



## Monitoraggio geodetico con stazione totale in condizioni di emergenza nel quartiere Gianicolense (Roma)

*Geodetic monitoring with total station in emergency condition in Gianicolense district (Rome)*

L. BONCI\*, S. CALCATERRA\*\*,  
P. GAMBINO\*\*, F. VULLO\*\*

**RIASSUNTO** - Condizioni allarmanti di instabilità nel quartiere Gianicolense, posto a SW della città, furono segnalate a partire dall'autunno del 2001. Il fenomeno, innescatosi a seguito dello scavo (30.000 m<sup>3</sup>) di parcheggi sotterranei, aveva coinvolto parte di un versante blandamente inclinato in depositi Quaternari. Su richiesta del comune di Roma, successivamente alle operazioni di rinterro dello scavo per la messa in sicurezza del cantiere, il Servizio Geologico d'Italia, oggi confluito in APAT, era stato chiamato a installare un sistema di monitoraggio per il controllo dei movimenti superficiali.

La rete di monitoraggio con stazione totale motorizzata, operativa dal 15 dicembre 2001 fino al 26 febbraio 2003, comprendeva 16 punti di controllo all'interno dell'area in frana e 5 punti di riferimento localizzati su edifici stabili. Le misure, acquisite ad intervalli orari, venivano automaticamente processate al termine del ciclo ed inviate al centro di raccolta dati.

Le scelte progettuali realizzate hanno permesso di ovviare alle problematiche insite in interventi in ambito urbano, raggiungere la precisione richiesta dalla tipologia del dissesto e rispondere in tempi rapidi all'emergenza che si era presentata.

**PAROLE CHIAVE:** tecniche geodetiche, stazione totale automatica, livellazione, deformazione superficiale, monitoraggio urbano.

**ABSTRACT** - Alarming slope stability in the SW portion of the urban area, Gianicolense district (Rome), were noted in the autumn 2001, after the excavation of a large ground volume (30.000 m<sup>3</sup>) for the realization of an underground parking lot. The event involved Quaternary deposits on gentle slope in a residential area. The Geological Survey of Italy was requested by the Municipality of Rome to install a monitoring network to control the surface movements about one month after the event. Before the beginning of measures the phenomenon had been stabilized by a ground refilling.

The survey monitoring network with Automated Total Station was operative from December 2001 to February 2003 and it was formed by 16 monitoring benchmarks and 5 reference points located on stable buildings. The measurements were taken at hourly intervals and the data were automatically processed at the end of each cycle, ready for transmission to the Geological Survey headquarter.

The adopted methodology has allowed to obviate to the problems connected with monitoring in urban area. Besides, the system was able to get precision necessary to control the instability and to offer contribution to manage emergency activities.

**KEY WORDS:** geodetic techniques, automated total station, levelling, surface deformation, urban monitoring

\* - APAT - Dipartimento Difesa della Natura – Servizio Aree protette e pianificazione territoriale - Via Curtatone, 3 – 00185 ROMA

\*\* - APAT - Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geofisica - Via Curtatone, 3 – 00185 ROMA

## PREMESSA

Lo studio di un fenomeno franoso avviene usualmente secondo fasi ben codificate che prevedono: l'individuazione, delimitazione e classificazione del dissesto; la verifica dello stato di evoluzione attraverso la misura degli spostamenti superficiali e profondi; l'analisi e la valutazione dei possibili scenari evolutivi; la realizzazione di interventi di mitigazione del rischio. Lo studio di una frana attiva è generalmente accompagnato da indagini geodetiche, geotecniche e geofisiche al fine di acquisire precise informazioni su gli spostamenti nelle tre dimensioni e sui vettori di deformazione. La misura di spostamenti superficiali attraverso studi geodetici rappresenta, tuttavia, il modo più semplice e diretto di osservare l'evoluzione di una frana e di analizzarne la cinematica del movimento.

Qui di seguito è illustrato un caso di dissesto innescatosi nella città di Roma (V.le Newton) per cause antropiche. Esso costituisce un esempio di monitoraggio in uno scenario prettamente urbano nel quale sono presenti tutte le problematiche connesse ad interventi in tale contesto.

Nel dicembre del 2001, a seguito di una richiesta da parte del Comune di Roma al Servizio Geologico d'Italia, è stata installata una rete di monitoraggio in continuo per il controllo in emergenza dei movimenti di alcune opere di contenimento, realizzate durante la costruzione di un parcheggio sotterraneo nel quartiere Gianicolense, e degli eventuali movimenti degli edifici limitrofi. Lo scavo, causa del dissesto, taglia un versante costituito da depositi argillosi e argillo-sabbiosi dell'Unità di Ponte Galeria al di sopra dei quali sono presenti spessori notevoli di terreni di riporto.

## 1 - METODOLOGIE DI MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI SUPERFICIALI

Le indagini in aree in frana, in particolare in ambiente urbano, richiedono l'utilizzo di tecniche di rilevamento ed analisi delle deformazioni del suolo che consentano di ovviare alle difficoltà logistiche costituite dallo stesso contesto urbano, che abbiano il minor impatto ambientale possibile e che assicurino la precisione di misura richiesta dall'entità delle deformazioni in gioco attraverso l'utilizzo di adeguate procedure di stima dell'errore.

La precisione richiesta per la misura degli spo-

stamenti superficiali connessi ad un dissesto è, nella maggior parte dei casi, centimetrica ed, in alcuni casi, anche subcentimetrica. Il monitoraggio richiede, quasi sempre, la monumentazione di capisaldi, affidabili e durevoli nel tempo, in punti di controllo rappresentativi del comportamento del fenomeno indagato oltre che in punti esterni all'area di studio che realizzino il *datum* di riferimento o nel caso del telerilevamento, la presenza di bersagli radar immuni da effetti di decorrelazione.

Le diverse tecniche di monitoraggio degli spostamenti superficiali in aree instabili consentono di ottenere informazioni plano-altimetriche su una serie discreta di punti di controllo. Le principali tecniche di monitoraggio possono essere sintetizzate come segue:

Livellazione geometrica: Questa metodologia consente, attraverso la misura di dislivelli consecutivi (livellazione frazionata), di determinare la quota di punti materializzati da appositi capisaldi. Tra le tecniche terrestri la livellazione geometrica, eseguita secondo le specifiche dell' "Alta Precisione", consente di raggiungere le massime precisioni per il monitoraggio degli spostamenti verticali. In particolare per l'esecuzione della livellazione di "Alta Precisione" è richiesto l'uso di idonea strumentazione e l'adozione di particolari modalità operative quali: distanza fra strumento e stadia non superiore a 40 m; misura del dislivello in andata e ritorno di ogni tratto, da caposaldo a caposaldo, in momenti diversi e in modo indipendente, evitando le ore calde o di foschia e le visuali radenti al di sotto dei 40 cm dal terreno; la discordanza fra il dislivello misurato in andata e quello in ritorno non deve superare la tolleranza di  $T = \pm 2,5 \text{ L mm}$  su ogni singolo tratto ed  $E = \pm 2 \text{ L mm}$  sul singolo poligono dove L rappresenta rispettivamente la lunghezza del tratto e del poligono espressa in chilometri;

Triangolazione/Distanziometria: Con questa tecnica le deformazioni del suolo sono monitorate attraverso misure ripetute della distanza e delle direzioni angolari. La tecnica, oggi integrata in un unico strumento (Stazione Totale), è utilizzabile in diversi campi di applicazione ed in particolare nelle situazioni di emergenza e/o in condizioni logistiche difficili quali per esempio il monitoraggio di versanti quasi verticali o in presenza di manufatti che, ad esempio, impediscono la ricezione del segnale satellitare GPS. Nell'ambito di un raggio di applicazione dell'ordine di 1-1,5 km le operazioni di ricognizione e misura del bersaglio (prisma





riflettente) possono essere automatizzate con una accuratezza strumentale nella misura della distanza pari a  $1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  e nella misura degli angoli azimutali e zenitali di  $0,15 \text{ mgon}$ . Inoltre sempre in automatico è possibile eseguire le operazioni di auto-calibrazione, acquisizione, elaborazione e trasmissione del dato rendendo così gestibile in remoto il monitoraggio tridimensionale di punti e delle deformazioni ad essi associate;

**Tecniche GPS:** Il sistema GPS è un sistema di posizionamento che si compone di tre segmenti principali: a) il segmento spaziale costituito dalla costellazione di satelliti Navstar (Navigation Satellite Time and Ranging); b) il segmento di controllo composto da 7 stazioni a terra ed una stazione master per il controllo e l'aggiornamento delle orbite dei satelliti; c) un segmento degli utenti costituito da tutti gli utilizzatori civili e militari.

Le misure consentono, attraverso la ricezione simultanea del segnale da almeno quattro satelliti, di valutare l'intervallo di tempo necessario al segnale per percorrere le distanze tra satellite e ricevitore. Condizione, pertanto, necessaria è l'assenza di ostacoli in grado di occultare la volta celeste. Inoltre, la degradazione del segnale, gli offset degli orologi e i disturbi atmosferici riducono la precisione del posizionamento ad alcune decine di metri. Tale precisione aumenta con l'uso del metodo differenziale che prevede la ricezione simultanea dei segnali satellitari da parte di due ricevitori, uno dei quali posto in un punto di coordinate note. La tecnica GPS (Global Position System) costituisce un valido complemento o estensione dei metodi di rilievo convenzionali terrestri ed ha il vantaggio di non richiedere la visibilità diretta tra stazioni e di poter essere usata anche in condizioni meteorologiche sfavorevoli. La scelta del metodo statico, pseudo-statico, cinematico e tempo reale dipende da considerazioni pratiche quali le tipologia del fenomeno, il numero dei punti, la loro distanza ed accessibilità, e la precisione richiesta;

**Tecniche fotogrammetriche:** Tali tecniche applicabili sia da aereo che da terra forniscono la mappa, le coordinate dei punti e le sezioni della frana. Una serie di fotogrammetrie consente di effettuare una analisi quantitativa dei cambi di pendenza morfologica e di determinare, con precisione decimetrica, i vettori del movimento;

**Tecniche di telerilevamento:** L'uso di sistemi radar ad apertura sintetica (SAR) permettono di effettuare misure, mediante l'impiego di sensori installati su piattaforme spaziali o aereotrasportate,

impiegando tecniche quali l'interferometria differenziale (DIFSAR) e i permanent scatterers (PS). L'interferometria differenziale utilizza la variazione del valore di fase delle immagini SAR e permette di generare con precisione centimetrica/millimetrica mappe di deformazione di una zona di interesse a partire dai dati acquisiti da una serie di passaggi consecutivi (Base temporale). La tecnica PS consente di ovviare ai fenomeni di decorrelazione che possono inficiare la tecnica DIFSAR, utilizzando solo alcuni bersagli che risultano essere immuni da tali effetti (FERRETTI *et alii*, 2001). I punti coincidono con gli spigoli di edifici, strutture metalliche e rocce nude aventi caratteristiche elettromagnetiche che non variano con il tempo. Il trend del movimento viene ottenuto attraverso l'elaborazione di una serie multi-temporale di immagini radar consentendo così di ricostruire la storia del bersaglio. I limiti di tali tecniche sono rappresentati dal fatto che riescono ad apprezzare deformazioni solo lungo la linea LOS (Line Of Sight), quindi approssimativamente lungo la verticale, non fornendo informazioni relative alle deformazioni planimetriche e non consentono la misura di moti aventi velocità maggiori ad un centimetro nell'arco temporale tra due passaggi successivi senza avere informazioni a priori. Tali tecniche, inoltre, non permettono di effettuare un monitoraggio in tempo reale a causa della bassa frequenza di passaggio dei satelliti che attualmente è di circa 35 giorni.

Un sommario dei metodi e della loro precisione è mostrato in tabella 1 in cui per ogni metodo viene riportato il raggio di applicazione, le variabi-

Tab.1 - Metodologie di misura degli spostamenti superficiali e loro precisione.

- overview of methods used in measuring surface displacement and their precision.

Metodo	Raggio di applicazione	Variabile Misurata	Precisione	Modalità di monitoraggio
Livellazione di alta precisione	Variabile	$\Delta Z$	0,2-1 mm/km	periodico
GPS	Variabile	$\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z$	5-10 mm + 1-2 ppm	periodico continuo tempo reale
Stazione Totale	1-1,5 km	Distanza	1mm + 1 ppm	periodico continuo tempo reale
		Angoli	0,15 mgon	
Fotogrammetria aerea	H volo < 500m	$\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z$	10 cm	periodico
DIFSAR	Variabile	$\Delta Z$	1 mm	periodico
Permanent Scatters	Variabile	$\Delta Z$	1 mm	periodico



li misurate, la precisione del metodo raggiungibile e la modalità di monitoraggio.



Fig. 1 - Mappa geologica dell'area investigata. a2-Sedimenti alluvionali (Olocene); SKF-Formazione di Sacrofano: piroclastiti lapillose e cineritiche (Pleist. medio pp); TDC-Unità di Tor dei Ceci: piroclastiti (Pleist. medio pp); PGL3c-Unità di Ponte Galeria: sabbie salmonate auct. (Pleist. inf. pp); PGL3b-Unità di Ponte Galeria: argille a *Venerupis senescens* auct. (Pleist. Inf.) (modificata da: A.A.V.V., 2005).

- geological map of the investigated area a2-alluvial deposits (Olocene); SKF-Sacrofano Formation: pyroclastites deposits (lapilli, cinerite) (Pleist. medio pp); TDC- Tor dei Ceci Unit: pyroclastics deposits (Pleist. medio pp); PGL3c- Ponte Galeria Unit: salmonate sands auct (Pleist. inf. pp); PGL3b- Ponte Galeria Unit: clay with *Venerupis senescens* auct. (Pleist. Inf.) (modified by A.A.V.V., 2005).



Fig. 2 - Segni di instabilità su strutture limitrofe a seguito degli scavi per la costruzione del parcheggio.

- signs of instability on nearby structures due to the earth excavation during the building of an underground parking lot.

## 2 - INQUADRAMENTO GEO-AMBIENTALE

Il monitoraggio messo a punto dal Servizio Geologico d'Italia si è reso necessario a seguito dei dissesti prodotti dai movimenti della palificata realizzata a sostegno dello scavo (circa 13 metri) per la costruzione di un parcheggio nel quartiere Gianicolense. I lavori hanno interessato il versante orientale di un rilievo collinare allungato in direzione circa nord-sud con quote della parte sommitale che degradano da circa 80 m s.l.m. a nord (zona Villa Pamphili) a circa 50 m s.l.m. a sud.

Le operazioni di scavo hanno portato all'asportazione di quasi tutta la coltre del riporto mettendo in luce le sottostanti Argille a *Venerupis senescens* dell'Unità di Ponte Galeria.

Procedendo dal basso verso l'alto il rilievo collinare è costituito dai seguenti termini litologici (MARRA & ROSA, 1995) (fig. 1):

- argille e argille sabbiose grigio-azzurre appartenenti all'Unità di Ponte Galeria (Argille a *Venerupis senescens*) aventi uno spessore di almeno 20 metri (Pleistocene medio);
- sabbie debolmente limose, massive anch'esse appartenenti all'Unità di Ponte Galeria (Sabbie salmonate) con intercalazioni di limo argilloso e di ghiaie (Pleistocene medio);
- deposito piroclastico a matrice cineritica fine con scheletro costituito da scorie, analcime, pirosseni, miche e pisoliti. Il deposito appartiene all'Unità di Tor de' Cenci (Fase Tuscolano-Artemisia del Distretto vulcanico dei Colli Albani) ed ha uno spessore di circa 1,5 m (Pleistocene medio);
- successione piroclastica composta da livelli decimetrici lapilloso-cineritici alternati, a varie altezze, con livelli cineritici pedogenizzati. Questa unità, conosciuta in letteratura come Tufi antichi p.p. Auct., nell'area interessata dallo scavo ha uno spessore di circa 4 m e costituisce il tetto del rilievo collinare;
- Tufi stratificati varicolori di Sacrofano (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970) (Pleistocene medio p.p.);
- materiale di riporto a granulometria eterometrica, esso ricopre l'Unità di Ponte Galeria ed è presente sul versante in questione in giacitura a frana-poggio con uno spessore di circa 8-9 metri (Recente);

Da un punto di vista idrogeologico è possibile individuare due distinte circolazioni profonde attribuibili rispettivamente ai terreni vulcanici più permeabili delle piroclastiti di copertura ed ai terreni sabbiosi dell'Unità di Ponte Galeria. Nel caso





dei terreni vulcanici si tratta di una circolazione molto modesta vista la loro limitata estensione nell'area, riguardo alla seconda invece i profondi cambiamenti apportati dall'urbanizzazione hanno modificato i caratteri idrogeologici originari, tuttavia è probabile che le perdite delle reti fognarie ed idriche forniscano il quantitativo di risorsa sufficiente a permettere una circolazione idrica sotterranea perenne in questi terreni.

### 3 - LA RETE DI MONITORAGGIO

La condizione di pericolo per i fabbricati circostanti lo sbancamento (fig. 2) ha consigliato l'installazione di un sistema di monitoraggio che permettesse di tenere sotto controllo costantemente sia l'evoluzione delle deformazioni della paratia, sia l'eventuale coinvolgimento degli edifici limitrofi (fig. 3). La necessità di effettuare un monitoraggio continuo in emergenza e la presenza di numerosi ostacoli che avrebbero limitato la visibilità dei satelliti hanno fatto escludere, come metodologie da adottare, sia l'interferometria che la tecnica GPS optando per l'utilizzo di una Stazione Totale automatizzata.

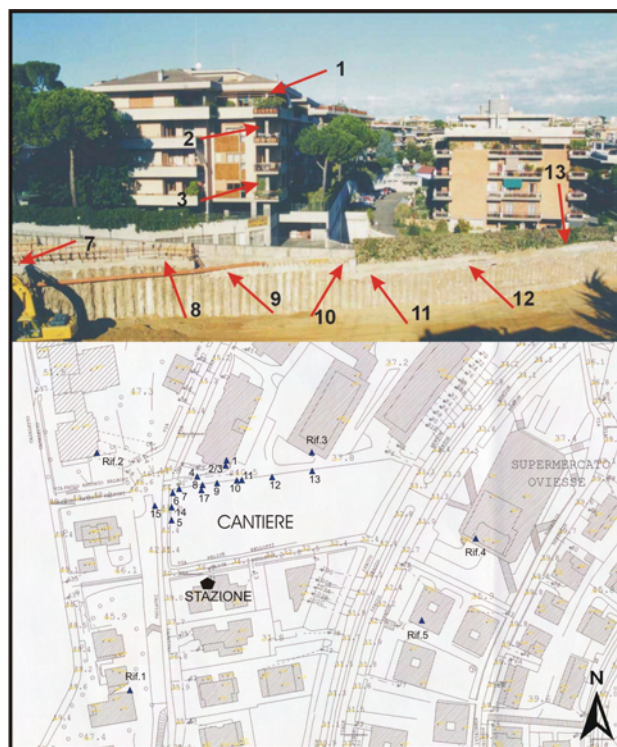


Fig.3 - Ubicazione dei punti di monitoraggio della rete geodetica.  
- location of the monitoring point of the geodetic network.

Tale sistema di monitoraggio, automatico e continuo, già utilizzato con successo in altre situazioni per il controllo degli spostamenti superficiali lungo versanti in frana (BONCI *et alii*, 2003; GULLÀ *et alii*, 2004), è stato opportunamente progettato e implementato. Le misure sono iniziate nel dicembre 2001 e sono proseguite per un arco temporale di circa 14 mesi, periodo durante il quale i lavori di costruzione sono stati parzialmente sospesi; solo successivamente l'opera è stata completata. In coincidenza con la fine degli interventi di provvisoria messa in sicurezza del cantiere, sono iniziate le operazioni di misura e controllo da parte del Servizio Geologico con l'invio di rapporti giornalieri agli uffici del Municipio XVI del Comune di Roma. I dati acquisiti dalla stazione totale erano trasmessi e visualizzati presso la sede del Servizio Geologico dove venivano analizzati giornalmente e rappresentati graficamente in forma sintetica. Nella figura 4 è riportato schematicamente il flusso dei dati del sistema di monitoraggio.

A questo sistema di controllo è stata inoltre affiancata una rete di livellazione di alta precisione misurata periodicamente.

#### 3.1 - IL SISTEMA DI MISURA IN CONTINUO

Il sistema di misura è costituito da:

1) una Stazione Totale motorizzata Leica TCA2003 avente le seguenti caratteristiche tecniche: misura della distanza con distanziometro ad infrarossi e precisione di 1mm + 1ppm; precisione della misura degli angoli orizzontale e verticale di 0.15 mgon; sistema di autocentrimento con video camera digitale (CCD) che consente una accuratez-

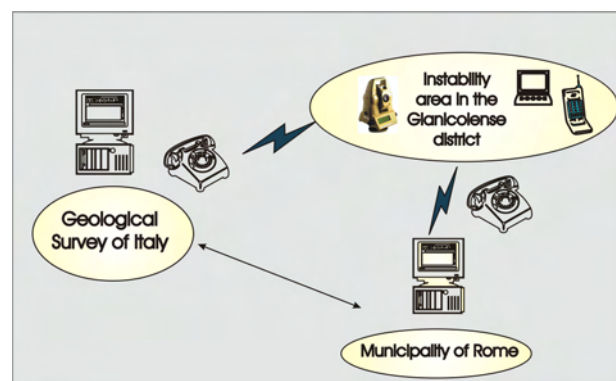


Fig.4 - Flusso di dati dal sito di monitoraggio al centro di controllo (Servizio Geologico d'Italia) e al Comune di Roma.

- data flow from the monitoring site to headquarter (Geological Survey of Italy) and Municipality of Rome.



za al di sotto di 1 millimetro per distanze fino a 200 metri;

2) un sistema di gestione costituito da un computer per il controllo della stazione, l'elaborazione e la visualizzazione dei dati ed un modem GSM per la trasmissione dei dati;

3) 16 prismi riflettenti installati nell'area oggetto del monitoraggio posizionati sulle strutture da monitorare: 4 prismi sul fabbricato più vicino al cantiere, 11 installati sul cordolo della paratia e 1 sulla strada a monte del cantiere;

4) 5 prismi installati su edifici non coinvolti dal

fenomeno, che hanno costituito il *datum* di riferimento per il controllo della stabilità della Stazione.

La Stazione Totale è stata alloggiata in un punto di osservazione ottimale rispetto alle strutture da controllare ed in posizione adeguatamente stabile e protetta da eventuali intrusioni (fig. 5).

Il sistema è stato progettato per sfruttare pienamente le potenzialità dello strumento e le misure sono state eseguite con cadenza oraria al fine di seguire, in tempo quasi reale, l'evoluzione delle eventuali deformazioni e memorizzarle in un *data-base*.

Per ciascun ciclo la misura del punto è stata ripetuta quattro volte, due in dritto e due in capovolto, con soglie di tolleranza ridottissime superate le quali la misura era ripetuta.

I dati acquisiti durante la prima giornata sono stati mediati per ottenere il ciclo di riferimento, considerato come misura di "zero", e dal giorno 14 dicembre 2001 è iniziato il monitoraggio in continuo dell'area.

Al fine di verificare la presenza di eventuali correlazioni tra l'andamento dei parametri ambientali di temperatura, pressione, umidità e precipitazione orari e le misure topografiche sono stati acquisiti i dati della stazione meteo del Collegio Romano.



Fig.5 - Stazione Totale: lo strumento è protetto all'interno di un box e posizionato su un edificio stabile prossimo al cantiere.

- Total station: the instrument is protected by a box and located on the top of a building close to the instable area.

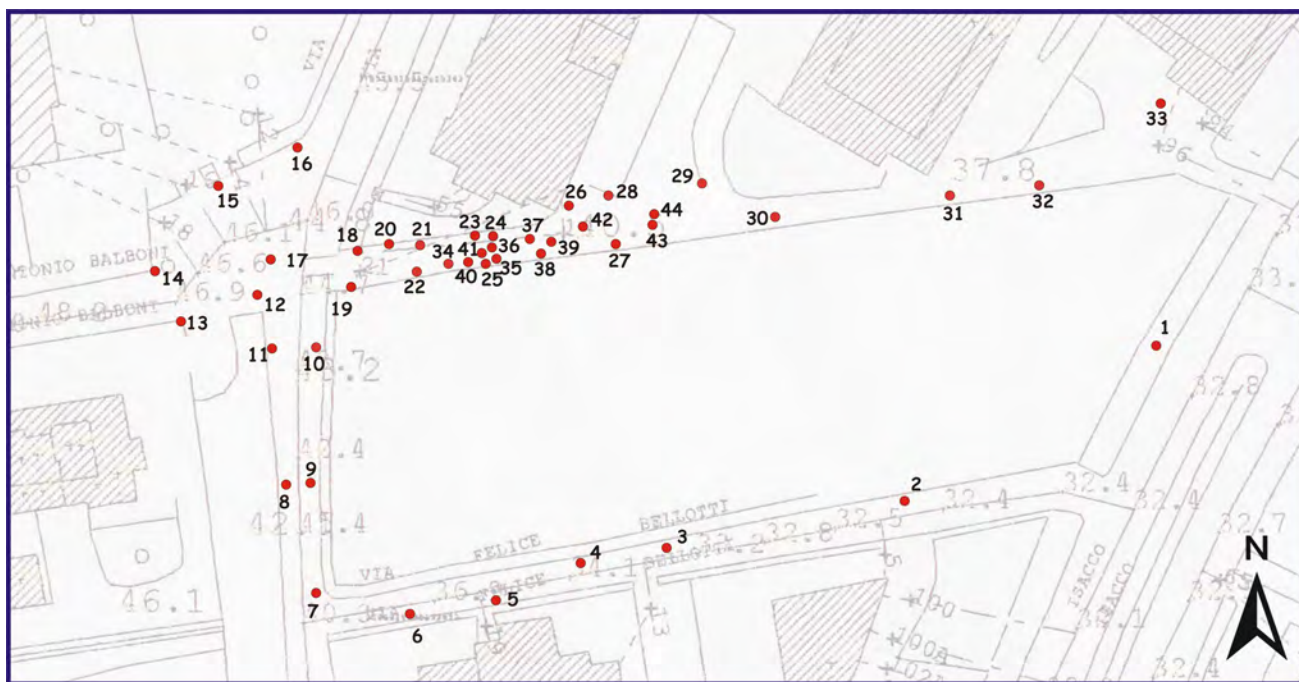


Fig.6 - Ubicazione capisaldi della livellazione.

- planimetric positions of levelling benchmarks.





### 3.2 - LA RETE DI LIVELLAZIONE GEOMETRICA

Il Sistema di Monitoraggio in continuo è stato affiancato da misure di livellazione su 44 capisaldi installati sulle vie circostanti il cantiere dove non è stato possibile installare i prismi per il monitoraggio in continuo (fig. 6).

Sono state condotte 32 campagne di misura con cadenza settimanale secondo le specifiche della livellazione di alta precisione. Alla termine di ogni campagna i dati sono stati elaborati e compensati a minimi quadrati allo scopo di ottenere i valori delle quote dei capisaldi e i relativi scarti quadratici medi, indici della precisione ottenuta dalle misure.

I dati, integrati con quelli della Stazione Totale, hanno consentito di controllare completamente l'evoluzione degli spostamenti indotti dalle operazioni di scavo sulle strutture del parcheggio stesso, sugli edifici circostanti e sul sistema viario prossimo al cantiere.

### 5. - ANALISI DEI DATI

Una prima analisi dei dati registrati ha immediatamente messo in evidenza che il software di elaborazione, a corredo della Stazione Totale, era in grado di correggere le misure dall'effetto prodotto dall'escursioni termiche giornaliere. Il sistema di monitoraggio ha permesso di verificare da subito movimenti di stabilizzazione della paratia, riconducibili alle operazioni di rinterro dello scavo, effettuate nei giorni immediatamente precedenti l'avvio delle misure, per la messa in sicurezza del cantiere.

Una analisi successiva sulla serie temporale più ampia ha tuttavia evidenziato la presenza di una correlazione residua di lungo periodo tra le deformazioni registrate e i dati di temperatura, disponibili anch'essi con cadenza oraria.

La presenza di queste deformazioni non completamente filtrate dal software di elaborazione automatica e imputabili presumibilmente alla dilatazione termica delle strutture, può indurre ad un errore nella stima delle deformazioni prodotte dal dissesto dell'ordine di 1-2 millimetri. Sulla base di queste considerazioni, delle caratteristiche tecnico-strutturali dell'opera realizzata e degli edifici circostanti, unitamente alla Commissione Tecnica del Comune appositamente istituita per seguire l'emergenza, è stata fissata una soglia minima di attenzione della deformazione misurata

ta pari a 10 millimetri.

Dopo un primo periodo di stabilità si è registrata, a partire dal 24 aprile 2002, una ripresa repentina dei movimenti su tutti i punti di controllo posti sulla paratia. L'entità degli spostamenti rilevati ha messo in evidenza una elevata velocità di deformazione in particolare della paratia Nord, che ha dato luogo, in un arco temporale di 4 giorni, a spostamenti complessivi della palificata verso Sud variabili tra 11 e 25 millimetri.

Dopo aver accuratamente verificato l'attendibilità dei dati, sono stati allertati i responsabili comunali comunicando il superamento della soglia di attenzione precedentemente individuata. Gli accertamenti condotti a seguito della segnalazione hanno rilevato la presenza di una notevole quantità d'acqua alle spalle della paratia, dovuta ad una perdita verificatasi da una condotta idrica (fig. 7). Poche ore dopo l'intervento di ripristino della condotta il sistema di monitoraggio ha registrato una diminuzione delle velocità di deformazione che in breve si sono annullate (fig. 8).

Le misure di livellazione effettuate prima e dopo l'evento hanno consentito di verificare cedimenti, variabili tra pochi mm e qualche cm, anche lungo l'asse viario retrostante la paratia e la sua successiva stabilizzazione (fig. 9).

Per quanto riguarda invece gli edifici prossimi al cantiere il sistema ha permesso di verificare la loro sostanziale stabilità per tutto il periodo di osservazione.



Fig.7 - La perdita della condotta idrica verificatasi alle spalle della paratia ha prodotto un innalzamento della falda con conseguente rapido aumento delle deformazioni in atto.

- the loss of the water pipeline positioned behind the piling wall caused a fast increased of the earth deformation.

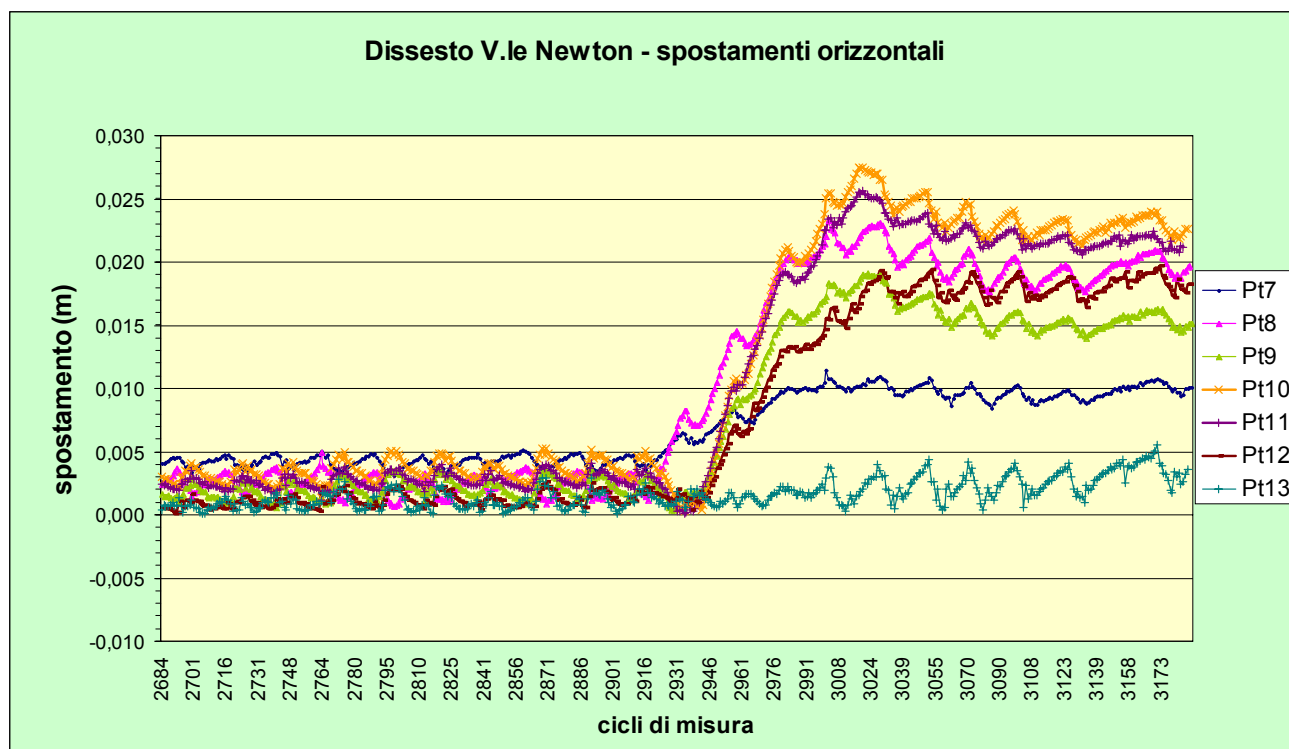


Fig. 8 - Grafico ciclo di misura/spostamento(m): gli interventi effettuati sulla condotta idrica hanno ristabilito le condizioni di equilibrio dopo il 26 aprile.  
 - measure cycle /displacement(m) graphic: the effected interventions on the water pipeline after the April 26 have been reestablished the conditions of equilibrium.

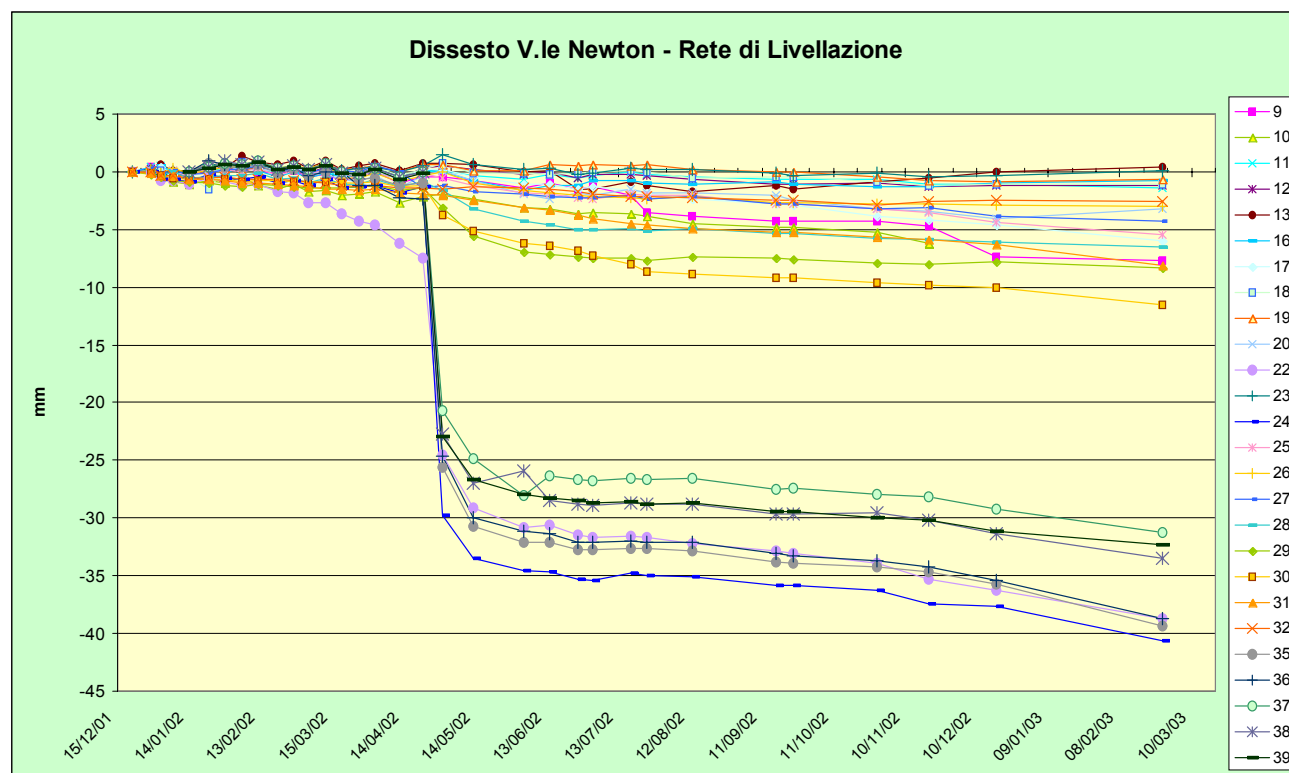


Fig. 9 - Rete di livellazione -grafico spostamento (mm)/tempo: le misure effettuate sui capisaldi della rete di livellazione confermano gli spostamenti avvenuti a seguito della perdita della condotta idrica e il suo successivo ripristino.  
 - levelling network - displacement (mm)/time graphic: the levelling network measures confirm the displacements occurred following the damages of the water pipeline and its successive set up.





## CONCLUSIONI

Il sistema di monitoraggio così progettato e realizzato ha permesso nella prima fase di emergenza di tenere sotto controllo, in assenza di altra strumentazione, l'evoluzione della situazione e l'efficacia dei primi interventi di messa in sicurezza, evitando inoltre l'evacuazione dei fabbricati più a rischio.

E' stato possibile verificare la possibilità di approntare, in condizioni di emergenza, una rete di monitoraggio degli spostamenti superficiali in tempo quasi reale, con controllo remoto, per la gestione delle condizioni di rischio determinate dalla instabilità di pendio.

La precisione millimetrica raggiunta, dovuta

anche alla breve distanza tra la stazione di misura ed i punti di controllo, e la notevole flessibilità e semplicità operativa hanno reso inoltre possibile seguire adeguatamente l'evoluzione del fenomeno e gestirlo in sicurezza.

I sistemi di controllo così predisposti, integrati in reti complessive di monitoraggio conoscitivo, possono essere impiegati anche nelle fasi di studio di un dissesto ed in quelle successive all'emergenza come strumenti per il controllo degli interventi di riduzione della pericolosità. In particolare, per alcune tipologie di instabilità in cui non sussistono le condizioni di intervento strutturale ovvero queste risultano particolarmente gravose, i sistemi di monitoraggio possono costituire essi stessi interventi di mitigazione del rischio.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per il supporto tecnico alla realizzazione e alla gestione della rete: Sig. D. Matarazzo, P.I. C. PULSINELLI, Dott. V. VITALE.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2005) - *Carta Geologica del Comune di Roma*. A cura di R. Funicello e G. Giordano. Vol.1, scala 1:10.000 : formato digitale.
- BONCI L., CALCATERRA S., CESI C., GAMBINO P., GULLÀ G. & NICEFORO D. (2003) - *Rischi geologici in aree urbane: due esempi di monitoraggio in emergenza con "stazione totale"*. Atti 7° Conferenza Nazionale ASITA, pp. 28-31, ottobre 2003, Verona.
- FERRETTI A., PRATI C. & ROCCA F. (2001) - *Permanent Scatterers in SAR Interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS), 39 (1): 8-20.
- GULLÀ G., NICEFORO D., BONCI L., CALCATERRA S., CESI C. & GAMBINO P. (2004) - *Surface movements of a landslide involving weathered and degraded rocks*. 15th Southeast Asian Geotechnical Conference (SEAGC) "Development in Geotechnical Engineering for Practice", November 22-26, Bangkok.
- MARRA F. & ROSA C. (1995) - *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*. In: Servizio Geologico Nazionale (Eds): "La geologia di Roma -Il centro storico-". Mem. Des. Della Carta Geologica d'Italia, L: 49-118, Roma.
- MATTIAS P.P. & VENTRIGLIA V. (1970) - *La regione vulcanica dei monti Sabatini e Cimini*. Mem. Soc. Geo. Ital., 9: 331-384.