche.

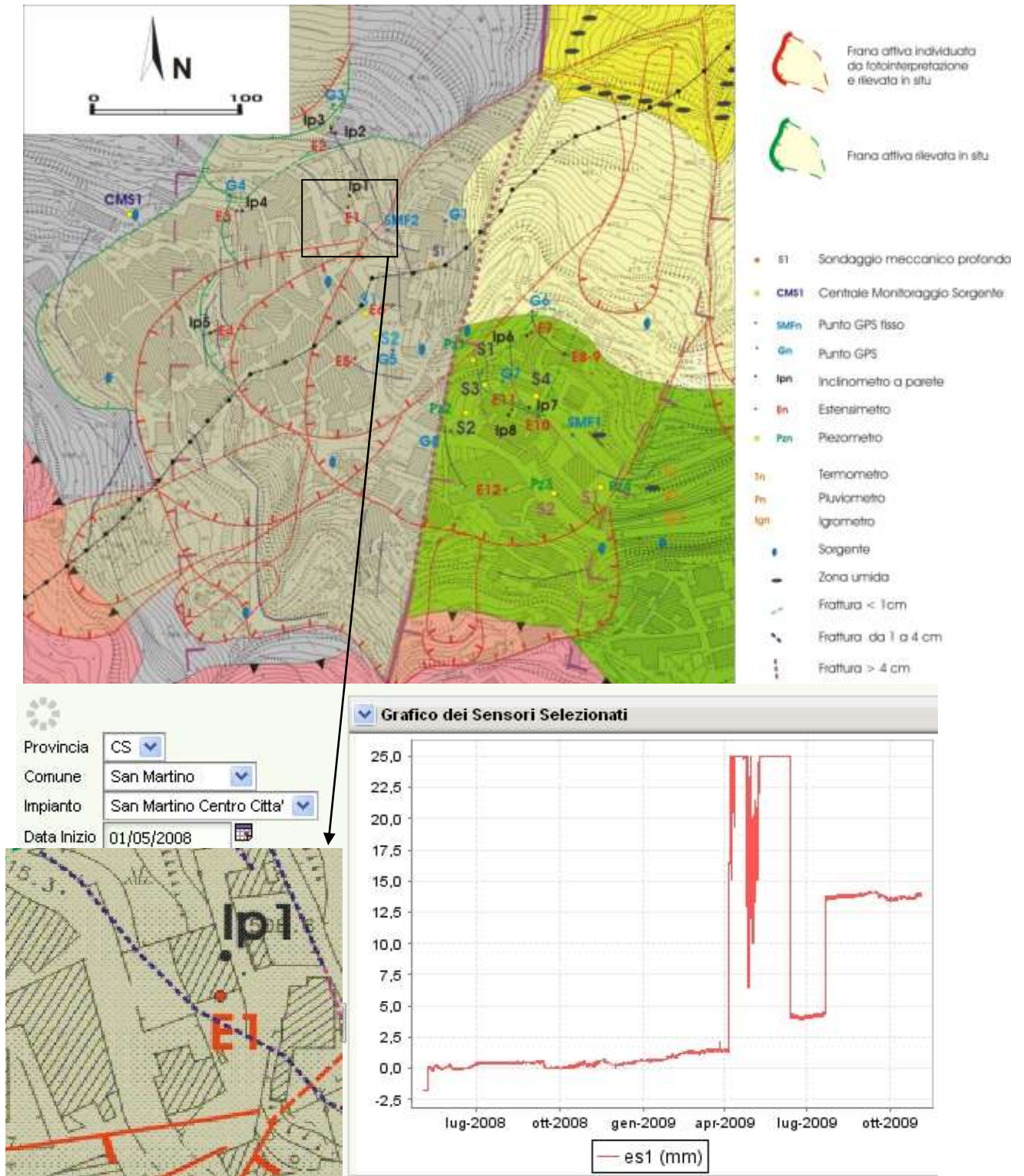
Estensimetro E8-9 (messa in funzione 1.2.2009). Relativamente al periodo di riferimento, E8-9, ubicato sulla parete (orientata NE-SW) di un edificio ricadente in prossimità della porzione mediana del corpo di frana, ha evidenziato una deformazione che nel complesso ha raggiunto 3,5 millimetri, attenuatasi nel periodo maggio-settembre 2009.



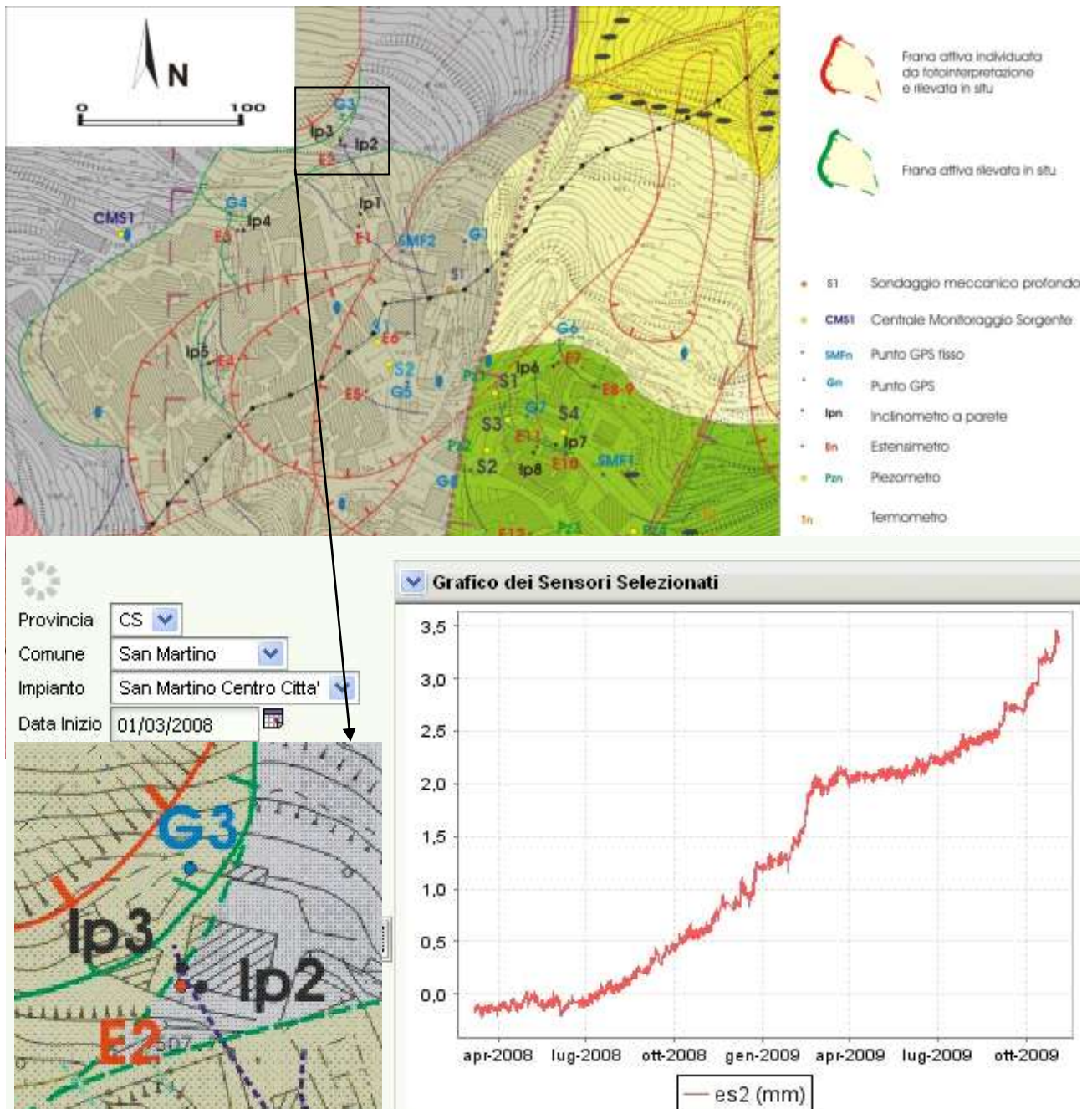
Inclinometro da parete Ip7 (messa in funzione 1.3.2008). Relativamente al periodo di riferimento, Ip7, ubicato sul pilastro distaccatosi, a causa del dissesto, dal corpo di fabbrica ricadente in prossimità della porzione mediana del corpo di frana nei pressi della ex scuola media, ha evidenziato una lenta e costante rotazione indicativa di un basculamento indotto dal dissesto. I picchi verso l'alto non sono significativi, poichè d'origine strumentale.



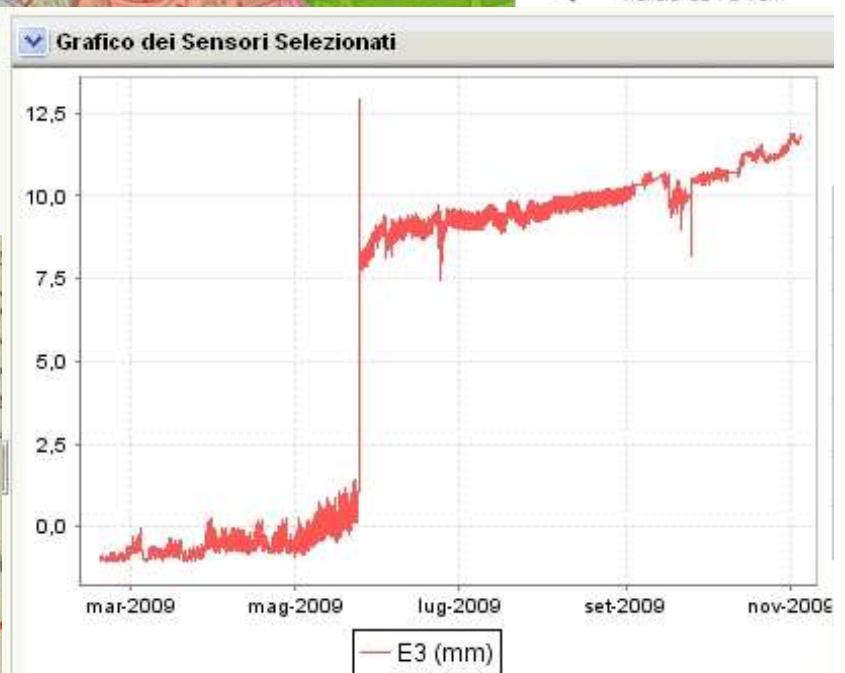
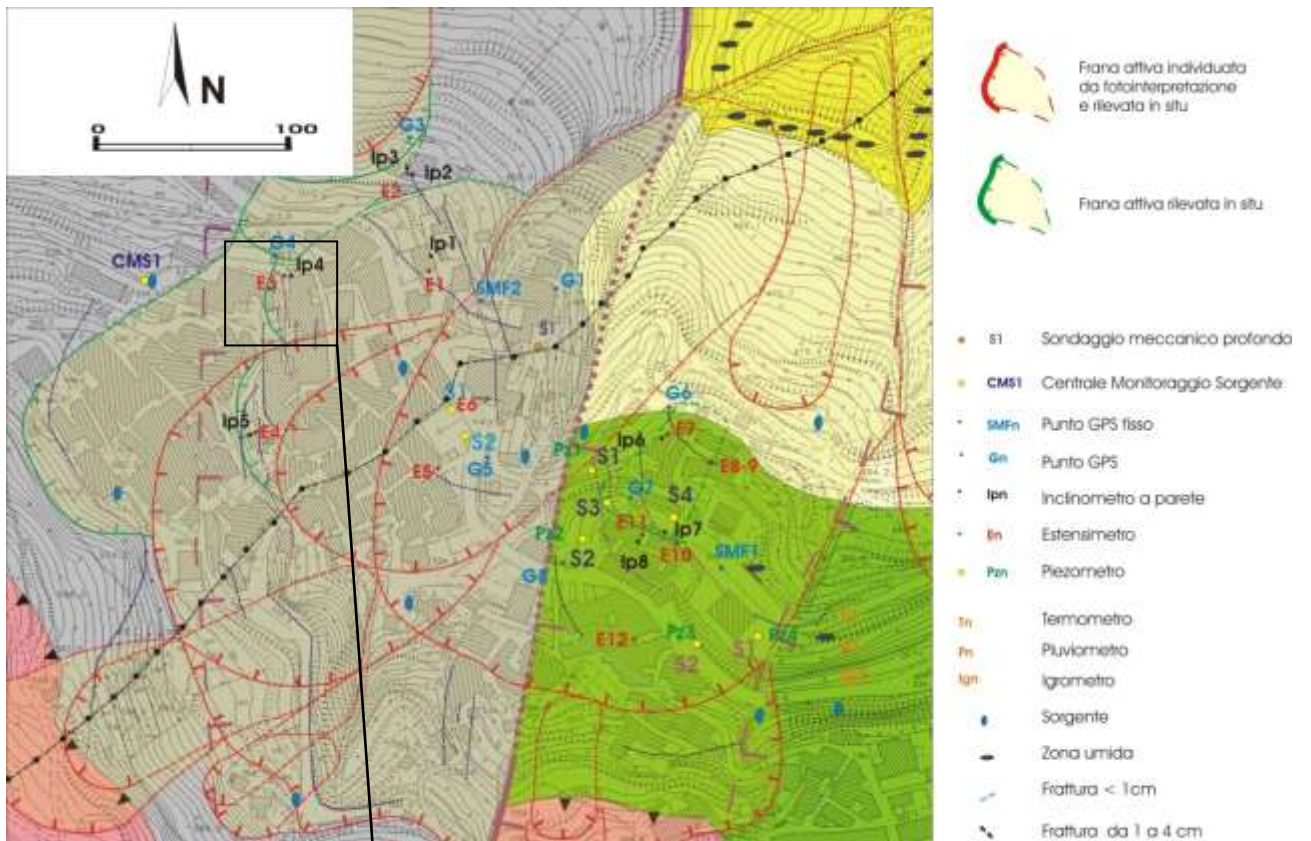
Estensimetro da parete E1 (messa in funzione 1.3.2008). Relativamente al periodo di riferimento, E1, ubicato in corrispondenza dell'edificio su cui è stato posizionato Ip1, ha evidenziato - tra l'ottobre 2008 e l'aprile 2009 - una deformazione che nel complesso ha raggiunto 2,5 millimetri. Tale deformazione ha coinciso con il basculamento evidenziato nello stesso intervallo temporale dall'inclinometro da parete IP1 posizionato sullo stesso edificio. Il vistoso picco verso l'alto del periodo maggio-luglio 2009 non è significativo, essendo stato determinato da un riposizionamento dell'estensimetro.



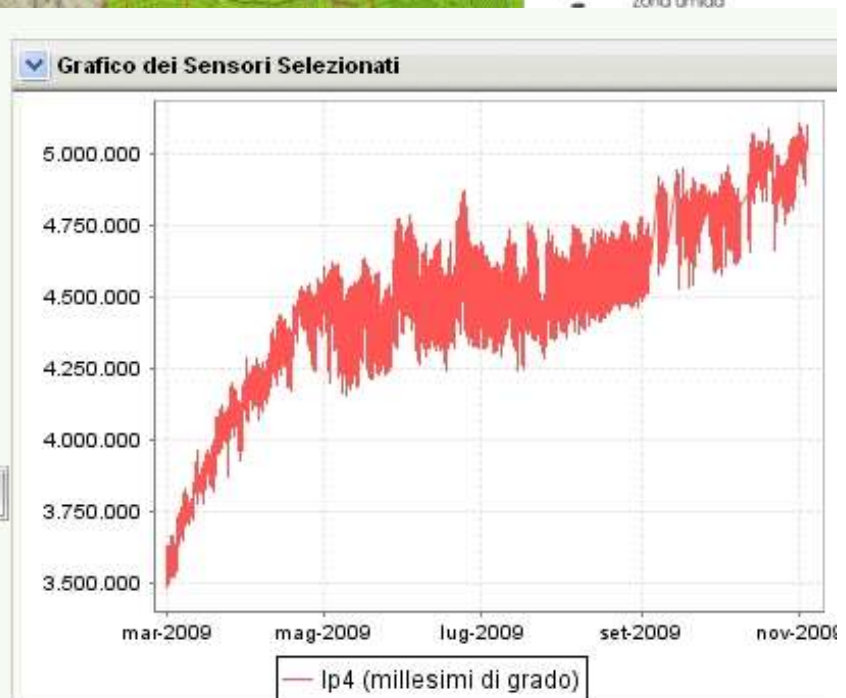
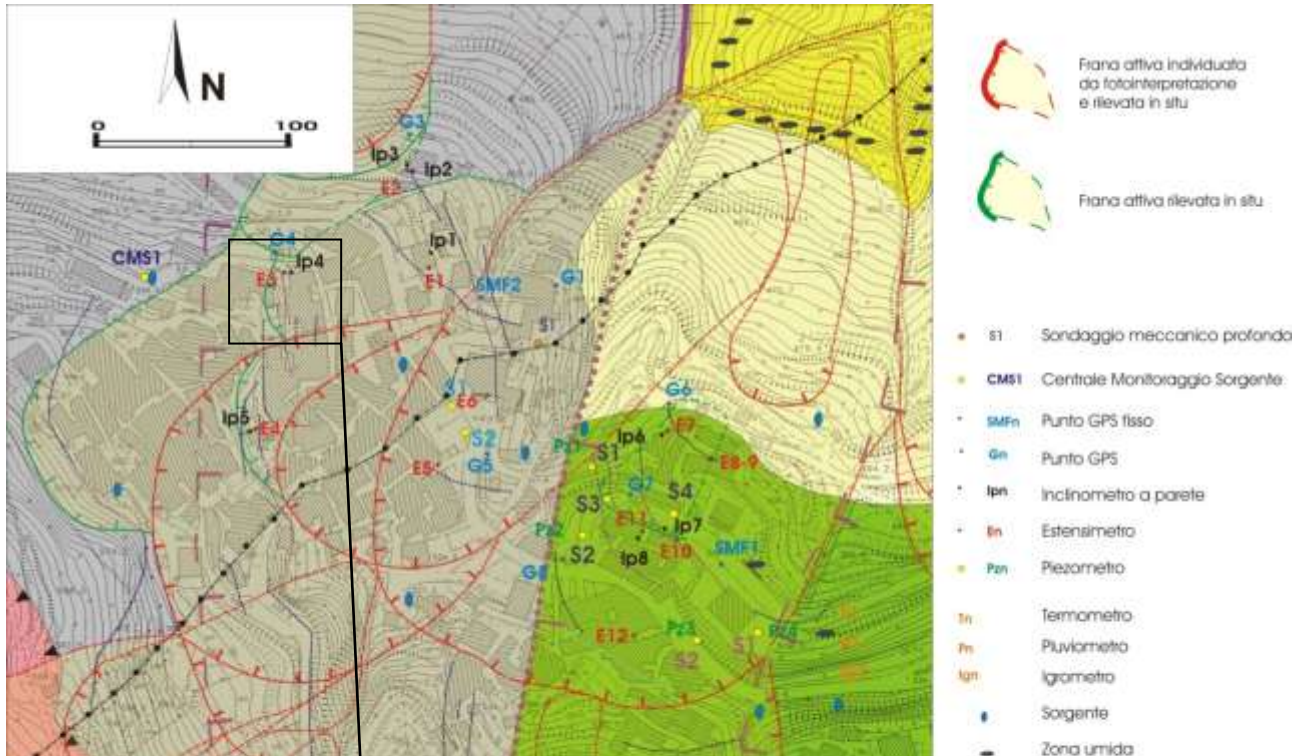
Estensimetro da parete E2 (messa in funzione 1.3.2008). Relativamente al periodo di riferimento, E1, ubicato in corrispondenza dell'edificio su cui sono stato posizionati Ip3 e Ip3, ha evidenziato due fasi deformative particolarmente intense: il periodo luglio 2008-marzo 2009 (deformazione complessiva pari a 2,0 millimetri) ed il periodo settembre 2009-novembre 2009 (deformazione complessiva pari a 1,0 millimetro). I restanti periodi dell'intervallo d'osservazione (marzo-luglio 2008 e aprile-giugno 2009) rappresentano brevi fasi di stasi deformativa. La deformazione complessiva dalla messa in funzione del sensore è significativa essendo risultata pari a 3,0 millimetri: questi valori - risultando tra i più significativi relativamente a tutti gli edifici monitorati a San Martino di Finita - deve far ritenere tale struttura particolarmente esposta a rischi. A tale intensa deformazione evidenziata dagli estensimetri non corrispondono tuttavia basculamenti dell'edificio, come risulta dalle informazioni fornite dagli inclinometri Ip2 e Ip3. Ciò lascia ipotizzare cinematismi di versante del tipo traslazionale, in accordo con la posizione dell'edificio che ricade in prossimità del settore di distacco di un corpo di frana che caratterizza il versante settentrionale del centro storico di San Martino di Finita.



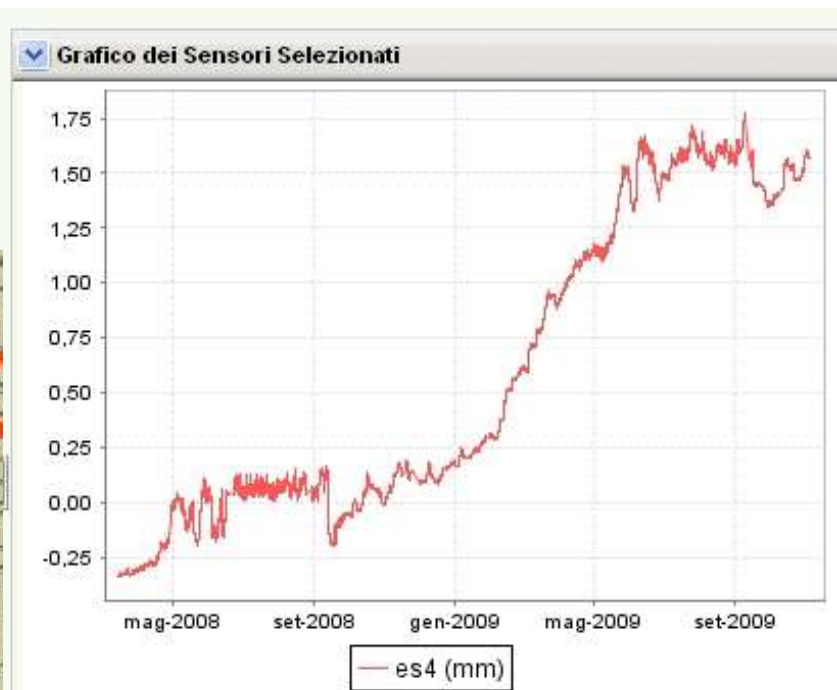
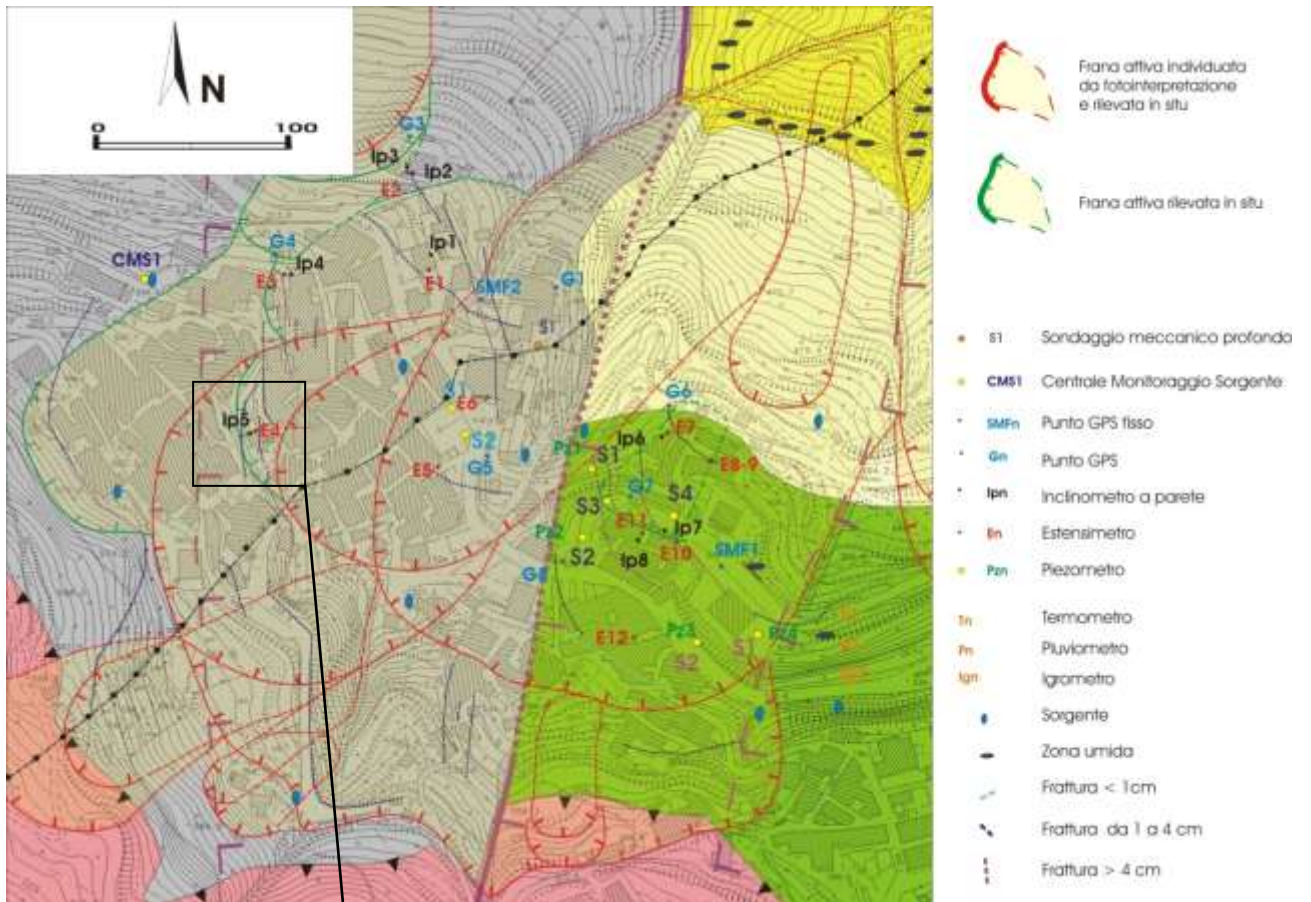
Estensimetro da parete E3 (messa in funzione 15.2.2009). Relativamente al periodo di riferimento, E3, ubicato in corrispondenza della parete orientata E-W di un edificio situato in corrispondenza di un edificio ricadente in prossimità dell'estremità settentrionale del dissesto entro cui ricade l'abitato di San Martino di Finita, ha evidenziato una deformazione che ammonta complessivamente a 3,5 millimetri circa (il vistoso sbalzo del giugno 2009 è stato dovuto ad un riposizionamento del sensore). La deformazione complessiva dalla messa in funzione del sensore, essendo risultata pari a 3,5 millimetri in 9 mesi, rappresenta la più significativa relativamente a tutti gli edifici monitorati a San Martino di Finita; pertanto l'edificio monitorato risulta esposto a rischi e necessita di particolare attenzione.



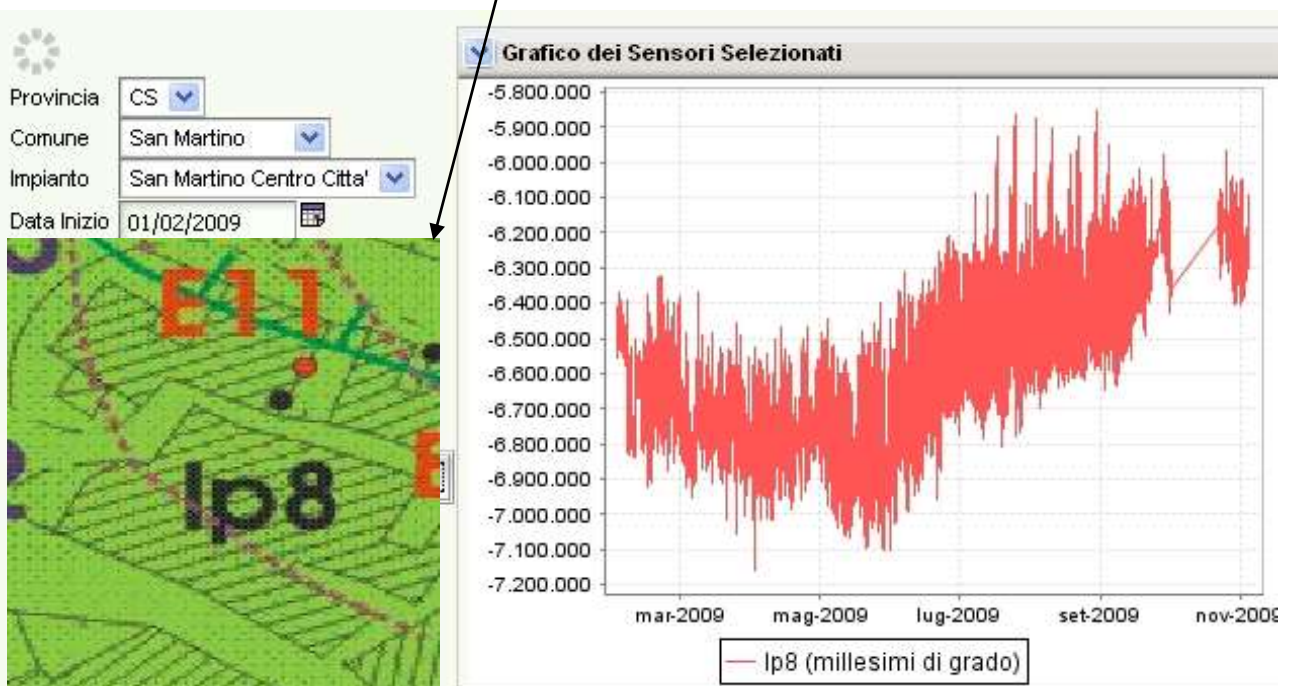
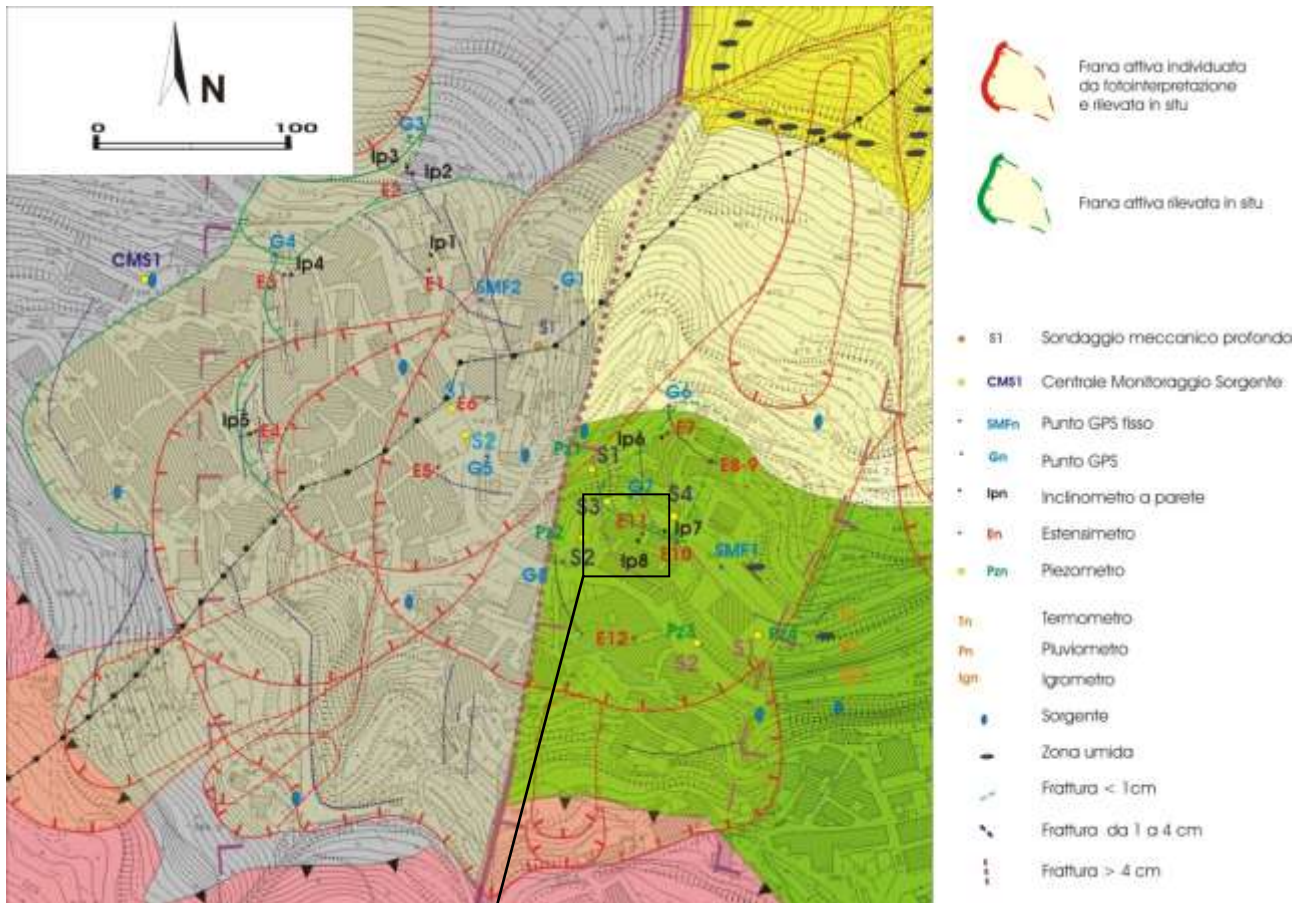
Inclinometro da parete Ip4 (messa in funzione 1.3.2009). Relativamente al periodo di riferimento, Ip4, ubicato in corrispondenza dell'edificio in muratura su cui è stato posizionato l'estensimetro E3 su una parete ad orientamento all'incirca E-W, ha evidenziato - tra maggio e novembre 2009 - una rotazione dell'edificio di circa 500 millesimi di grado (mezzo grado) indicativa di un notevole basculamento che, rimarcato dalla sensibile deformazione evidenziata dall'estensimetro E3, è in accordo con l'ubicazione dell'edificio nel contesto cinematico del dissesto su cui ricade l'abitato di San Marino di Finita, il quale ricade immediatamente a ridosso del fianco sinistro di un corpo frana attivo.



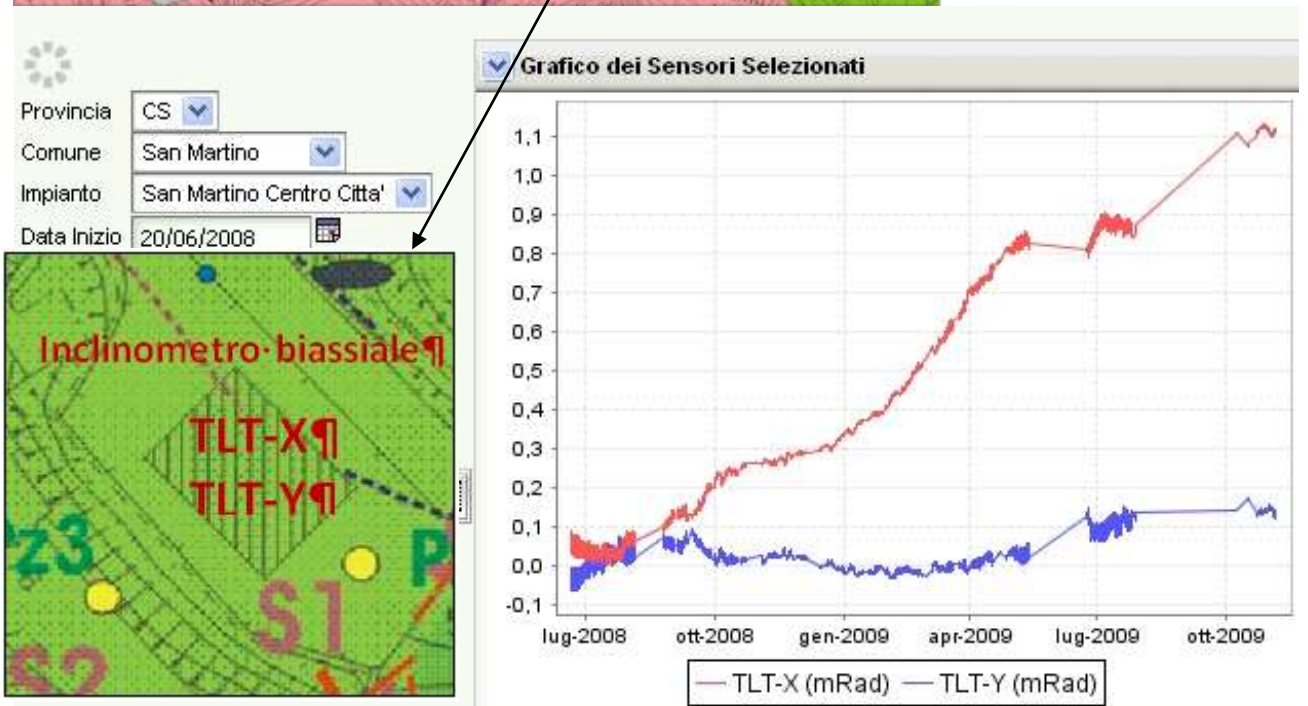
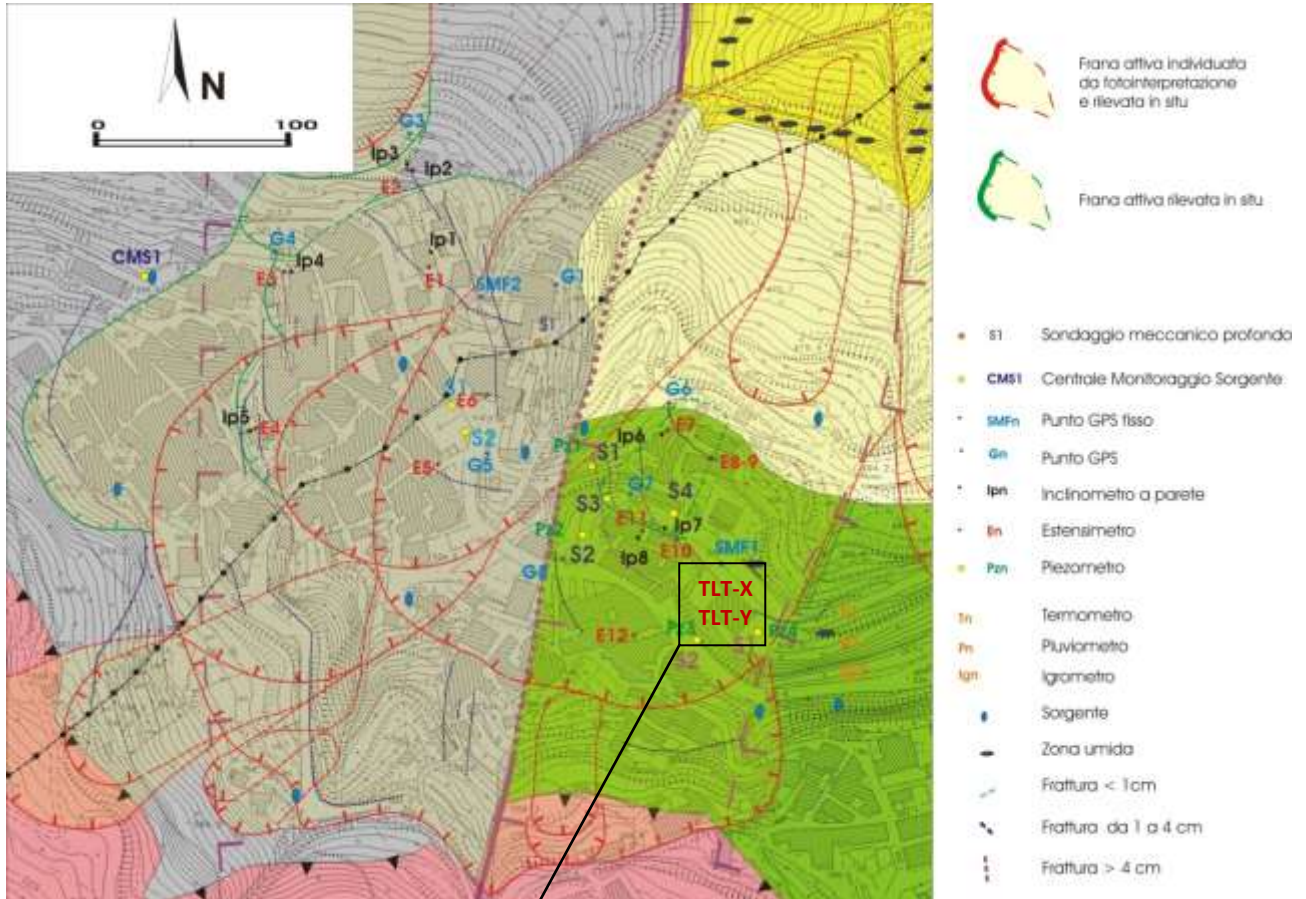
Estensimetro da parete E4 (messa in funzione 15.3.2008). Relativamente al periodo di riferimento, E4, ubicato in corrispondenza di una parete (ad orientamento NE-SW) di un edificio ricadente in prossimità del settore di distacco di una frana che caratterizza la porzione nord-occidentale del più ampio dissesto su cui sorge l'abitato di San Martino di Finita, ha fortemente risentito delle piogge che hanno caratterizzato l'inverno 2008-09, avendo evidenziato una deformazione circoscritta esclusivamente al periodo gennaio-maggio 2009, che ammonta complessivamente a 1,5 millimetri circa.



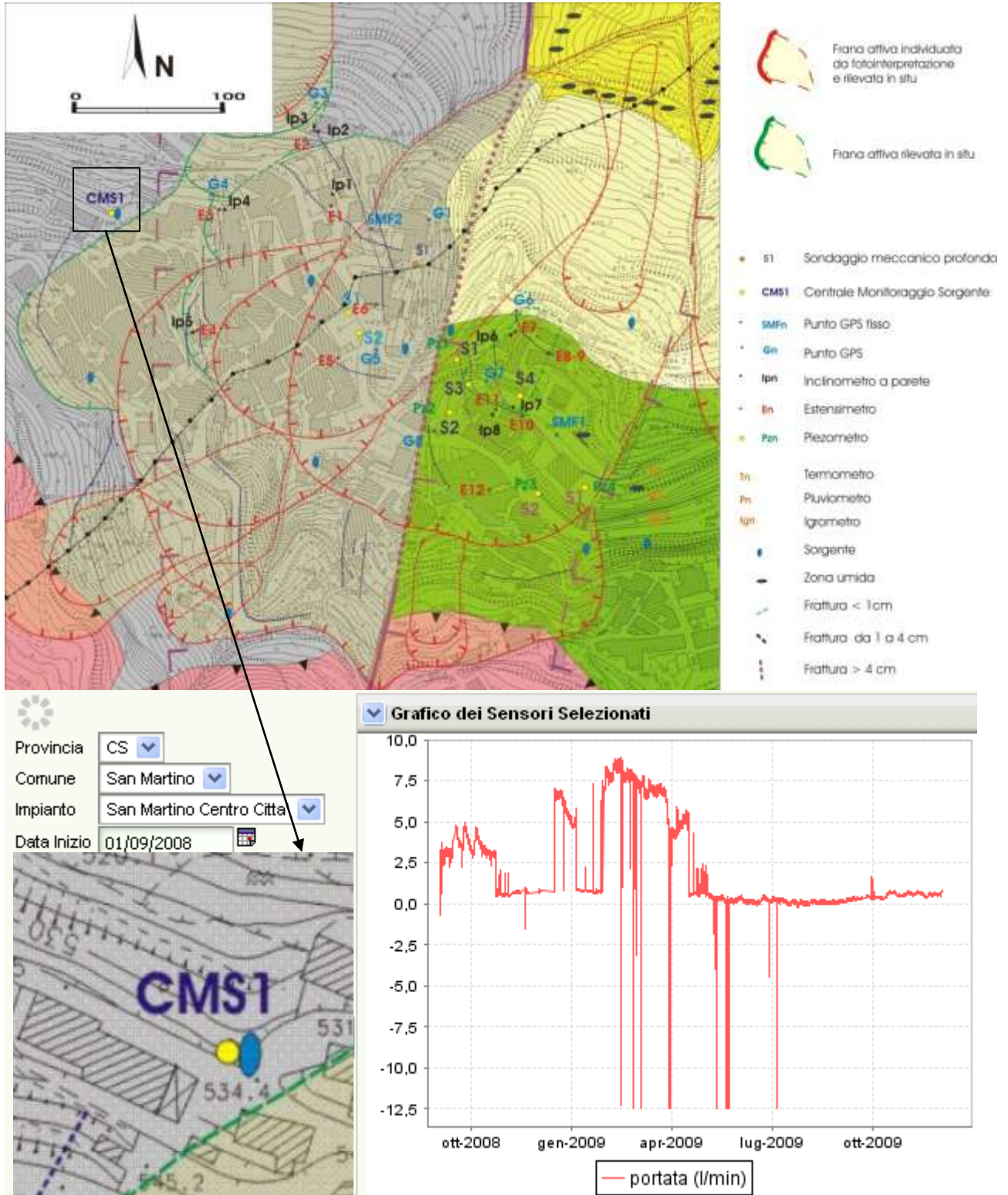
Inclinometro da parete Ip8 (messa in funzione 1.2.2009). Relativamente al periodo di riferimento, Ip8, ubicato in corrispondenza di un edificio in muratura (lungo una parete ad orientamento NE-SW) situato nella porzione mediana del corpo di frana principale del dissesto che coinvolge l'abitato di San Martino di Finita, ha evidenziato - tra giugno e novembre 2009 - una rotazione dell'edificio di circa 400 millesimi di grado indicativa di un basculamento indotto dal dissesto.



Inclinometro orizzontale TLT X-Y (messa in funzione 20.6.2008). Relativamente al periodo di riferimento, TLT X-Y, ubicato all'interno dell'ex-scuola media, ha evidenziato - tra giugno 2008 e novembre 2009 - una rotazione dell'edificio risultata abbastanza costante nel tempo e molto significativa intorno all'asse X (direzione NW-SE), risultata pari a 1,1 mRad (0,06 gradi) e quasi nulla intorno all'asse Y (direzione NE-SW).



Sensore misuratore di portata nodo sorgente "CMS1" (messa in funzione 1.9.2008). Il sensore misuratore di portata, collocato in corrispondenza del cosiddetto "nodo sorgente", nell'ambito dell'intervallo d'osservazione, ha evidenziato oscillazioni tipicamente legate agli eventi stagionali. La portata della sorgente è oscillata tra 0 l/min (estate-autunno 2009) e 9 l/min (marzo 2009). I picchi verso il basso non sono indicativi, essendo legati a fattori strumentali.



12- CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE CONDIZIONI DI DISSESTO GRAVITATIVO DELL'ABITATO DI SAN MARTINO DI FINITA

L'abitato di San Martino di Finita ricade quasi interamente nell'ambito di un vasto e profondo di cui si avevano testimonianze storiche sin dagli inizi del '900 quando, a seguito dei fenomeni sismici ed alluvionali che avevano caratterizzato quel periodo, innescando frane su tutto il territorio calabrese, era stata ipotizzata la delocalizzazione dell'intero abitato di San Martino di Finita (**fig. 44**), come risulta dagli atti dell'allora "Corpo Reale del Genio Civile" nella pubblicazione di Re (2006).

L'analisi aerofotogrammetrica multitemporale ha evidenziato come i dissesti che coinvolgono l'abitato di San Martino di Finita abbiano evidenziato, negli ultimi decenni, inequivocabili segni di accelerazione (**fig.1**). L'incremento è ragionevolmente imputabile soprattutto allo stato di abbandono in cui versano le opere di regimazione idraulica e, più in generale, alla mancanza di interventi di manutenzione sul territorio. Le foto di **figura 45**, scattate nel maggio 2007, testimoniano le condizioni di estrema precarietà delle opere di drenaggio delle acque superficiali

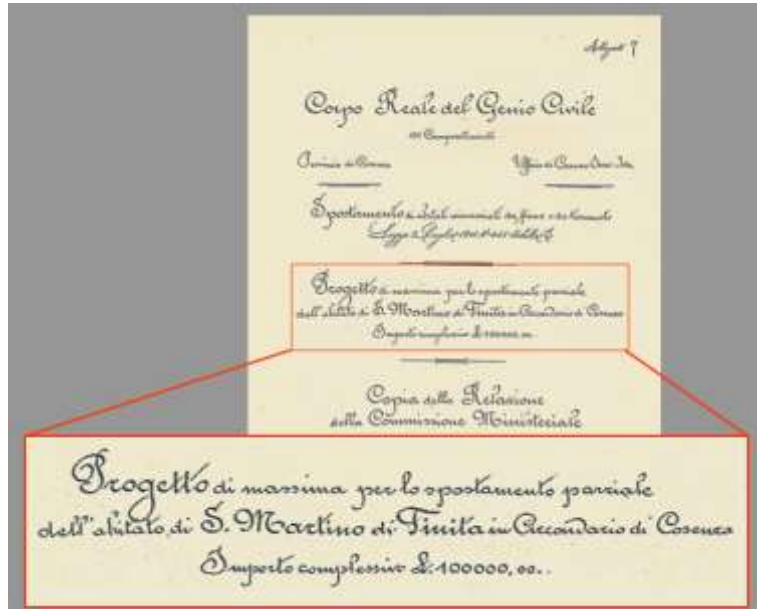


Figura 44-Progetti di spostamento parziale dell'abitato di San Martini di Finita risalenti al 1909 e 1915 reperiti presso l'ufficio dell'ex Genio Civile (da Re, 2006).



Figura 45 – Precario stato manutentivo delle opere di drenaggio che attraversano la porzione di piede della frana di San Martino di Finita

La frana di San Martino di Finita ha origine nella fascia di fratturazione associata alla *master fault* "S. Fili – Cerzeto – S. Marco Argentano". Tale fascia rappresenta un elemento predisponente al dissesto di peculiare importanza per due motivi essenziali:

- i terreni che la costituiscono sono caratterizzati da sensibili decadimenti delle caratteristiche litologico-tecniche;
- rappresenta una zona di drenaggio preferenziale per le acque sotterranee che “richiama” l'imponente acquifero presente nella Catena Costiera determinando sensibili incrementi delle pressioni neutre, soprattutto in concomitanza di eventi meteorologici particolarmente intensi.

Nell'ambito del Progetto AMAMiR, dettagliati rilievi di campagna eseguiti in scala 1:2000, unitamente ad analisi aerofotogrammetriche multi-temporali, hanno consentito di definire in superficie i principali corpi di frana che caratterizzano l'area di San Martino di Finita.

Contestualmente è stato eseguito - alla stessa scala - un rilevamento geologico-strutturale, al fine di definire il grado d'influenza delle strutture tettoniche associate alla importante faglia regionale “San Fili-Cerzeto-San Marco Argentano” sull'estensione e sui cinematismi del dissesto.

Attraverso rilievi “in situ” è stato possibile altresì acquisire informazioni più dettagliate sulla distribuzione spaziale e l'entità dei danni prodotti dai dissesti gravitativi sugli edifici, sulle opere di sostegno e sulle infrastrutture viarie presenti a San Martino di Finita. Il quadro fessurativo odierno emerso dai rilievi è abbastanza critico: solo pochi edifici sono risultati esenti dagli effetti del dissesto. Particolarmente compromessi sono apparsi il nucleo abitativo che si sviluppa intorno all'edificio municipale, la zona circostante l'edificio delle ex-scuole medie e l'area intorno al bivio per Santa Maria Le Grotte. Questi settori sono contraddistinti da fessure con apertura maggiore di 4 centimetri che interessano diffusamente la sede stradale, le opere di contenimento e gli edifici. Nel complesso, le fratture che evidenziano una discreta continuità spaziale identificano le zone più attive del fenomeno franoso e presentano generalmente uno sviluppo areale proporzionale all'entità dell'apertura.

Dal confronto dei dati geologico-geomorfologici di superficie e dei dati di sottosuolo, nonché dalle informazioni fornite dal sistema di monitoraggio AMAMiR è stato possibile definire i caratteri superficiali e profondi della frana di San Martino di Finita, nonché le dinamiche evolutive anche in riferimento agli eventi pluviometrici.

Dalle informazioni di superficie (**fig. 46**) si desume che gran parte dell'abitato di San Martino di Finita (rioni “Rahjio”, “Maglicat” e “Piazza”) ricade su una frana di dimensioni considerevoli (lunghezza = 500 m circa, larghezza = 380 m circa). Il dissesto è classificabile come “scorrimento rotazionale” ed evolve verso valle in fenomeni di tipo “colata” (classificazione di CRUDEN & VARNES, 1996). La scarpata principale si origina in corrispondenza della fascia cataclastica associata alla faglia “S. Fili – Cerzeto – S. Marco”, a quote intorno ai 560-580 m s.l.m. Verso valle il fenomeno si differenzia in movimenti composti ed articolati rappresentati da corpi di frana delimitati da scarpate secondarie che tendono a sovrapporsi. Tra tali corpi, quello di maggiori dimensioni (lunghezza = 350 m, larghezza = 200 m), coinvolge interamente il rione Borgo e lambisce ad est i rioni Piazza e Maglicat. Sul suddetto fenomeno si sovrappone un dissesto di minore estensione dalla forma tipicamente allungata (lunghezza = 360 m, larghezza = 140 m) che coinvolge quasi interamente i rioni Rahjio, Piazza e Maglicat. Infine si riconosce un terzo fenomeno franoso di minore importanza che lambisce ad ovest i tre suddetti rioni (lunghezza = 240 m, larghezza = 80 m).

Altri fenomeni di minore importanza dislocano il corpo di frana principale.

Le masse instabili descritte, nel complesso evidenziano chiari indizi di attività. Le condizioni di stabilità risultano particolarmente critiche in corrispondenza del piede del fenomeno franoso principale, a ridosso del torrente Finita, dove copiosi quantitativi di acqua scaturiscono nel settore di contatto tra il detrito di versante coinvolto nei fenomeni gravitativi e le sottostanti argille: tali condizioni rappresentano un elemento fortemente destabilizzante nella porzione più vulnerabile del dissesto, il piede. I limiti superficiali dei dissesti descritti sono rimarcati altresì dalle fratture al suolo.

Oltre al suddetto fenomeno, il versante settentrionale che borda l'abitato di San Martino di Finita, è interessato da una frana minore, anch'essa attiva, che lambisce il rione Maglicat: essa presenta un contorno tipicamente sub-quadrato (140 x 140 m) ed è caratterizzata da movimenti superficiali - di tipo "scorrimento" - di materiale detritico e metamorfico degradato al di sopra substrato più integro. Il settore di distacco è reso evidente da deformazioni e fratture sugli edifici e sui muri di contenimento che costeggiano la strada provinciale.

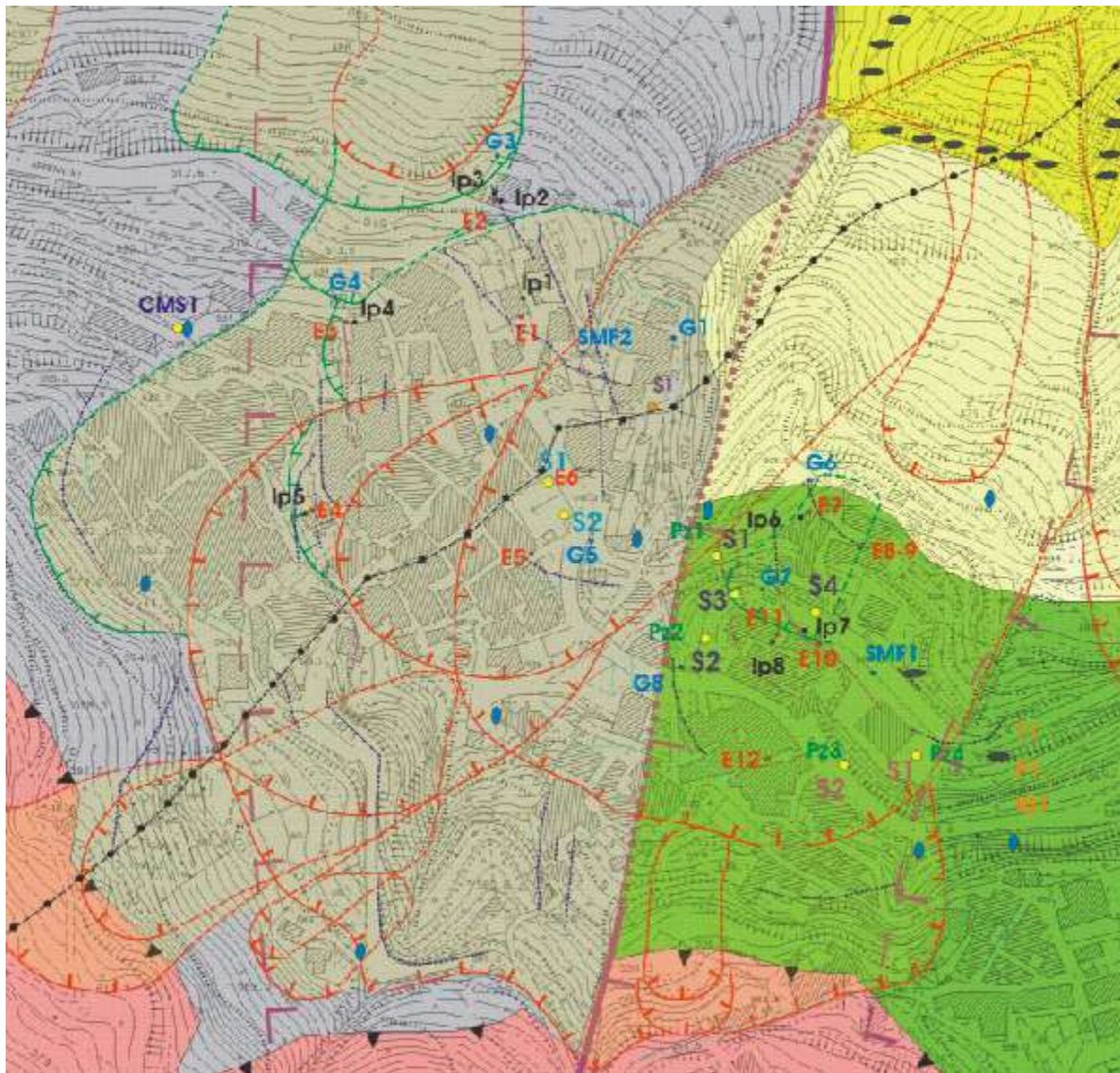


Figura 46 – Caratteri geologico-strutturali e geomorfologici dell'area circostante l'abitato di San Martino di Finita e ubicazione dei sensori della rete AMAMiR e della sezione elettro-tomografica

I caratteri geometrici di sottosuolo della frana di San Martino sono evidenziati dalla sezione elettrotomografica (fig. 47): il settore di scorrimento del fenomeno presenta forma sub-circolare. Tale fascia corrisponde, nel suo tratto iniziale, ad un settore a bassa resistività (aree prevalentemente in verde) ascrivibile ai livelli di alterazione delle metabasiti individuate con il sondaggio a carotaggio e, nel suo tratto terminale all'interfaccia di separazione tra il detrito di versante rimobilizzato dal dissesto ed il sottostante substrato argilloso. E' assai ragionevole ipotizzare che il suddetto substrato confini -sia verticalmente che lateralmente - con una falda contenuta nel sovrastante orizzonte detritico trasmissivo, che in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, può raggiungere consistenze significative e generare incrementi di pressioni neutre in grado di favorire movimenti profondi. Il corpo di frana è attraversato e dissecato da fenomeni gravitativi più superficiali i cui piani di scorrimento sono vincolati in profondità dalla geometria di blocchi lapidei più integri - ascrivibili a nuclei di metabasiti - rappresentati da due evidenti corpi resistivi inglobati nel corpo di frana principale. E' opportuno altresì segnalare, nel settore mediano del corpo di frana, la presenza di tre anomalie conduttive di resistività che possono essere ascritte a possibili accumuli idrici favoriti da particolari condizioni di fratturazione ed alterazione dei litotipi responsabile delle condizioni di estremaeterogeneità, oltre che litotecnica, anche idrogeologica del sottosuolo. Infine la tomografia ha evidenziato, in corrispondenza dell'estremità NE della sezione investigata, la presenza di un dissesto superficiale (profondità 10-15 m) di forma tipicamente allungata (sezione) che disloca il settore di piede della frana profonda. Il sondaggio meccanico S1 ha intercettato l'interfaccia di separazione tra il detrito di versante ed il substrato argilloso a profondità di 49 metri dal p.c.

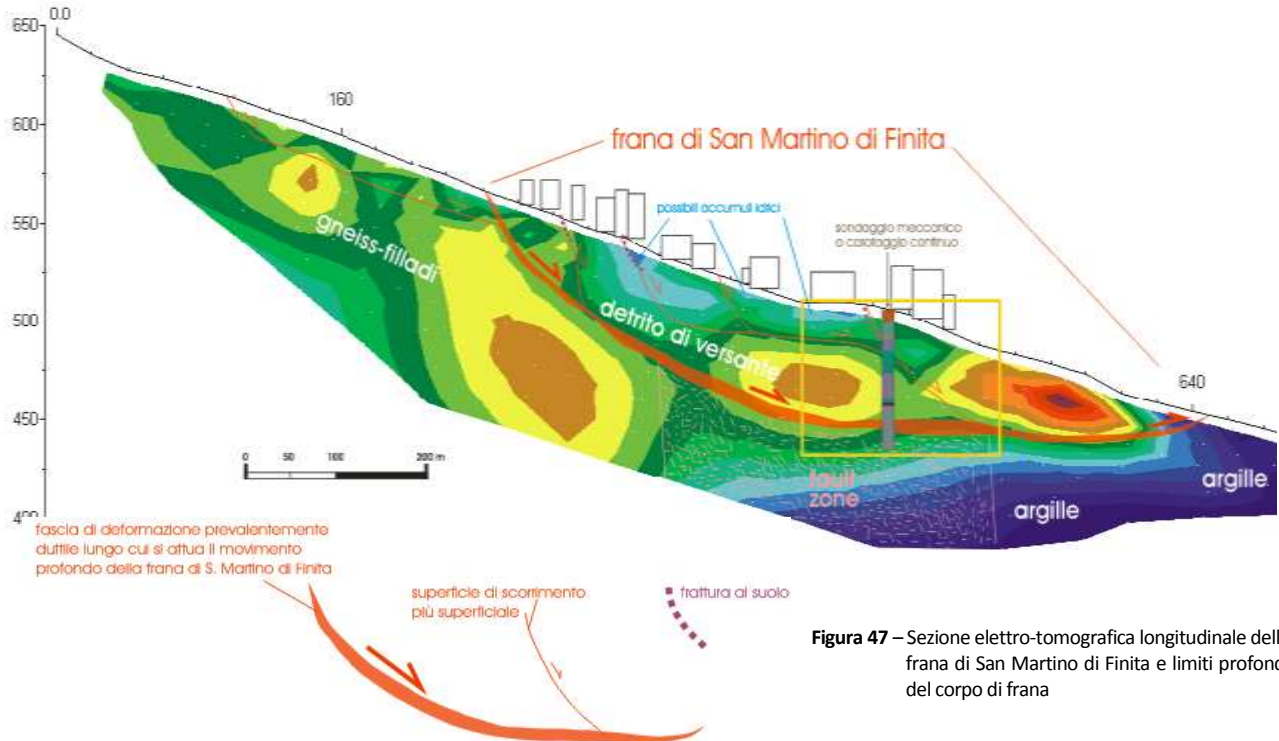


Figura 47 – Sezione elettrotomografica longitudinale della frana di San Martino di Finita e limiti profondi del corpo di frana

Le misure inclinometriche manuali, eseguite tra il 12/06/2009 e il 10/11/2009 hanno evidenziato chiaramente un piano di scorrimento profondo (51 m dal p.c.) che corrisponde all'incirca alla superficie di contatto delle metamorfite con le sottostanti argille plioceniche. Durante il suddetto intervallo si è

registrato un lento e costante movimento, lungo la suddetta superficie, che ha raggiunto uno spostamento complessivo di circa 15 mm

Altri due piani di scorrimento secondari sono stati riscontrati rispettivamente intorno ai 20 e ai 7 metri dal pc ed hanno evidenziato, nel complesso, spostamenti di entità inferiore rispetto al movimento profondo. Il movimento più profondo (20 m) corrisponde al piano di scorrimento superficiale che disloca il piede della frana di San Martino di Finita. E' stato possibile ravvisare l'entità complessiva dello spostamento orizzontale che, a livello della superficie di campagna, ha raggiunto l'entità di 25 mm. Le misure inclinometriche, hanno permesso di valutare (relativamente al suddetto periodo) la velocità di traslazione orizzontale a livello del piano di campagna, valutata in circa 1.1 mm/settimana, nonché la direzione del vettore-spostamento del dissesto, orientato NE-SW (fig. 48).



Durante la realizzazione del sondaggio S1 sono stati prelevati, all'interno del substrato argilloso, cinque campioni indisturbati che sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio (prove di identificazione standard e prove di taglio diretto) i cui risultati sono sintetizzati nella **tabella 1**. La tabella evidenzia nel complesso bassi valori di ϕ residuo, compatibili con la mobilizzazione profonda del corpo di frana nonché con la presenza di una fascia di deformazione a comportamento pseudo-duttile ipotizzata nella sezione elettro-tomografica (fig. 47).

Parametro\campione	C1	C2	C3	C4	C5
Profondità prelievo (m dal p.c.)	54.80 - 55.00	60.00 - 60.30	62.00 - 62.30	65.70 - 66.00	68.30 - 68.65
W (%)	14.28	16.62	14.75	13.80	19.05
γ (kN/m ³)	20.954	21.278	21.566	21.227	20.655
γ_s (kN/m ³)	26.799	26.835	26.649	26.722	26.747
Granulometria	Argilla con limo	Argilla con limo	Limo con argilla	Argilla con limo	Argilla con limo
W _L (%)	73.36	48.04	40.12	44.94	55.20
W _p (%)	46.03	29.71	26.46	27.45	28.95
I _p (%)	37.33	18.33	13.66	17.49	26.25
ϕ' (°)-valori di picco-	24.28	23.90	24.97	23.17	22.44
c' (kPa)-valori di picco-	18.865	12.141	16.453	13.851	13.290
ϕ' (°)-valori residui-	15.15	14.85	—	14.38	13.41
c' (kPa)-valori residui-	0.448	0.069	—	1.896	0.148

Tabella 1 – Dati derivanti dalle prove geotecniche di laboratorio cui sono stati sottoposti i campioni prelevati nel corso del sondaggio S1

La porzione più orientale dell'abitato di San Martino di Finita è interessato da un altro importante fenomeno gravitativo (lunghezza = 350 m, larghezza 160 m) - dalla forma tipicamente sub-rettangolare - che coinvolge edifici di recente costruzione realizzati nell'area compresa tra il rione Baracche e la loc. Fonte delle Donne (fig. 49).

La scarpata principale del dissesto si sviluppa a quote intorno a 525 m s.l.m.; poco più a valle, immediatamente al di sotto della strada provinciale, è riconoscibile la scarpata secondaria. Infine ancora più a valle, al corpo di frana principale si sovrappongono due fenomeni secondari più superficiali dalla forma tipicamente allungata (240 x 70 m, 160 x 50 m): questi si sviluppano dalla porzione mediana fino all'area di piede del fenomeno principale e risultano particolarmente attivi.

L'insieme dei dati provenienti dalla rete di monitoraggio AMAMiR ha evidenziato due aree che hanno mostrato particolari segni di attività:

- il nucleo abitativo che si sviluppa intorno all'edificio municipale. Gli spostamenti più significativi sono stati registrati dalla coppia di sensori collocati in corrispondenza della parete di un edificio ad orientamento ENE-WSW: il sensore E3, che ha evidenziato spostamenti fino a 3,5 mm tra il 15.2.2009 e il 6.11.2009 e il sensore Ip4 che, relativamente allo stesso intervallo di riferimento, ha evidenziato rotazioni fino a 500 milligradi.;
- la zona circostante l'edificio delle ex-scuole medie. Gli spostamenti più significativi sono stati registrati dal sensore E8-9 collocato sulla parete orientata NE-SW di un edificio che ha evidenziato spostamenti fino a 3,5 mm tra il 1.2.2009 e il 6.11.2009 e dall'inclinometro biassiale TLT X-Y, collocato all'interno dell'ex edificio scolastico che, lungo l'asse X (orientazione NW-SE), relativamente all'intervallo 20.6.2008-6.11.2009 ha evidenziato rotazioni fino a 600 milligradi.

Il quadro deformativo evidenziato dalla rete di monitoraggio AMAMiR corrisponde in modo significativo con il quadro fessurativo superficiale: i due settori sopra descritti sono contraddistinti da fessure con aperture significative (maggiori di 4 centimetri) che interessano diffusamente, la sede stradale, le opere di contenimento e gli edifici, presentando al contempo una discreta continuità spaziale.

Nel complesso, l'analisi comparata dei dati forniti dai sensori-spostamento e sensori-rotazione, dell'andamento della falda idrica sotterranea, della portata della sorgente (nodo CMS1), nell'ambito dell'intervallo d'osservazione, in riferimento al periodo piovoso dell'inverno 2008-2009, consente di

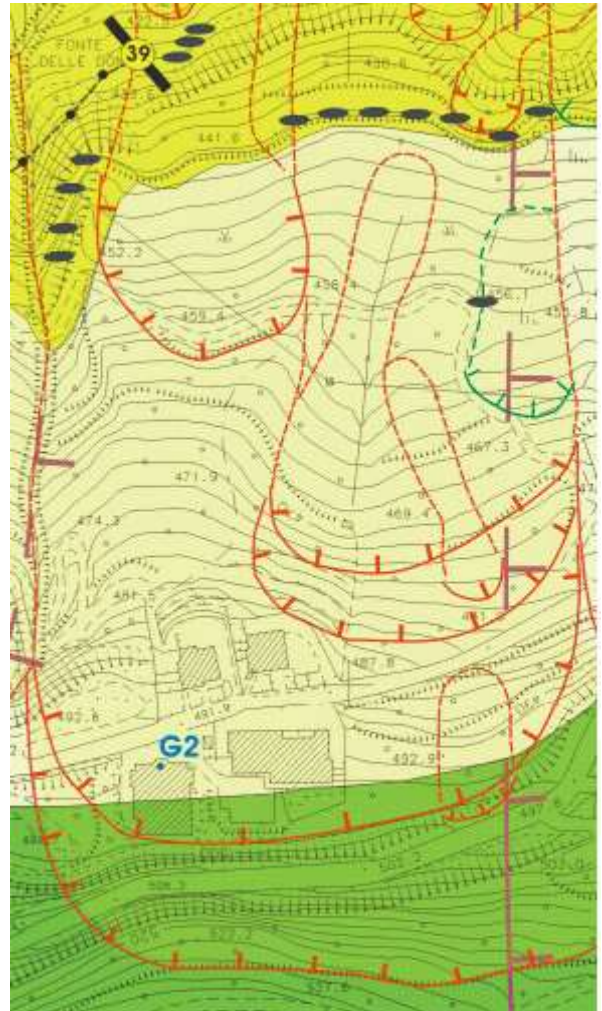


Figura 49 - Frana interessa - nel settore di distacco - edifici di recente costruzione realizzati nell'area compresa tra il rione Baracche e la loc. Fonte delle Donne del comune di San Martino di Finita

desumere come il dissesto di San Martino di Finita risulti dipendente in modo non particolarmente significativo dai cicli stagionali. Ciò è ascrivibile alle dimensioni considerevoli del dissesto, ed in particolare alla profondità dell'orizzonte argilloso tamponante (che corrisponde anche con la profondità del piano di scivolamento profondo del dissesto) che si rifletterebbe sui tempi di saturazione del corpo franoso.

Durante lo svolgimento degli studi, lo scrivente ha strettamente coadiuvato l'amministrazione comunale, suggerendo interventi in emergenza volti alla mitigazione del rischio idrogeologico in occasione dei vari eventi piovosi - particolarmente intensi - che hanno caratterizzato gli ultimi cicli stagionali. Le suddette informazioni sono state trasmesse, oltre che al Sindaco, anche ai Progettisti, ai quali sono state altresì fornite indicazioni derivanti dal quadro idrogeologico di sottosuolo desunto sulla scorta dei risultati delle indagini geognostiche.

Le dimensioni del dissesto nonché i caratteri geotecnici ed idrogeologici del relativo sottosuolo, fanno ragionevolmente ritenere improponibile interventi strutturali di consolidamento del versante su cui sorge gran parte del centro storico di San Martino di Finita. Al fine della mitigazione del rischio idrogeologico dell'abitato di San Martino di Finita, le uniche azioni possibili devono essere mirate alla riduzione delle pressioni neutre:

- nell'ambito dei finanziamenti erogati dal Ministero dell'Ambiente al Comune di San Martino di Finita, è stato consigliato l'amministrazione comunale di ripristinare le opere di canalizzazione pre-esistenti - in pessimo stato di manutenzione - ricadenti nel centro abitato e all'interno del corpo di frana, e di realizzare nuove ed adeguate opere di regimazione idraulica che intercettino ed allontanino le acque di ruscellamento a monte del corpo di frana. Oltre al ripristino e/o al rifacimento della rete di smaltimento delle acque che attraversa l'abitato, è stato consigliato di ricostruire ed ampliare la trincea drenante presente a monte della frana (e dell'abitato) realizzata negli anni 50 e quasi completamente inefficiente ⁵ (fig. 50).
- Al fine di un intervento di mitigazione ancor più incisivo, sarebbe opportuno realizzare in futuro - attraverso ulteriori finanziamenti - una serie di opere di drenaggio in falda nel versante (ad esempio batterie di dreni sub-orizzontali e/o gallerie drenanti) modulando opportunamente gli emungimenti al fine di evitare possibili cedimenti e verificando in tempo reale gli effetti di tali emungimenti sulle deformazioni superficiali, sulle oscillazioni della falda idrica e sulla portata della sorgente, mediante i sensori della rete AMAMiR.

⁵ E' opportuno evidenziare come questa tipologia di intervento potrà sottrarre al corpo di frana soltanto l'aliquota d'acqua che il versante riceve per ruscellamento, ma non quella aliquota che il versante riceve dall'acquifero della Catena Costiera attraverso i complessi percorsi sotterranei.

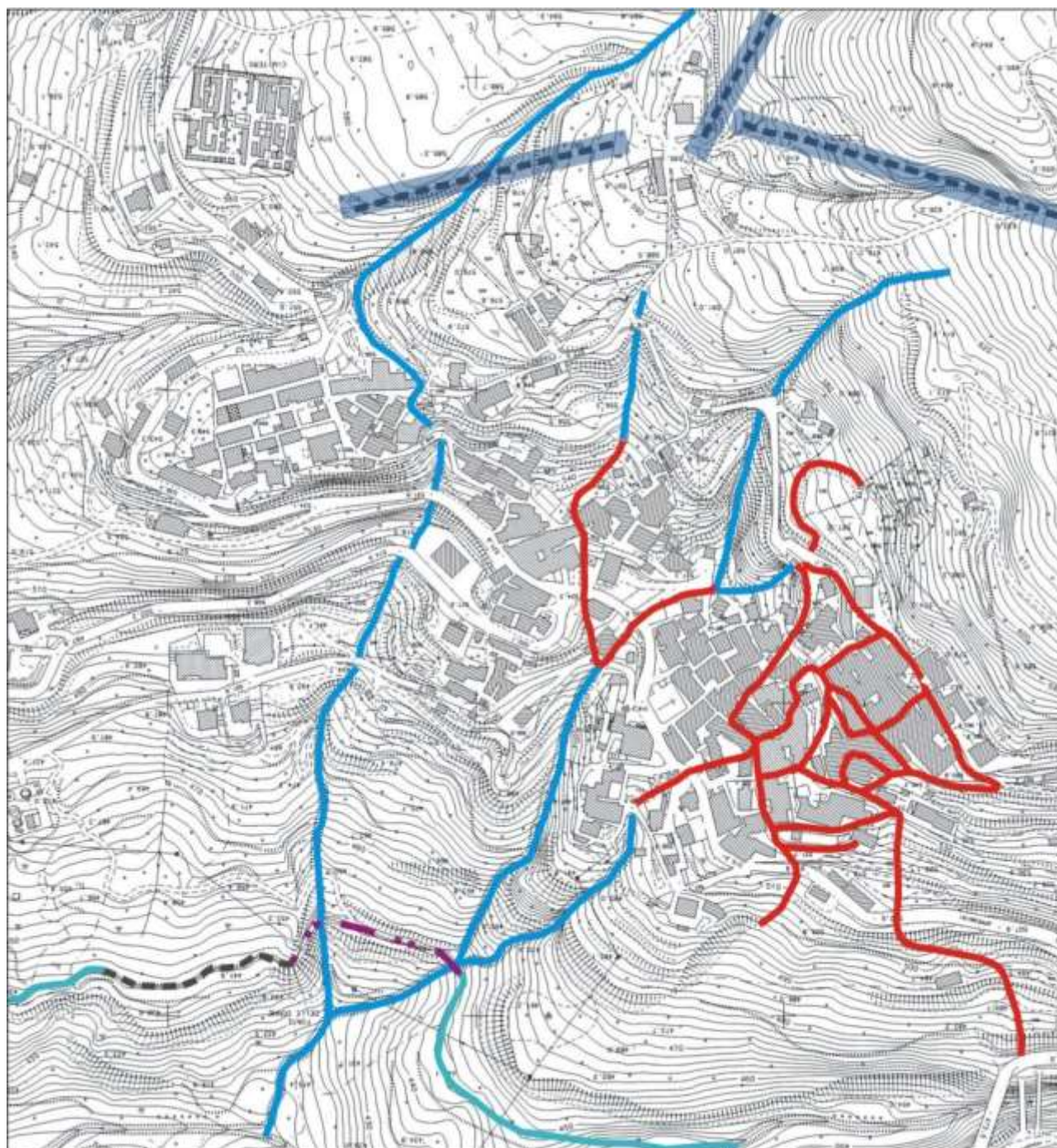


Figura 50 – Centro abitato di San Martino di finita: la rete di drenaggio della acque di ruscellamento superficiale

13- APPLICAZIONE DI AMAMIR, IN CONDIZIONI D'EMERGENZA, A SUPPORTO DEI PAESI COLPITI DALLE EMERGENZE ALLUVIONALI DELLE STAGIONI INVERNALI 2008-2009 E 2009-2010

Durante la drammatica emergenza alluvionale delle stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010 lo scrivente, nell'ambito del suddetto progetto, ha concretamente coadiuvato l'Amministrazione Provinciale di Cosenza nella delicata gestione dell'emergenza, a supporto dei paesi maggiormente colpiti dai dissesti: su richiesta dei sindaci, la rete di monitoraggio AMAMiR è stata estesa anche ad altri paesi interessati da frane che minacciavano seriamente alcuni nuclei abitativi ed infrastrutture: tra questi Cetraro, Roggiano Gravina, Rossano e Montalto Uffugo. Il sistema AMAMiR - trovatosi a fronteggiare un'emergenza determinata da uno dei maggiori eventi alluvionali che hanno colpito la regione negli ultimi trent'anni - ha evidenziato la sua concreta utilità ed affidabilità.

- a Cetraro ha consentito di prevedere l'imminente collasso di un muro di sostegno di considerevoli dimensioni (**fig. 50**) del quale è stato informato il sindaco dott. Giuseppe Aieta che ha prontamente proceduto alla chiusura della sottostante strada comunale, evitando possibili effetti catastrofici dal momento che il muro è collassato due giorni dopo la segnalazione (**fig. 51**).



Figura 50– Loc. Palazuolo-Sceuzza di Cetraro: installazione dei sensori del sistema AMAMiR sul muro di sostegno pericolante prima del collasso (marzo 2008) e collasso del muro (gennaio 2009)

Sig. Sindaco del Comune di Cetraro
Dott. Giuseppe Aieta

FAX

Rende, 27 gennaio 2009

Oggetto: evoluzione del movimento franoso nell' area interessata del dissesto verificatosi il 25 marzo 2007 in località Palazzolo-Sceusa.

Da una analisi dei sensori installati presso il muro di contenimento del Capannone F.lli Tintori e presso la palestra comunale al fine del monitoraggio in tempo reale del fenomeno franoso, emerge che anche la porzione di muro non ancora coinvolta nel collasso di domenica 25 gennaio u.s. è interessata attualmente da vistosi spostamenti (v. grafico sotto riportato) che potrebbero preludere ad un repentino collasso della suddetta porzione con frantamenti che potrebbero propagarsi anche nella zona di monte. Tutto ciò in accordo con il sopralluogo effettuato domenica 25 u.s. alla luce del quale era stato possibile constatare un quadro fezzaturativo al suolo in evoluzione nella zona a monte del muro.

Sulla scorta di quanto sopra detto si suggerisce di ripristinare l' assoluto divieto d' accesso a tutta l' area interessata dal dissesto in oggetto ed interessata dalle precedenti ordinanze di sequestro (strada e palestra compresa). Si consiglia altresì di aumentare il livello di sorveglianza nella suddetta area.

In riferimento al grafico suddetto si precisa che il giorno 25 gennaio u.s., considerato che l' estensimetro aveva raggiunto il "fondo corsa", è stato riposizionato (vedi tratto verticale nel grafico); dal 25 ad oggi si nota come il grafico indichi una evidente apertura dei due muri (tratto in salita della curva spostamento-tempo) con le accelerazioni di spostamenti nell' ultimo giorno che consigliano l' allertamento sopra richiamato.

Dott. geol. Carlo Tanzi
 (Responsabile Scientifico del Progetto CNE-AMAMIR)

Carlo Tanzi

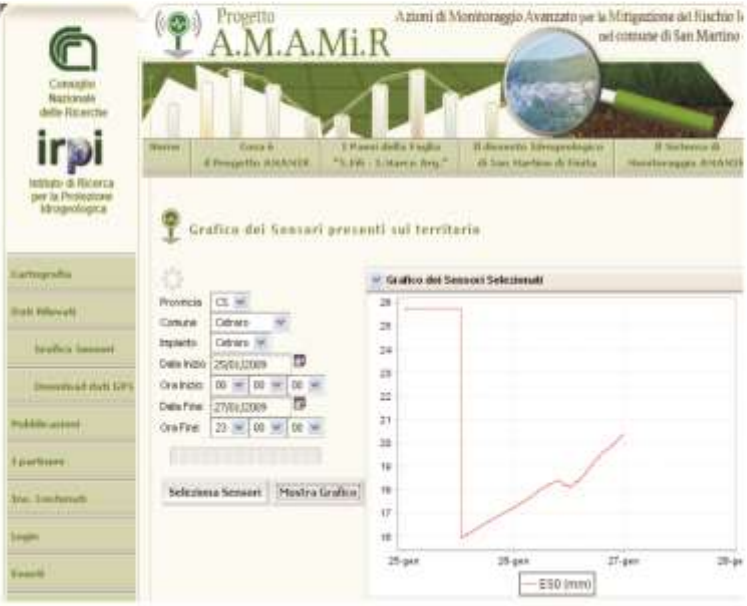


Figura 51 – Fax trasmesso al sindaco di Cetraro preannuncia l'imminente collasso del muro di sostegno

- A Rossano Calabro il sistema AMAMiR ha consentito la riapertura di un importante plesso scolastico (ITIS, 1500 studenti), sgomberato a causa del cedimento di un'opera in terra armata le cui precarie condizioni di stabilità minacciavano seriamente due edifici scolastici (fig. 52).



Figura 52– Applicazione di sensori nei pressi dell'ITIS di Rossano



- A Roggiano Gravina il sistema AMAMiR ha permesso il rientro in abitazioni sgomberate a causa di una frana, avendo consentito di accertare l'esaurirsi del dissesto (fig. 53).



Figura 53 – Applicazione di un sensore GPS sulla frana di loc. Farneto di Roggiano Gravina che minaccia alcune abitazioni

- A Parantoro di Montalto Uffugo è stato allestito una rete di monitoraggio locale - costituita da n°7 estensimetri a filo disposti lungo le principali fratture al suolo riscontrate - che consente di monitorare fenomeni franosi particolarmente a rischio (colate di detrito) che incombono su un nucleo abitativo popolato da oltre 400 persone (fig. 54).

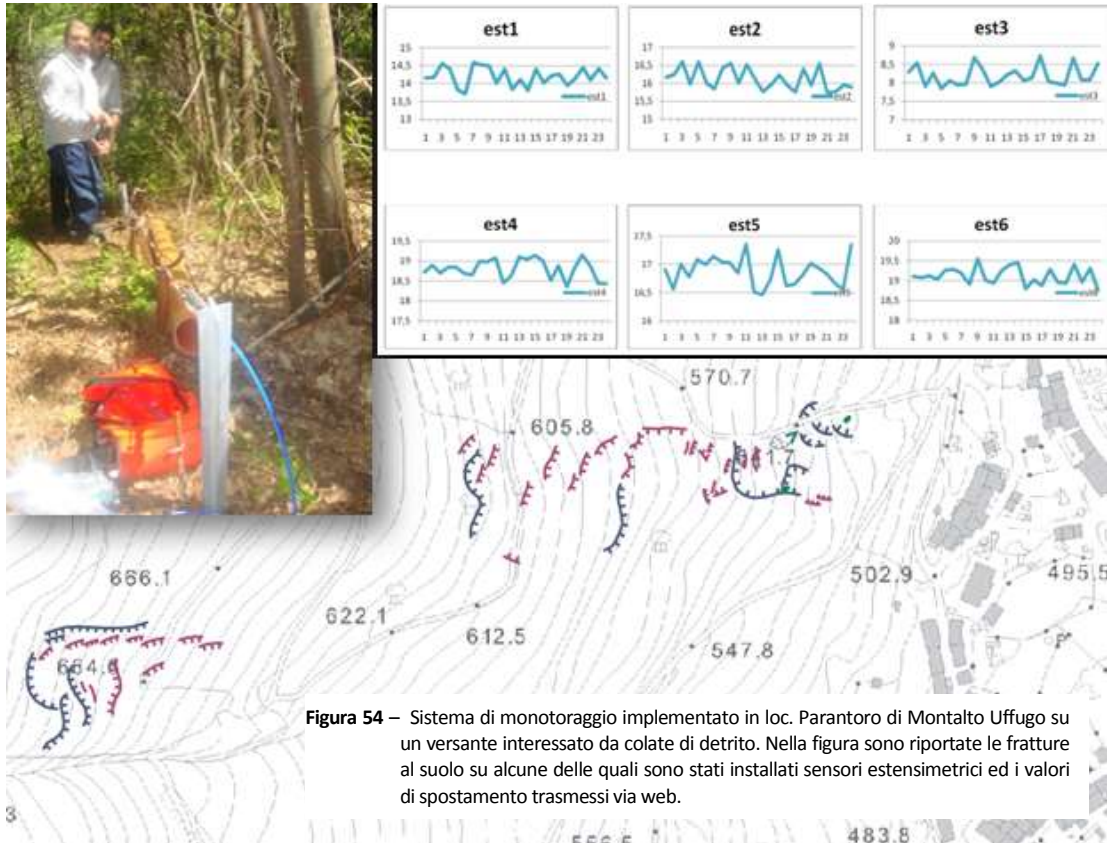


Figura 54 – Sistema di monitoraggio implementato in loc. Parantoro di Montalto Uffugo su un versante interessato da colate di detrito. Nella figura sono riportate le fratture al suolo su alcune delle quali sono stati installati sensori estensimetrici ed i valori di spostamento trasmessi via web.

Diversi sono stati gli effetti sortiti Progetto A.M.A.Mi.R. in ambito locale e nazionale:

- Durante le note e drammatiche emergenze alluvionali che hanno colpito la Calabria durante le stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010 il sistema A.M.A.Mi.R. ha rappresentato un concreto, valido e utile sussidio per l'Amministrazione Provinciale di Cosenza nella delicata gestione dell'emergenza, a supporto dei paesi maggiormente colpiti dai dissesti. Su richiesta dei sindaci la rete di monitoraggio AMAMiR è stata estesa anche ad altri paesi interessati da frane che minacciavano alcuni nuclei abitativi ed infrastrutture (Cetraro, Roggiano Gravina, Rossano, Montalto Uffugo, San Marco Argentano, Mongrassano e Parenti).
- L'Amministrazione provinciale di Cosenza ha manifestato interesse nel considerare il sistema AMAMiR come strumento per la mitigazione del rischio idrogeologico e, alla luce di una convenzione con il CNR-IRPI, ha inteso estendere la rete di monitoraggio ad altri paesi (Cerzeto, Cervicati, San Benedetto Ullano, Rota Greca, Lattarico, Rende, San Vincenzo La Costa, San Fili) che hanno rappresentato i territori maggiormente colpiti dagli eventi alluvionali durante le stagioni invernali 2008-2009 e 2009-2010. L'accordo è stato ufficializzato in occasione di un convegno (svoltosi il 19 maggio 2009) durante il quale il Presidente della Provincia ha preannunciato la volontà di estendere la rete di monitoraggio A.M.A.Mi.R. all'intero territorio provinciale.

14- AMAMIR ON TV

Proprio per l'utilità evidenziata durante l'emergenza alluvionale dell'inverno 2008-2009, il sistema di monitoraggio avanzato AMAMiR ha suscitato l'attenzione delle televisioni nazionali, che ne hanno sottolineato le caratteristiche innovative attraverso servizi approfonditi andati in onda sulle reti Rai e Mediaset.



Rai Uno, *Unomattina* del 18 febbraio 2009: intervista rilasciata da Carlo Tansi a Michele Cucuzza presso gli studi di Saxa Rubra



Rai Tre Nazionale: servizio andato in onda su *Leonardo* del 4 febbraio 2009 sulla storia geologica della Calabria



Rai Tre Nazionale: servizio andato in onda sul TG *Persone* del 29 marzo 2009 sull'attività scientifica dello scrivente



Rai Tre Nazionale: varie interviste su servizi giornalistici sul rischio idrogeologico in Calabria andate in onda sul TG3 nazionale nel 2009



Canale 5: servizio andato in onda su *Matrix* del 22 aprile 2009 che ha descritto il sistema AMAMiR.



Rai Due del 20 febbraio 2009: intervista rilasciata alla trasmissione *Montagne* sul dissesto idrogeologico (nella foto uno dei sensori della rete AMAMiR)



Rai Tre Nazionale: servizio andato in onda su *Leonardo - il Tg della Scienza* del 3 febbraio 2009 sul monitoraggio avanzato delle frane (Progetto AMAMiR)

Durante la fase emergenziale lo scrivente ha rilasciato altre interviste su problematiche connesse al rischio idrogeologico: GR2 di Rai Radio 2 del 29 e 30 gennaio 2009, TG di Italia 1 del 9 febbraio 2009 e Presadiretta di Riccardo Iacona (Rai Tre Nazionale) del 13 settembre 2009.

15-ATTIVITA' IN CORSO DI SVOLGIMENTO NELL'AMBITO DEL PROGETTO AMAMiR

L'ultimo stadio del progetto, attualmente in fase di completamento, ha l'obiettivo di rendere il software AMAMiR *open* e universale, cioè capace di gestire ogni tipologia e marca di sensori e di sistemi di acquisizione e trasmissione dei dati. In tal modo il sistema potrà essere offerto gratuitamente alle istituzioni e amministrazioni locali che saranno messe in grado di gestire in completa autonomia sistemi di monitoraggio delle frane sui rispettivi territori di pertinenza.

Bibliografia

- Amodio-Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E. & Zuppetta A. (1976) - *L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene appennino-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., **17**, 1-60.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. & Valensise G. (1995) – *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. Istituto Nazionale di Geofisica, S. G. A., Roma.
- Carrara A., Sorriso-Valvo M. & Reali C. (1982) – *Analysis of landslide form and incidence by statistical techniques*. *Catena*, **9**, 35-62
- Colella A., De Boer P.L. & Nio S.D. (1987) - *Sedimentology of a marine intermontane Pleistocene Gilbert-type fan-delta complex in the Crati Basin, Calabria, Southern Italy*. *Sedimentology*, **34**, 721-736.
- Cruden D.M. & Varnes D.J. (1996) - *Landslide Types and Processes*. In: Turner A.K. & Schuster R.L. (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*. Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., 36-75.
- Gasparini C., Iannacone G., Scandone P. & Scarpa R. (1982) – *Sismotectonics of the Calabrian Arc*. *Tectonophysics*, **84**, 267-286.
- Guerra I. (1986) – *Osservazioni strumentali della sismicità della Calabria*. Atti 5° Conv. Ann. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida, 525-536.
- Lanzafame G. & Tortorici L. (1980) – *Le successioni giurassico-eoceniche dell'area compresa tra Bocchigliero, Longobucco e Cropalati (Calabria)*. Riv. It Paleont. Strat., **86**, 31-54.
- Matano F. & Tansi C. (1994) - *Influenza delle strutture tettoniche sul profilo d'alterazione e sulla franosità negli gneiss dell'area di San Pietro in Guarano (Calabria Settentrionale)*. Geol. Romana, **30**, 361-370.
- Monaco C. & Tortorici L. (2000) - *Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily*. J. Geodynamics, **29**, 407-424.
- Postpischl D. (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR, P.F. Geodinamica, Graficop, Bologna.
- Tansi C., Iovine G., Folino-Gallo M. (2005) – *Tettonica attiva e recente, e manifestazioni gravitative profonde, lungo il bordo orientale del graben del Fiume Crati (Calabria settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **124**, pp. 563-578.
- TANSI C. (2005). *Caratteri geologico-strutturali dell'area di Cavallerizzo-Cerzeto (Cosenza)*. Relazione tecnica per la Protezione Civile Nazionale.
- TANSI C., SORRISO-VALVO M. & GRECO R. (2000) – *Relationship between frequency and faulting: a first numerical appraisal*. Engineering Geology, **52**, 225-230.

TANSI C., SORRISO-VALVO M. & GRECO R. (2000) – *Relationship between frequency and faulting: a first numerical appraisal*. Engineering Geology **52**, 225-230.

TORTORICI L. (1981) – *Analisi delle deformazioni fragili dei sedimenti postorogeni della Calabria settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It. **100**, 291-308.

TORTORICI L. (1982) – *Lineamenti geologico-strutturali dell'Arco Calabro-Peloritano*. Soc. It. Min. Petr. **38**, 927-940.

TORTORICI L., MONACO C., TANSI C. & COCINA O. (1995) – *Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (south. Italy)*. Tectonophysics **243**, 37-55.

VAN DIJK, J.P., BELLO, M., BRANCALEONI, G.P., CANTARELLA, G., COSTA, V., FRIXA, A., GOLFETTO, F., MERLINI, S., RIVA, M., TORRICELLI, S., TOSCANO, C., ZERILLI, A. (2000). *A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy)*. Tectonophysics **324**, 267-320.