

## **Rete GPS di monitoraggio in continuo di edifici e suo inquadramento**

Barbarella Maurizio (\*), Casali Federico (\*\*), Gandolfi Stefano (\*), Ricucci Luciano (\*)

(\*) DICAM – Topografia – Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna  
Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna, tel. +39-051-2093106, fax. +39-051-2093114

(\*\*) ARCES, Università di Bologna

Via Toffano, 2/2 – 40125 Bologna, tel. +39-051-2095400, fax. +39-051-2095410

e-mail: maurizio.barbarella@unibo.it, fcasali@arces.unibo.it, stefano.gandolfi@unibo.it, luciano.ricucci@unibo.it

### **Riassunto**

Nell'estate 2009 è stata realizzata una rete GPS per il controllo in tempo reale di movimenti di tre edifici di un centro abitato dell'Appennino Tosco Emiliano. La strumentazione utilizzata per il monitoraggio si differenzia da quella impiegata in una precedente esperienza nella stessa area per quanto riguarda i ricevitori satellitari, il sistema di trasmissione dati e di calcolo. È stato progettato e realizzato un nuovo sistema modulare per la monumentazione dei punti. Il dato GNSS acquisito consente un monitoraggio dei movimenti relativi sia in tempo reale che a posteriori.; i punti della rete sono inquadrati in una rete di Stazioni Permanenti al fine di individuare eventuali movimenti che potrebbero interessare l'intera area monitorata. Nella nota vengono presentate le problematiche affrontate nell'elaborazione e i primi risultati ottenuti.

### **Abstract**

During summer 2009 a GPS network was installed for real-time movements detection of three buildings in a village located in the Tosco-Emiliano Apennines. The instrumentation used for monitoring is different from that used in previous experiences carried out in the same area, with regard to satellite receivers, data transmission and computing system. A new low-cost modular device for the antenna monumentation was designed. The acquired data permit to dispose of relative movements both in real time and in post-processing; points of the network are framed into a GNSS permanent network. This solution permit the detection of the movements that could be affect the entire monitored area. In this paper data processing problems and some preliminary results are reported.

### **Introduzione**

Il DISTART (attualmente DICAM) dell'Università di Bologna sta svolgendo una sperimentazione volta a valutare le prestazioni e le criticità di sistemi di monitoraggio in continuo tramite ricevitori GNSS collocati su punti materializzati in modo stabile. La ricerca è centrata sugli aspetti tecnici del problema, ma per effettuare la sperimentazione si è comunque scelto un centro abitato soggetto a movimenti lenti di tipo franoso, ubicato nel Comune di Gaggio Montano. I ricevitori satellitari sono stati montati a centramento forzato sulla sommità di edifici pubblici.

La sperimentazione è iniziata con l'impiego di sistemi a basso costo, resi disponibili per un limitato lasso di tempo dalla Ditta SEPA, ed è poi ripresa con la sperimentazione di un sistema più complesso acquistato dal DISTART. Gli apprezzabili risultati ottenuti nella prima sperimentazione hanno infatti indotto a continuare l'esperienza affrontando però le criticità emerse durante la prima e impiegando nuovi strumenti di rilievo e trasmissione dati. Nuove materializzazioni sono state progettate e messe in opera nell'estate del 2009 e il nuovo sistema di monitoraggio è in funzione da settembre.

## 1. Caratteristiche dell'area oggetto di rilievo

La parte più antica del Comune di Gaggio Montano si sviluppa intorno all'ammasso ofiolitico centrale, che risulta essere la zona geologicamente più stabile. La porzione più recente del comune invece si colloca all'interno di due estesi fenomeni franosi attivi che bordano l'ammasso precedentemente citato a Nord e a Sud e si estendono fino a fondo valle. Si tratta di due vasti e complessi sistemi franosi che evolvono da frane per colata di terra nelle zone più elevate, a frane per scivolamento traslativo di terra all'altezza dell'ammasso ofiolitico. Con riferimento alla fig. 1, a Sud del "Sasso di Rocca", sono ben distinguibili diversi accumuli di frana: tre per colata (1S, 2S, 3S) che si sovrappongono a uno per scivolamento di terra (Sciv. S); quest'ultima è stata classificata come una frana per scivolamento rototraslativo di terra, con una lunghezza di più di 1 km e una larghezza media di 300 m. La frana che caratterizza il versante a Nord dell'ammasso ofiolitico, è anch'essa costituita da varie lingue che si sovrappongono fra loro. In questo caso si possono distinguere quattro movimenti franosi: tre per colata (1N, 2N, 3N) che si sovrappongono in parte ad uno per scivolamento di terra (Sciv. N). Poiché sull'area potenziale di frana sono presenti parte del centro residenziale e artigianale del paese di Gaggio sono stati realizzati negli anni diversi studi di tipo geologico che hanno portato alla messa in opera di un elevato numero di inclinometri, unitamente ad una rete di livellazione per il controllo altimetrico. Parallelamente alla realizzazione della piccola rete di monitoraggio GPS si è cercato di recuperare i dati disponibili da questi strumenti, in modo da realizzare in prospettiva un Data Base dei dati metrici, al fine di evitare la loro dispersione e offrire agli analisti un insieme completo sul quale effettuare valutazioni geologiche.

### 1.1. Informazioni derivate dagli inclinometri

Nell'abitato o in prossimità di esso sono state svolte 5 campagne di indagini geognostiche, tra il 1988 e il 2004. I risultati delle campagne di rilievo inclinometrico, in termini di risultante e direzione dello spostamento, sono riportati nella carta di fig.1.

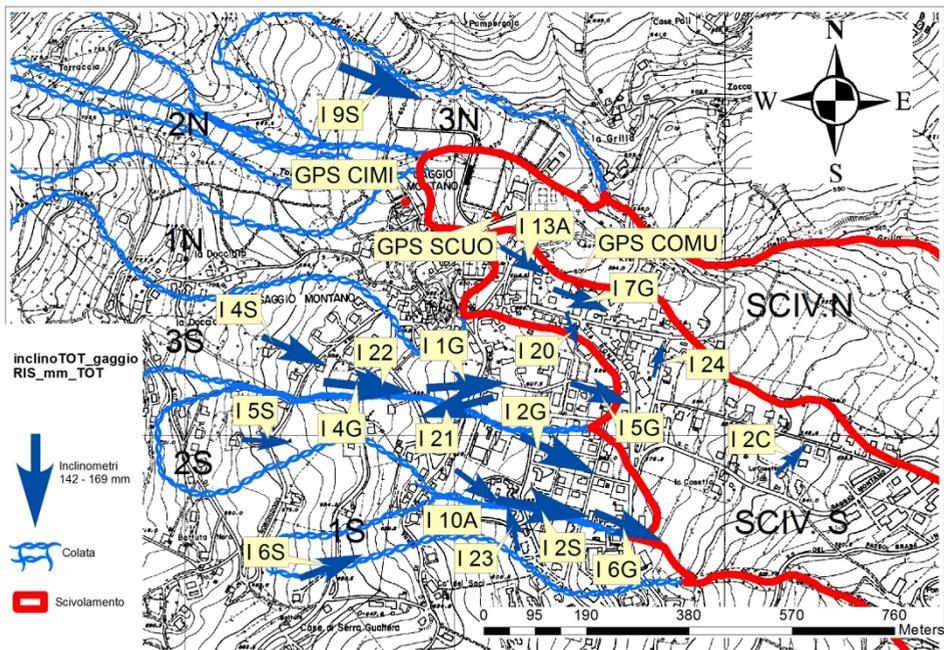


Figura 1 – Schema dei fenomeni franosi, ubicazione dei sensori GPS e degli inclinometri.

Sono riportate per chiarezza le posizioni dei sensori GPS attualmente installati (Maggio ,2010). Dall'analisi dei dati inclinometrici, a meno di singoli casi isolati dovuti alla presenza di trincee drenanti, è visibile un generale spostamento in direzione E - SE, che segue la direzione di massima pendenza del versante in quel punto. Si pone l'attenzione sul tubo 7G, posizionato ad una decina di metri dall'edificio del Comune sul quale è sistemato una stazione di monitoraggio GPS, che ha registrato dei movimenti di circa 7 cm in 13 anni. Mentre il monitoraggio GPS locale fornisce movimenti relativi tra i vari sensori, l'inclinometro fornisce dati "assoluti", che è interessante confrontare con i movimenti dei sensori GPS rispetto Stazioni Permanenti lontane, come esposto successivamente.

## 2. Sperimentazione in atto

Una prima sperimentazione è stata effettuata dal DISTART utilizzando strumentazione a basso costo per valutare operativamente la fattibilità e l'affidabilità di un sistema di monitoraggio in tempo reale GPS controllabile a distanza (Barbarella, Gandolfi, 2008).

La strumentazione è stata individuata in un sistema della SEPA, basato su ricevitori GPS mono frequenza di basso costo e unità di trasmissione punto-punto costituita da radio modem. La stazione base aveva un controller di rete per l'acquisizione dati GPS via radio link dai ricevitori periferici e un computer per l'esecuzione del programma di gestione e per la memorizzazione dei dati per l'eventuale post processamento o archiviazione. Il sistema prevedeva l'elaborazione delle basi fra il punto di controllo e la stazione base in tempo reale.

La prima sperimentazione durata quattro mesi ha permesso di evidenziare alcune caratteristiche di sistemi di questo tipo, quali la grande quantità di dati derivante da una alta frequenza di acquisizione, l'alto rumore presente nel segnale, la necessità di individuare una corretta strategia di eliminazione degli outliers di elevata entità, la presenza di sistematismi, in parte legati al contesto operativo nel quale è stata volutamente realizzata la sperimentazione, come pure problemi di stabilità dovuti a materializzazioni non sufficientemente curate.

La sperimentazione è ripresa nel 2009 con una parziale riprogettazione della rete, in cui si è tenuto conto degli aspetti critici individuati e con la volontà di sperimentare nuovi strumenti. Gli edifici da sottoporre a controllo sono gli stessi (attualmente è in corso la realizzazione di un quarto punto) ma sono state realizzate nuove materializzazioni. I ricevitori e il sistema di monitoraggio sono stati acquistati dalla ditta Leica. Si è anche affrontato il problema dell'inquadramento della rete in un contesto esterno che consentisse il controllo di eventuali movimenti d'insieme.

### 2.1. Materializzazioni

Per ovviare ai problemi di stabilità del sistema di fissaggio ed elevazione delle antenne, che si sono manifestati nella prima sperimentazione, sono stati realizzati dei supporti studiati appositamente per questo tipo di applicazioni che rispondessero alle seguenti caratteristiche:

- modularità, per potersi adattare alle diverse situazioni reali;
- rigidità della struttura
- resistenza alla corrosione
- peso contenuto
- economicità

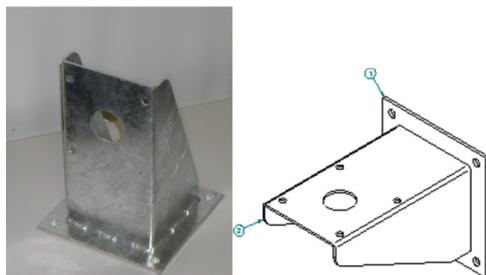


Figura 2 – Modulo per installazione a muro.

Il sistema di installazione delle antenne è pensato per rispondere ad esigenze contrapposte: deve essere sufficientemente rigido per impedire il movimento derivante da sollecitazioni (ad es. vento) che falserebbero le misure, ma deve anche essere leggero e permettere una buona elevazione per

avere visibilità dell'antenna rispetto agli ostacoli circostanti. E' stato progettato un sistema composto da 6 moduli (vedi esempio fig. 2), che possono essere assemblati a seconda delle necessità di installazione per aumentare l'altezza e il braccio del supporto. Il dimensionamento della struttura è stato realizzato quantificando le flessioni massime derivanti da simulazione tramite calcolo agli elementi finiti sulla struttura, cercando di evitare un sovradimensionamento che avrebbe comportato un aumento considerevole del peso e conseguenti difficoltà di installazione, trasporto e sollecitazione della zona di ancoraggio (Fig.3).

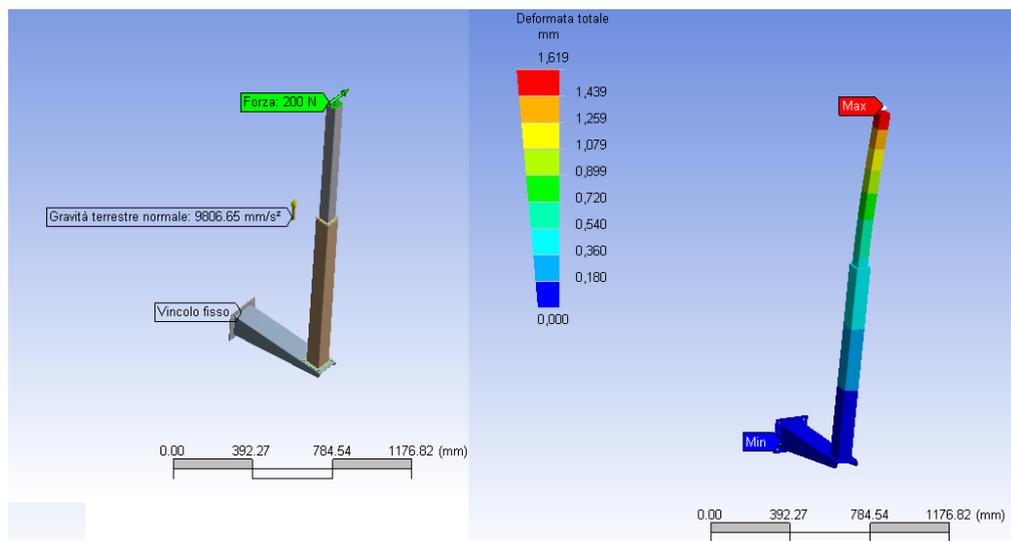


Figura 3 – Deformazioni della struttura da prova di carico a flessione.

Per risolvere i problemi di corrosione dovuti all'installazione esterna si è optato per una struttura in ferro zincato che permette di contenere i costi rispetto all'acciaio inossidabile a fronte di una maggiore complessità realizzativa. Da una stima di massima risulta, per una installazione tipica composta da 3 moduli, un costo complessivo pari a circa 200 euro, escluso il montaggio.

## 2.2. Strumentazione

La struttura della rete prevede tre punti dislocati sul territorio del Comune di Gaggio: la sede del Comune (COMU), che funge da punto di riferimento e centro di controllo locale per il sistema di monitoraggio; la scuola media (SCUO), il Cimitero (CIMI). Come si vede in fig. 1 la interdistanza tra i siti è assai limitata, nell'ordine di 200-300 metri. La collocazione dei punti riflette la scelta, fatta insieme all'autorità locale, di monitorare edifici di pubblica utilità.

Al Comune è installato un ricevitore Leica System1200 (GPS+GLONASS) doppia frequenza con memoria, un GMX901 nella Scuola e un Leica GMX902GG (GPS+GLONASS) al Cimitero.

Dato che la distanza fra i due punti di monitoraggio e la stazione master è assai modesta sarebbe opportuno usare ricevitori mono frequenza, come fatto nella prima sperimentazione. Per il sito CIMI si è scelto tuttavia di adottare una soluzione che permetta di confrontare i risultati con quelli ottenibili con altri software scientifici che richiedono necessariamente o di preferenza la presenza del dato L2. Si osserva che la mancanza di memoria locale fa perdere definitivamente il dato acquisito in caso di interruzione della comunicazione.

La comunicazione tra i punti è affidata, tramite sistema wireless, ad una rete locale WLAN. Tale sistema necessita di una corretta installazione, in particolare è fondamentale la buona orientazione tra antenna trasmittente e ricevente. Il limite del sistema attuale è rappresentato dall'incapacità di

superare ostacoli fisici: le trasmissioni radio ad alta frequenza richiedono infatti che il percorso tra le due antenne sia libero da ostacoli. Per successive installazioni si stanno valutando differenti soluzioni, tra cui sistemi GPRS. Per ogni ricevitore e modem è previsto un alloggiamento con armadio (grado di protezione IP66) che comprende all'interno una batteria tampone e la predisposizione per l'alimentazione tramite pannelli solari.

I 3 ricevitori forniscono in uscita dati originali in formato binario Leica (MDB) che vengono gestiti con software proprietario Leica GPS Spider opzione Positioning Site, installato sulla macchina presente al Municipio. Il software provvede ad elaborare le basi tra i ricevitori e può fornire i seguenti prodotti, per la cui analisi si rimanda al paragrafo 4:

- Risultato di precisione in post processing a varie finestre temporali;
- Elaborazione real time delle coordinate dei punti in vari formati di trasmissione;
- File in formato Rinex per il post processing.

Il numero di prodotti che è possibile generare è in relazione ad un sistema doppio di licenze, legato sia al singolo "File Product" che al numero di siti presenti. Nella fattispecie il DISTART ha dovuto procedere all'acquisto delle licenze necessarie alla completa gestione dei dati provenienti dai 3 ricevitori, più un certo numero di licenze ulteriori in previsione di futuri ampliamenti della rete.

### **2.3. Inquadramento**

Gli edifici controllati sono generalmente collocati a breve distanza nel caso del monitoraggio di un piccolo centro abitato. In questi contesti è difficile, o comunque dubbio, che un ricevitore possa essere collocato in un punto stabile a meno di individuare una qualche struttura lontana non affetta dal fenomeno da studiare: inoltre sarebbe necessario più di un punto in zona stabile, in modo da poter effettuare un controllo affidabile. Questo però comporta un impegno e un investimento notevole, nel nostro contesto significherebbe il raddoppio dei punti strumentati, restando sempre tre gli edifici monitorati.

Si è preferito realizzare un controllo multiplo dei siti rispetto a una rete esterna di punti molto lontani: un punto controllato (quello del Comune) è stato realizzato in modo da poter essere inserito in una Rete regionale di stazioni permanenti NRTK e in tal modo il sito può venire ricalcolato con continuità dal sistema di gestione della Rete. Dal punto di vista pratico occorre che il sito sia dotato di un ricevitore di tipo geodetico doppia frequenza e che sia collegato in rete internet col centro di calcolo della Rete NRTK.

### **2.4. Acquisizioni**

La fase di messa a punto dell'installazione e di test ha comportato necessariamente interruzioni prolungate e ripetute delle acquisizioni e il sistema fornisce con regolarità i dati dall'autunno 2009. Successivamente si sono comunque manifestate saltuarie interruzioni nel segnale, dovute principalmente a disturbi nella trasmissione wireless, fortunatamente piuttosto brevi da non compromettere la sostanziale continuità del dato. Tuttavia alcuni aggiustamenti, quali variazioni di settaggi, disponibilità di un nuovo certificato di calibrazione, prove sul sistema, hanno prodotto discontinuità nelle serie temporali acquisite, al di là delle interruzioni ricordate. Per ricomporre le serie è stato effettuato un ricalcolo dei dati acquisiti fino a maggio 2010, per cui nel seguito si distingue tra due blocchi di dati:

- Blocco I: serie ricalcolata (vedi paragrafo successivo), anteriore al 15 maggio 2010
- Blocco II: serie attualmente in acquisizione, dal 27 maggio al 24 agosto 2010.

## **3. Risultati**

Per valutare al meglio i movimenti, i dati di fase sono stati archiviati in file formato rinex e sono stati elaborati in post-processamento tramite il software Spider del sistema. Il calcolo fornisce le coordinate dei punti CIMI e SCUO una volta fissate una tantum le coordinate di COMU assunto arbitrariamente come riferimento.

I dati sono stati aggregati in spezzoni di varia durata: 1 ora, 6 ore, 1 giorno. Le interruzioni di comunicazioni sono state sufficientemente brevi da non inibire sostanzialmente la formazione degli spezzoni ‘orari’ che però possono contenere quantità di dati inferiori ai 3600 secondi possibili.

È stato eseguito il post processamento dei dati organizzati secondo le tre diverse durate e come prevedibile la dispersione dei file orari è risultata sensibilmente maggiore: in fig. 4 sono posti a confronto le soluzioni che si ottengono nei tre casi su una decina di giorni per una coordinata (Nord UTM).

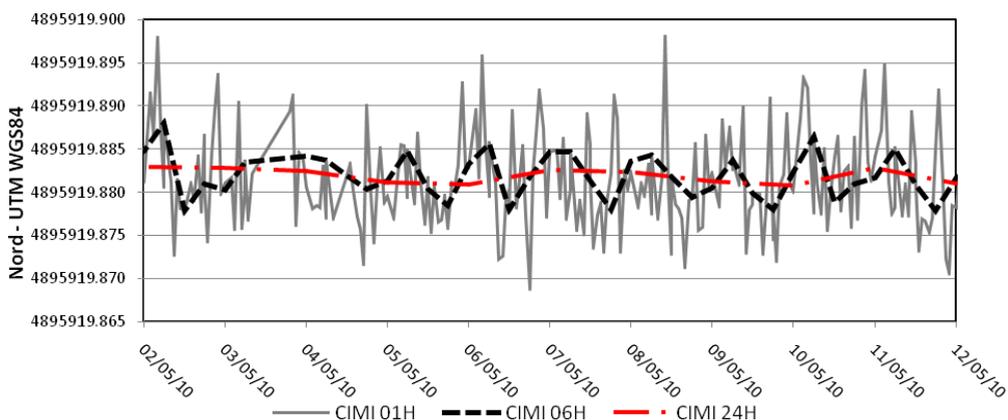


Figura 4 – Andamento della soluzione post processing, componente Nord a 1, 6, 24 ore.

La messa a punto del sistema ha portato a varie modifiche dei valori delle grandezze di corredo necessarie al buon funzionamento, in particolare si sono modificate le coordinate di riferimento iniziali usate nella prima fase ed è stato inserito il certificato di calibrazione specifico per l’antenna “LEIGMX901” che la Leica ha reso disponibile da una certa data. Tutti questi interventi implicano dei salti nelle serie temporali. Per eliminare queste discontinuità si è deciso di ricalcolare i dati pregressi assegnando i parametri ancillari definitivi usati a regime.

Il ricalcolo deve essere effettuato su una specifica installazione di Spider e su una macchina dedicata, essendo preferibile non eseguire il riprocessamento di rinex su un software Spider già in acquisizione. Il ricalcolo richiede quindi una ulteriore chiave che non è stata nelle disponibilità del DISTART, per cui la Leica si è gentilmente prestata ad effettuare tale calcolo, adottando gli stessi parametri imposti a regime alla installazione di campagna, allo scopo di unificare l’impiego di tali parametri su tutto lo spezzone di dati acquisiti.

L’apprezzabile lavoro eseguito da Leica ha consentito di ricomporre la serie temporale da novembre 2009 a maggio 2010 ma tuttavia rimane una discontinuità, con lo spezzone successivo, la cui origine non è stata ancora individuata.

### 3.1. Considerazioni sui dati di posizione calcolati

Il dato principale di interesse è la valutazione dei movimenti relativi tra i punti, in una situazione che dagli studi geologici sappiamo essere di dinamica lenta. A questo scopo sono stati calcolati gli andamenti individuando la retta interpolante i dati delle serie temporali in modo da quantificarne la pendenza e la sua significatività tralasciando eventuali studi su effetti stagionali. Una prima valutazione ha riguardato il confronto tra le serie temporali dei movimenti relativi giornalieri con quelli orari: in fig. 5 si riportano i risultati ottenuti, che indicano da un lato valori di pendenze significativi per quasi tutte le componenti (tranne che per la variazione di dislivello scuola-comune) e dall’altro mostrano la piena equivalenza, ai fini della individuazione del trend, delle serie

giornaliere piuttosto che orarie. Tali considerazioni sono state effettuate sui dati del blocco I (lo spezzone ricalcolato).

		24h		01h		Differenze	
	(mm/anno)	m	s <sub>m</sub>	m	s <sub>m</sub>	Δm	s <sub>Δm</sub>
CIMI	Est	-1.8	0.6	-1.4	0.4	0.4	0.8
	Nord	5.3	0.6	4.0	0.6	-1.3	0.8
	Up	4.3	1.4	3.5	0.9	-0.9	1.7
SCUO	Est	-4.2	0.3	-4.1	0.1	0.1	0.3
	Nord	1.2	0.3	1.1	0.2	0.0	0.3
	Up	1.4	1.6	1.1	0.5	-0.3	1.7

Figura 5 – Valori di pendenza *m* e relativo s.q.m. (*s<sub>m</sub>*) per le rette di regressione serie I e 24 ore.

Per SCUO i risultati sono praticamente identici, mentre per CIMI ci sono differenze, ma non significative alla luce delle indeterminazioni associate.

### 3.2. Valutazione degli offset delle serie temporali

Un secondo controllo è stato effettuato, questa volta sui soli dati giornalieri, tra le serie del Blocco I (ricalcolato, 6 mesi circa) e II ( in acquisizione, attualmente tre mesi circa di dati). I valori ottenuti per le pendenze delle rette interpolanti i due spezzoni sono riportati in fig. 6

		Blocco I		Blocco II		Differenze		
	(mm/anno)	m	s <sub>m</sub>	m	s <sub>m</sub>	Δm	s <sub>Δm</sub>	Δm/s <sub>Δm</sub>
CIMI	<b>Est</b>	-1.8	0.6	-0.7	1.4	1.1	1.5	0.7
	<b>Nord</b>	5.3	0.6	2.9	1.4	-2.5	1.5	-1.6
	<b>Up</b>	4.3	1.4	-4.1	3.2	-8.5	3.5	-2.4
SCUO	<b>Est</b>	-4.2	0.3	0.7	0.3	4.9	0.4	<b>10.9</b>
	<b>Nord</b>	1.2	0.3	3.5	0.3	2.3	0.5	<b>5.1</b>
	<b>Up</b>	1.4	1.6	0.3	1.3	-1.1	2.1	-0.5

Figura 6 – Valori di pendenza e relativo s.q.m. (*s<sub>m</sub>*) per le rette di regressione dei blocchi I e II.

Si nota che i dati di CIMI sono più dispersi soprattutto nel blocco II e forse per questo le differenze tra i due blocchi non sembrano significative; per la quota di CIMI si arriva ad avere l’inversione della pendenza, ma associata a forti indeterminazioni. Per SCUO viceversa le indeterminazioni sono più basse e identiche nei due blocchi, ma i valori delle pendenze delle rette sono significativamente differenti. Occorrerà verificare col procedere delle acquisizioni se questi effetti si confermano.

La valutazione dell’entità della discontinuità tra i due spezzoni di dati è stata per il momento calcolata semplicemente estrapolando le rette ad una data intermedia (21 maggio, progressivo 189) e calcolandone la differenza:

$$\delta\hat{x}(t_0) = \hat{x}_{II}(t_0) - \hat{x}_I(t_0) = \hat{m}_{II} t_0 + \hat{q}_{II} - (\hat{m}_I t_0 + \hat{q}_I) \quad [1]$$

con *x* ≡ est, nord, up e *t*<sub>0</sub> = 21 maggio 2010.

La indeterminazione che può essere associata al valore estrapolato al tempo *t*<sub>0</sub> e alla discontinuità si ottengono facilmente tramite propagazione della varianza:

$$\sigma_{\hat{x}_s(t_0)} = \sqrt{\sigma_{\hat{m}_s}^2 t_0^2 + 2\sigma_{\hat{m}_s \hat{q}_s} t_0 + \sigma_{\hat{q}_s}^2} \quad , \quad i \equiv I, II \quad [2]$$

$$\sigma_{\delta\hat{x}(t_0)} = \sqrt{t_0^2 (\sigma_{\hat{m}_I}^2 + \sigma_{\hat{m}_{II}}^2) + 2 t_0 (\sigma_{\hat{m}_I \hat{q}_I} + \sigma_{\hat{m}_I \hat{q}_{II}}) + \sigma_{\hat{q}_I}^2 + \sigma_{\hat{q}_{II}}^2} \quad [3]$$

In attesa di comprendere la causa del “salto”, la continuità calcolata consente di effettuare una prima ricomposizione in un’unica serie temporale. In fig. 7 vengono riportati i valori calcolati ed in fig. 8 si riporta un esempio di tale ricomposizione

Una volta ottenute le serie unificate, comprensive di 6+3 mesi di dati è possibile calcolarne la regressione lineare su tutto il periodo di acquisizione

	CIMI			SCUOLA		
(mm)	Est	Nord	Up	Est	Nord	Up
$\delta$	2,9	-9,3	45,2	1,2	-9,1	30,4
$\sigma_{\delta}$	1,2	1,2	2,8	0,3	0,3	1,5

Figura 7 – Stima delle discontinuità presenti tra le due serie temporali e loro indeterminazione.

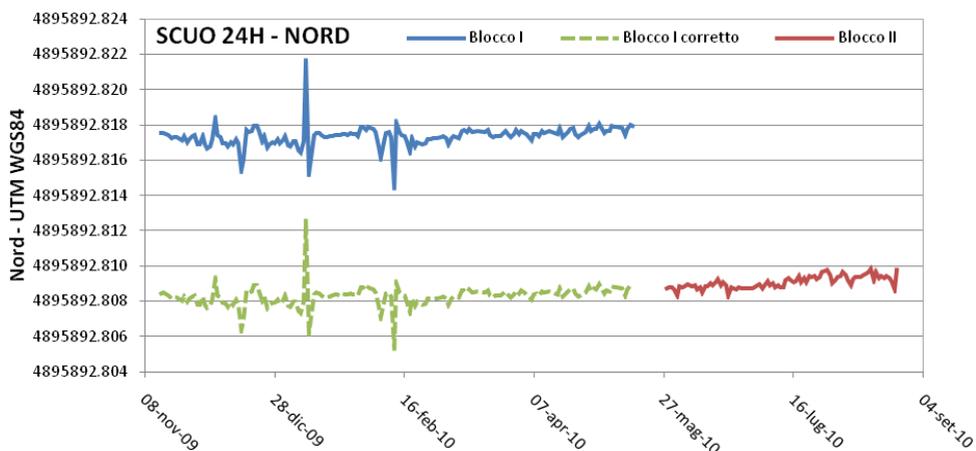


Figura 8 – Ricomposizione delle serie temporali Blocco I e II, componente N sito SCUO.

#### 4. Stima dei movimenti relativi e assoluti tramite Rete di Stazioni Permanenti

Il trend delle variazioni di posizione relativa CIMI – COMU e SCUOLA - COMU è quindi dedotto dalle pendenze delle rette di regressione ricostruite. Come mostrano le prime due righe della tabella di fig. 9 i movimenti relativi sono assai modesti ma la bassa indeterminazione che può essere ad essi associata li rende significativi, almeno per le componenti planimetriche:

Velocità rispetto COMU (mm/anno)				
	Est	Nord	Up	
SCUO	-2.9 ± 0.1	+1.8 ± 0.1	+2.0 ± 0.7	Spider/monitoraggio
CIMI	-1.5 ± 0.3	+4.8 ± 0.3	+1.1 ± 0.7	Spider/monitoraggio
CIMI	-0.7 ± 0.4	+3.3 ± 0.5	+2.7 ± 1.2	Rete Staz.Perm-Gamit.

Figura 9 – Spostamenti relativi dei siti.

Per come è stato progettato il rilievo è possibile determinare anche per altra via i movimenti per i due siti dotati di ricevitori doppia frequenza. La posizione di COMU e CIMI è stata calcolata in blocco assieme a quella di una dozzina di siti (ubicati a grandi distanze in Italia e ai confini), normalmente usati dal DISTART per inquadrare Reti di Stazioni Permanenti. Questo calcolo, che per brevità non si descrive nei particolari, è stato eseguito fino ad ora col software GAMIT e ha consentito la determinazione dei movimenti delle stazioni e quindi una valutazione “indipendente”

(stessi dati, differente software) dei movimenti relativi tra i due punti, che sono riportati nella terza riga della precedente tabella.

Il calcolo in rete consente di ottenere anche i movimenti “assoluti” dei punti COMU e CIMI tanto nel frame ITRF05 che al netto dei movimenti della placca eurasiatica, così come definiti da EUREF, che sono risultati pari a:

Velocità nei frame ITRF05 e ETRF00 (mm/anno)				
	Est	Nord	Up	
<b>CIMI</b>	23.5 ± 0.4	19.3 ± 0.4	4.1 ± 1.0	ITRF05
<b>COMU</b>	24.1 ± 0.2	16.1 ± 0.2	1.5 ± 0.6	ITRF05
<b>CIMI</b>	2.3 ± 0.4	3.8 ± 0.4	3.2 ± 1.0	ETRF00
<b>COMU</b>	3.0 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.6	ETRF00.
<b>COMU</b>	4.1	-1.8	----	Inclinometro

Figura 10 – Spostamenti “assoluti” dei siti.

Un ulteriore riferimento “assoluto” si ha dai rilievi inclinometrici del tubo 7G posizionato in prossimità della stazione COMU. Nel periodo maggio 2009 – aprile 2010 le componenti di spostamento registrate risultano essere quelle dell’ultima riga della tabella di Fig. 10.

Si riportano in fig. 11 i movimenti ipotizzati per i punti CIMI, SCUO e COMU, ottenuti integrando il dato dedotto dal monitoraggio GPS “relativo” con i valori “assoluti” ottenuti dall’elaborazione con software GAMIT. Questi sono i primi risultati, che dovranno essere verificati alla luce di ulteriori approfondimenti.

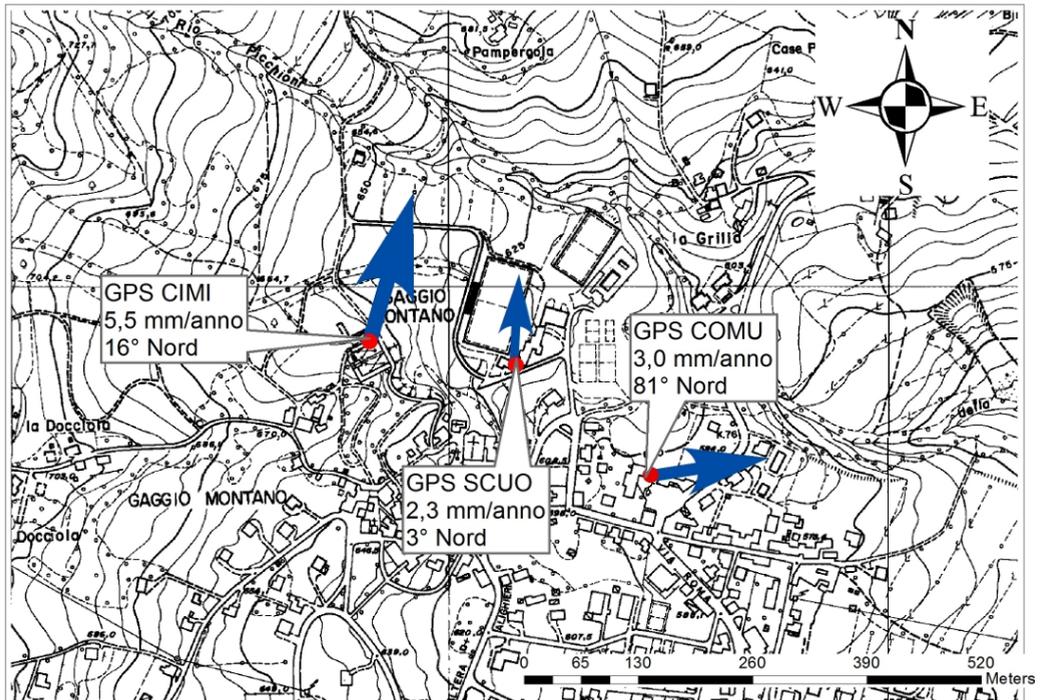


Figura 11 – Movimenti assoluti per i punti monitorati COMU, CIMI, SCUO.

## 5. Conclusioni

Il monitoraggio di dissesti tramite l'utilizzo di rilievi satellitari può essere eseguito con strumentazioni a diverso livello di complessità, e i fattori critici principali rimangono la stabilità della materializzazione e la continuità della trasmissione del dato dai siti monitorati al centro di acquisizione e elaborazione locale. Mentre i sensori GPS anche economici appaiono del tutto adeguati alla esigenza, la complessità del software di monitoraggio è da un lato garanzia di un accurato calcolo ma richiede settaggi la cui variazione introduce discontinuità nelle serie temporali acquisite, alle quali è tuttavia agevole ovviare.

Per la valutazione di movimenti su tempi lunghi l'analisi delle serie temporali acquisite, post processate su file giornalieri (o su spezzoni temporali più brevi), fornisce valori di trend ai quali è risultato associato uno s.q.m. dell'ordine di un mm, per cui potrebbero essere apprezzati pochi mm. Nella sperimentazione in atto la breve durata e il movimento lento del versante ha portato movimenti relativi tra i punti monitorati vicini di pochi mm che tuttavia appaiono significativi per un punto.

Lo studio del movimento assoluto può essere realizzato inserendo almeno uno dei punti della rete locale (equipaggiato con un ricevitore geodetico a doppia frequenza) in una Rete di Stazioni Permanenti. Nella sperimentazione in oggetto è stato possibile stimare la posizione nei frame ITRF05 e ETRF00 e dunque realizzare un controllo per questa via del movimento assoluto dei punti. Un'ulteriore verifica dei movimenti assoluti in atto può essere realizzata tramite l'analisi di dati inclinometrici, in quanto uno dei vari inclinometri monumentati è collocato a brevissima distanza da un punto monitorato con GPS.

## 6. Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare quanti hanno collaborato alla realizzazione della sperimentazione in particolare il Comune di Gaggio Montano nelle persone del Sindaco e del geom. Sonori responsabile dell'Ufficio Tecnico, il personale Leica in particolare Dott.ssa Piantelli, la Dott.ssa Bernardi del Servizio Tecnico di Bacino del Reno, la Dott.ssa Borgatti del DICAM Università di Bologna e l'Ing. Paolo Maggio.

La ricerca è stata resa possibile dai finanziamenti MIUR (PRIN 2007).

## 7. Riferimenti bibliografici

Barbarella M., Gandolfi S. (2008), " Monitoraggio GPS in Real Time di edifici con strumenti basso costo ", Bollettino SIFET n.2/2008.

Bonanno C., Lapini M., Magnani M., Meroni M., Piantelli E., 2007

Landslide monitoring system based on integrated automatic total station and GPS  
Dalla Terra e dal Satellite, Ancona - 02 Ottobre 2007

Bonanno C., Lapini M., Magnani M., Piantelli E., 2007

Landslide monitoring system based on integrated automatic total station and GPS  
Geoitalia 2007, Rimini, 12/14 Settembre 2007

Piras M., Roggero M., 2007 Monitoring Of Land Deformation Using GNSS  
4<sup>o</sup> Annual Meeting – Bangkok - 30 July – 4 August 2007

Maggio P. 2010: "Sistemi GNSS e tradizionali per il monitoraggio: studio della frana di Gaggio Montano" Tesi di Laurea

Biavati G. 2005: "Analisi empiriche e numeriche per la valutazione dell'efficacia di sistemi drenanti in versanti argillosi" Tesi di Dottorato

Saloni R. 2004: "La frana di Gaggio Montano" Tesi di Laurea