

1

F. Catani • M. Fiani

LA DEFORMAZIONE GRAVITATIVA PROFONDA DEL MONTE PENNA (LA VERNA): PRIMI RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO MEDIANTE GPS

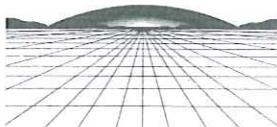
Estratto da:

1
1995

QUADERNI DI TECNICHE
DI PROTEZIONE AMBIENTALE



Gruppo Nazionale di Geologia Applicata
**IV Convegno Nazionale
dei Giovani Ricercatori**



Riccione, 18-21 Ottobre 1994

**CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEI
TERRENI E DEGLI AMMASSI ROCCIOSI**

**FENOMENI FRANOSI: INDAGINI,
MONITORAGGIO, ANALISI E MODELLAZIONE**

**FENOMENI FRANOSI: CARTOGRAFIA
GEOMORFOLOGICA, VALUTAZIONE DELLA
PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO**

**DINAMICA FLUVIALE
ED EVOLUZIONE DEI LITORALI**

Vol. 1



IV Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata

LA DEFORMAZIONE GRAVITATIVA PROFONDA DEL MONTE PENNA (LA VERNA): PRIMI RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO MEDIANTE GPS

Filippo CATANI - Università degli Studi di Firenze, Dip. di Scienze della Terra

Margherita FIANI - Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dip. Idraulica, Trasporti e Strade - Topografia

RIASSUNTO: Numerosi studi geologici effettuati nell'area del monte della Verna hanno evidenziato fenomeni franosi che possono essere compresi tra le deformazioni gravitative profonde di versante. Allo scopo di verificare l'effettiva presenza di tali movimenti è stata istituita una rete di punti da rilevare periodicamente con tecnica GPS (*Global Positioning System*). In questa nota si presentano i primi risultati ottenuti nelle due campagne di misura effettuate.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-STORICO

Il monte della Verna fa parte della catena appenninica settentrionale al confine tra la Toscana, le Marche e l'Emilia Romagna, sul bordo orientale del Casentino, nel comune di Chiusi della Verna (AR). La montagna culmina nella cima del M.Penna, alto 1283 metri ed ospita sul lato ovest il famoso santuario francescano omonimo. Numerose notizie relative a vari dissesti intervenuti nei tempi passati alla struttura ed ai dintorni rocciosi di questa sono conservate negli archivi storici del santuario, a conferma della situazione di instabilità della quale ha sempre sofferto l'intera montagna.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area presa in considerazione si trova al bordo delle Unità Toscane, non lontano da dove queste sono a contatto tettonico di sovrascorrimento con quelle Umbro-Marchigiane, e comprende in sintesi la sovrapposizione di formazioni di età epiligure costituenti la placca della Verna sulle Unità Liguri, rappresentate essenzialmente dalla formazione di M.Morello e da quella di Sillano che costituisce la base della placca stessa (Fig. 1). La formazione di Sillano risulta costituita essenzialmente da marne argillose ed argilliti marnose fissili grigio-brune, con intercalazione locale di argilliti varicolori, calcari ed arenarie calcaree di età variabile dal Cretaceo superiore all'Eocene inferiore.

Le rocce costituenti la montagna vera e propria, poggianti sulla formazione ad assetto caotico ora menzionata, mostrano rispetto ad essa un netto contrasto di competenza, essendo descrivibili in generale come successioni calcarenitiche o arenacee. Più precisamente possiamo distinguere sul massiccio della Verna la presenza della formazione di S.Marino-La Verna (Langhiano-Serravalliano Inf.) costituita da una successione di calcareniti bioclastiche e della formazione del M.Fumaiolo (Serravalliano p.p.), con composizione prevalentemente arenacea. La placca lapidea del massiccio è costituita esclusivamente da terreni appartenenti a queste due formazioni e presenta una struttura a monoclinale inclinata di circa 25-30°, con immersione verso ESE. Le zone limitrofe, dove affiorano invece terreni *liguri*, sono caratterizzate da una morfologia più dolce e dalla presenza di una serie di cinque grandi colate detritiche, aventi andamento radiale centrifugo rispetto alla Verna. I materiali coinvolti sono quelli a comportamento plastico-viscoso del Sillano, essenzialmente argilliti limose e limi argillosi accompagnati da detriti e blocchi provenienti dalla placca. Le colate, ora inattive ma interessate da rimobilizzazioni locali dovute all'effetto della presenza d'acqua, basano il loro movimento su di un meccanismo tipo scorrimento basale e laterale, controllato dalla resistenza residua delle argilliti, per elevati valori della pressione neutra (CANUTI *et alii*, 1993).

I movimenti che avvengono nella formazione basale di Sillano assumono un'importanza decisiva nei confronti dei fenomeni di dissesto della Verna quando riguardano le zone ai margini della placca litoide del massiccio calcarenitico. Per l'interazione tra substrato argillitico e sovrastante monoclinale a comportamento rigido abbiamo la presenza di crolli di blocchi aggettanti, scorrimenti planari e di cunei, ribaltamenti diretti, di flessura e secondari, espansione laterale (BERTOCCI *et alii*, 1991; BERTOCCI & CASAGLI, 1992).

Le principali serie di fratture presenti all'interno della placca hanno orientazione N-S (284/81°) e WNW-ESE (194/87°), con la presenza di due sistemi subordinati 355/83° e 244/81°. La presenza di questi piani preferenziali determina la scarsa diffusione degli scorrimenti planari e di cunei, così come invece favorisce il ribaltamento di flessura nei versanti N ed E e quello diretto nei casi in cui la stratificazione è a franapoggio poco inclinato e le fratture sono a reggipoggio ad angolo elevato.

L'effetto complessivo dell'unione e della interazione tra tutti questi effetti è quello di dar luogo ad un fenomeno franoso estremamente complesso che per le sue caratteristiche può essere annoverato tra le deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV): la presenza di zone di rigonfiamento intorno alle scarpate e di movimenti orizzontali all'interno della placca confermano infatti la presenza di deformazioni lente profonde, dovute all'espansione laterale dei blocchi posti sul substrato plastico viscoso argillitico.

Ricordiamo che le principali caratteristiche distintive delle DGPV sono solitamente le grandi dimensioni areali e i notevoli spessori delle masse interessate, l'evoluzione lenta nel tempo, la persistenza nel tempo delle condizioni di instabilità con fasi quiescenti e fasi di veloce riattivazione, la presenza di fenomeni denotanti il comportamento rigido della struttura, quali fratture, trincee, gradini, scarpate e contropendenze, la meccanica dei movimenti condizionata da particolari condizioni di stress tensionale dei materiali e l'associazione di vari tipi di cinematismi. Tra le condizioni che ne favoriscono sviluppo ed evoluzione sono importanti invece il contrasto di competenza, la tettonica determinante elevati valori delle pressioni orizzontali in situ, la forte energia del rilievo e le condizioni climatiche ed idrauliche.

Per ciò che riguarda la Verna i fenomeni interessano principalmente i margini della placca. Gli spostamenti interni relativi dei blocchi o di porzioni comunque parzialmente svincolate della placca sono testimoniati dalla presenza di numerose fratture e trincee: nel settore del Santuario la placca risulta smembrata in una serie di blocchi prismatici colonnari che si sono progressivamente sbassati verso SW e sui quali l'espansione laterale ha in seguito agito provocandone l'allontanamento reciproco. Tutte queste trincee sono appunto dovute all'allargamento dei giunti subverticali fino ad ampiezze anche metriche, spesso riempite da detriti o massi caduti in tempi successivi.

3. CONTROLLO DI DEFORMAZIONI TRAMITE GPS

La caratteristica principale della deformazione gravitativa profonda della Verna è quella di presentare una serie di diversi meccanismi di movimento interagenti tra loro. Tra questi, data la loro diretta correlazione con le strutture architettoniche del monastero, assumono particolare importanza i fenomeni di crollo di blocchi aggettanti e quelli di espansione laterale con allargamento dei giunti.

Nel 1991, in relazione ad alcuni interventi di consolidamento nella zona del Santuario, l'Ismes di Bergamo ha installato una rete di monitoraggio geotecnico, basata sulla misura in continuo tramite estensimetri, piezometri ed estensoinclinometri tramite la quale si è arrivati a determinare, nell'intorno della scarpata detta il "Precipizio" e del Santuario, che i movimenti relativi tra blocchi sono dell'ordine di alcuni mm/anno. La velocità massima di spostamento registrata dal sistema di monitoraggio nel periodo che va dall'inizio del 1992 al marzo 1993 è risultata essere di circa 7 mm/anno. (AIELLO *et alii*, 1993; LUNARDI *et alii*, 1993).

Allo scopo di effettuare un controllo sperimentale sui movimenti interni alla placca, quelli cioè principalmente imputabili a fenomeni di *lateral spreading*, è stata materializzata nel 1992 una rete GPS per il monitoraggio degli spostamenti, ad opera di una squadra composta da geologi dell'Università di Firenze, coordinati dal Dott. Vannocci e da topografi dell'Università di Roma "La Sapienza", coordinati dal Prof. Barbarella. Il primo rilievo è stato effettuato (dalla stessa squadra) nella primavera del '93 (BARBARELLA & FIANI, 1994) ed il secondo nella primavera del '94.

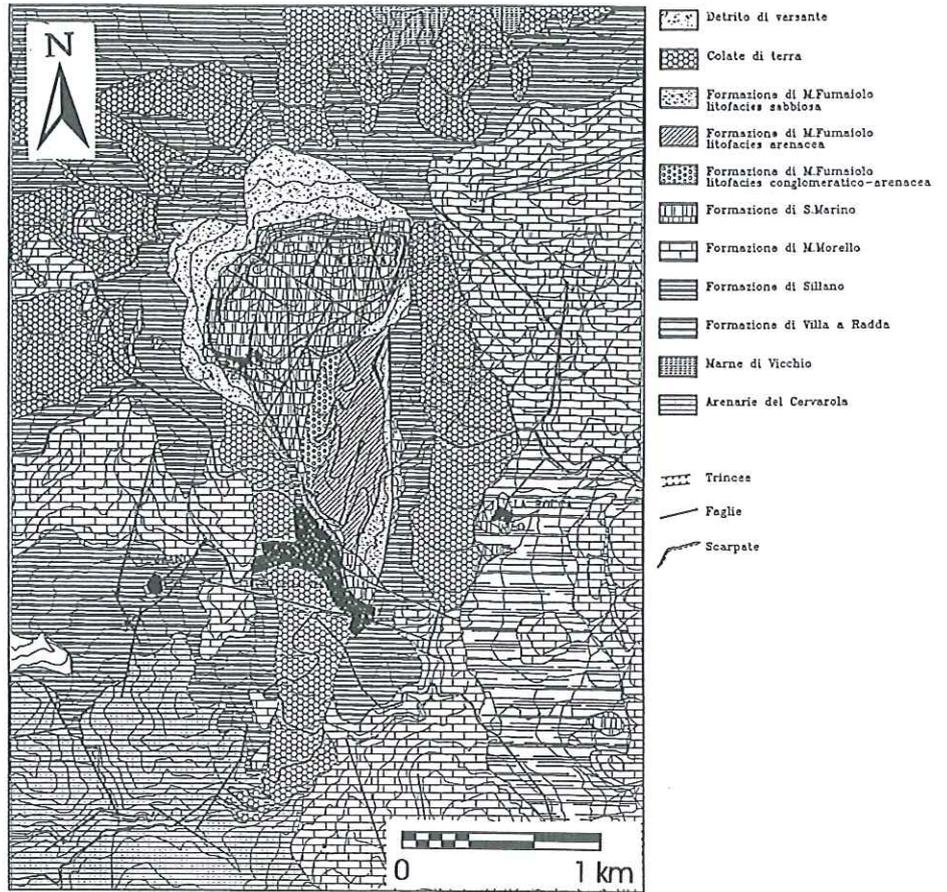


Fig.1 - Inquadramento geologico dell'area del monte della Verna
 Fig.1 - Geological sketch of Verna Mountain area

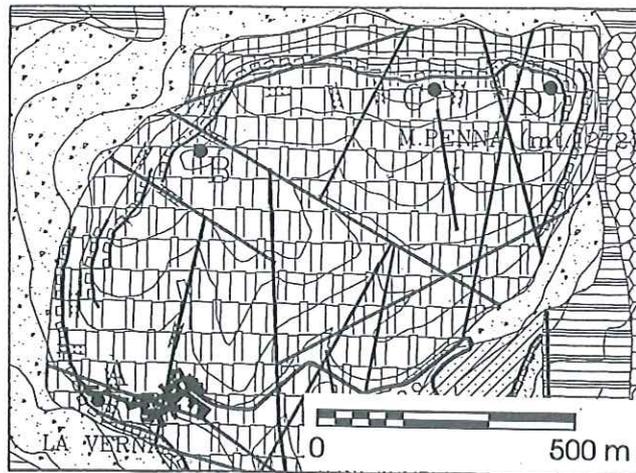


Fig.2 - Localizzazione dei vertici GPS sulla placca lapidea.
 Fig.2 - GPS vertex location on the rock slab.

Si ricorda che per i controlli di deformazioni sono disponibili varie tecniche di rilievo topografico, tradizionali oppure GPS, che si differenziano sia per lo strumento di misura utilizzato (e di conseguenza per le modalità operative) che per la procedura di calcolo, a partire dalle misure, della posizione dei punti soggetti a monitoraggio. In tutti i casi va istituita una rete di punti le cui coordinate vanno determinate, rispetto ad un sistema di riferimento univoco, nella prima campagna di misura (rilievo di zero) e quindi confrontate con quelle calcolate utilizzando le misure successive da effettuarsi periodicamente. Per la presenza degli errori di misura non sempre è agevole valutare se le differenze delle coordinate dei punti di controllo, riscontrate in due rilievi successivi, siano o meno dovute a spostamenti dei punti. Nel caso di studio è stato deciso l'impiego della tecnica GPS essenzialmente per due motivi: tale tecnica consente di ottenere precisioni molto elevate con un tempo di esecuzione del rilievo assai minore di quello necessario con le tradizionali tecniche topografiche di misura ed inoltre è stata ritenuta la più indicata per le caratteristiche ambientali della zona poiché non prevede la reciproca visibilità tra i punti ma solo la visibilità verso il cielo, fattore determinante per la presenza del bosco sul Monte Penna.

La rete istituita consta di sette punti materializzati sul terreno, tre dei quali sono in zone esterne al massiccio della Verna, in aree ritenute stabili e non soggette a movimento su terreni delle Unità Liguri, allo scopo di fungere da sistema di riferimento fisso, mentre i restanti quattro sono distribuiti sulla placca in modo tale da rimanere separati tra loro dai principali allineamenti di fratture e trincee delimitanti blocchi in probabile movimento reciproco (Fig. 2). Il primo di questi punti è localizzato all'interno del Santuario e gli altri tre si trovano lungo il percorso che costeggiando il lato nord-ovest del monte arriva fino alla cima del M. Penna. La distanza reciproca tra i punti di controllo varia all'incirca da 0.5 a 1 km, mentre i punti fissi sono distanti dai primi da 1.5 a 5 km e tra loro fino a 6 km.

Per effettuare i rilievi sono stati utilizzati quattro ricevitori Ashtech a doppia frequenza (modello LXII), dotati di antenne geodetiche montate su apposite aste per elevarne la quota rispetto al piano del terreno.

Entrambi i rilievi sono stati effettuati in modalità "statico" e la durata media di ricezione è stata di 1h 15'. Nei due rilievi si è operato con il criterio di avere più misure della stessa base, ottenute in sessioni e giornate differenti della stessa campagna, allo scopo di verificare la ripetibilità delle misure.

La riduzione delle osservazioni grezze è stata effettuata in singola base con il software a corredo dei ricevitori, il GPPS; per l'elaborazione delle misure relative al rilievo del '93 è stato utilizzato anche un software di tipo generale, il TOPAS TURBO della Terrasat, che permette anche la compensazione della rete.

I programmi di calcolo utilizzati per la compensazione della rete sono quelli messi a punto presso l'Università di Roma "La Sapienza".

4. COMPENSAZIONE DELLA RETE

La prima fase del calcolo di una rete consiste in una compensazione a minimi vincoli, che ha lo scopo di determinare la qualità delle misure (consentendo in genere di evidenziare gli eventuali errori grossolani presenti) e la precisione intrinseca della rete stessa. Nel caso del GPS è sufficiente fissare le coordinate di un punto, per esempio pari allo pseudo-range ottenuto in una delle basi relative al punto (BARBARELLA, 1992).

Come già detto, la compensazione delle basi indipendenti è stata effettuata con il software dell'Università di Roma. La tecnica della ricerca degli errori grossolani implementata è quella dell'analisi dei residui normalizzati (tecnica del *Data Snooping*): fissato un intervallo di confidenza a piacere, in questo caso del 99%, se il residuo normalizzato relativo ad una base supera il valore corrispondente a tale intervallo si elimina la misura (o la si sostituisce, se possibile) e si ripete il calcolo di compensazione.

La disponibilità di più misure della stessa base e l'alta ridondanza hanno permesso di effettuare una scelta delle basi indipendenti in funzione inizialmente dei valori degli s.q.m. delle basi ridotte e successivamente dei residui normalizzati ottenuti nel calcolo di compensazione; sono state così selezionate diciannove basi indipendenti relativamente al rilievo del '93 e venti basi per il rilievo del '94.

Per la compensazione a minimi vincoli sono state fissate in entrambi i rilievi le coordinate del punto "E" allo stesso valore.

Misure in mm						
RILIEVO '93				RILIEVO '94		
a	b	sqm quo.		a	b	sqm quo.
2	1	5	A	1	1	2
5	4	11	B	3	2	8
2	1	4	C	1	1	3
3	2	6	D	2	1	4
3	2	7	F	1	1	3
2	1	4	G	1	1	2

Tab.1 - Semiassi delle ellissi standard d'errore e s.q.m. in quota, nel sistema geodetico locale.

Tab.1 - Semiaxes of standard error ellipses and s.d. in elevation, in the local geodetical system.

Misure in mm						
RILIEVO '93				RILIEVO '94		
a	b	c		a	b	c
5	2	1	A	2	1	1
11	5	4	B	8	3	2
4	2	1	C	3	1	1
6	3	2	D	4	2	1
7	3	2	F	3	1	1
4	2	1	G	2	1	1

Tab.2 - Semiassi degli ellissoidi standard d'errore nel sistema geodetico locale.

Tab.2 - Semiaxes of standard error ellipsoids in the local geodetical system.

Le precisioni delle reti compensate possono essere espresse tramite i parametri delle ellissi standard d'errore sul piano tangente all'ellissoide (indeterminazione planimetrica) e tramite gli scarti quadratici medi delle quote (indeterminazione altimetrica). I valori calcolati sono riportati in millimetri in Tab.1. In Tab.2 si riportano i parametri degli ellissoidi tridimensionali standard d'errore, sempre nei sistemi locali suddetti.

Si noti che la precisione della rete ottenuta nel rilievo del '94 è risultata migliore di quella del '93: le dimensioni delle ellissi standard d'errore, già abbastanza limitate nel rilievo di zero, sono infatti ancora più modeste; ugualmente per i parametri degli ellissoidi standard d'errore. La migliore qualità delle misure dell'ultimo rilievo potrebbe dipendere da vari fattori, tra cui la maggiore durata del tempo di ricezione, la disponibilità di un numero superiore di satelliti visibili. Nel rilievo del '94 viene confermato il peggior comportamento del punto "B", dovuto a disturbi locali di ricezione, la cui indeterminazione, sia in planimetria che in altimetria, risulta essere circa il doppio di quella degli altri punti.

Per valutare la congruenza interna delle basi indipendenti scelte per il calcolo finale delle reti, è stato calcolato l'errore di chiusura in X, Y e Z dei triangoli che è stato possibile formare con le suddette basi. I valori degli errori di chiusura riscontrati in entrambi i rilievi vanno, in valore assoluto e per tutte e tre le componenti, da un minimo di 0 a un massimo di 3 cm circa. E' stata anche calcolata la lunghezza del vettore individuato dalle tre chiusure ΔX , ΔY e ΔZ : i valori relativi ottenuti sono riportati negli istogrammi di Fig.3, ad intervalli di 5 mm. In ambedue i rilievi gli errori di chiusura sono abbastanza elevati (fino a 4 cm) e mediamente risultano un po' più piccoli quelli del rilievo del '94. Non è stata individuata una dipendenza degli errori di chiusura dalla lunghezza dei lati dei triangoli.

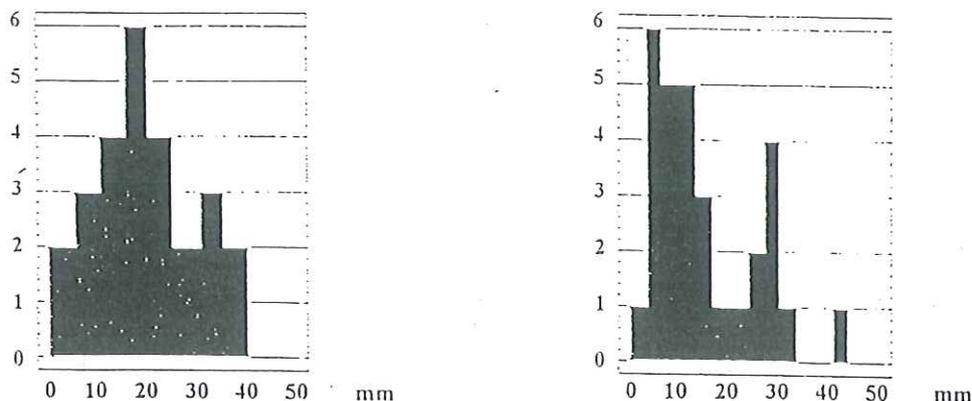


Fig.3 - Istogrammi degli errori di chiusura dei triangoli (a sinistra rilievo del '93 e a destra del '94).

Fig.3 - Histograms of the triangles' closing errors (on the left the survey of '93 and on the right of '94).

5. CONFRONTO DEI RILIEVI

Per verificare se nel periodo intercorso tra la prima e la seconda campagna di misura vi siano stati spostamenti dei punti soggetti a monitoraggio, è stato eseguito il calcolo di compensazione a minimi vincoli delle due reti, fissando in entrambe un vertice (il punto "E") alle medesime coordinate e confrontando quindi le coordinate compensate dei rimanenti punti. In Tab.3 sono riportate le differenze delle coordinate geocentriche compensate ottenute nei due rilievi e gli s.q.m. associati alle coordinate (in mm).

Le differenze delle coordinate geografiche compensate dei due rilievi sono riportate sul piano tangente all'ellissoide, in termini di spostamenti lungo il meridiano e lungo il parallelo, per rendere più agevole l'interpretazione dei risultati. I valori ottenuti sono riportati in mm in Tab.4. Tali differenze vanno evidentemente imputate agli errori di misura, oltre che ad eventuali spostamenti dei punti. Occorre quindi analizzare tali differenze in relazione ai parametri d'errore: la figura 4a), nella quale sono graficati gli spostamenti planimetrici subiti dai punti nel periodo intercorso tra i due rilievi e, alla stessa scala, le ellissi piane al livello di confidenza del 95%, mostra che dal punto di vista planimetrico per alcuni punti le zone di indeterminazione sono nettamente separate e si potrebbe quindi pensare a possibili spostamenti di tali punti.

Misure in mm									
PUNTO	ΔX	s.q.m. '93	s.q.m. '94	ΔY	s.q.m. '93	s.q.m. '94	ΔZ	s.q.m. '93	s.q.m. '94
A	-2	4	2	4	1	1	-11	3	2
B	12	9	7	-15	4	2	9	7	5
C	-3	3	2	0	1	1	-12	3	2
D	-5	4	3	1	2	2	-11	5	3
F	-6	5	2	1	3	2	4	5	2
G	1	3	2	-11	1	1	-16	3	2

Tab. 3 - Differenze di coordinate geocentriche compensate e s.q.m. associati alle coordinate (mm).

Tab. 3 - Differences of adjusted geocentric coordinates and standard deviation of the co-ordinates (mm).

Per l'altimetria si riportano parimenti in Tab.4 i confronti (in mm) tra spostamento e semintervallo di indeterminazione, sempre allo stesso livello di significatività (95%).

Misure in mm					
PUNTO	ΔN	ΔE	ΔH	s.q.m. quo. '93	s.q.m. quo. '94
A	-7	4	-8	10	4
B	1	-17	12	22	16
C	-6	0	-12	8	6
D	-5	2	-11	12	8
F	6	3	-1	14	6
G	-11	-11	-12	8	4

Tab.4 - Differenze di coord. geografiche sul piano tangente e differenze di quota. S.q.m. associati alle quote.

Tab.4 - Differences of geographical co-ord. on the tangential plane and diff. of elevation. S.d. of elev.

Dai risultati ottenuti con la compensazione a minimi vincoli non sembra che i punti della rete situati in zone ritenute stabili dal punto di vista geologico siano effettivamente più stabili degli altri: si noti ad esempio il punto "G" in Fig. 4a). E' stata comunque eseguita una compensazione tenendo fissi tali punti, per le coordinate dei quali è stato assunto il valor medio risultante dalle compensazioni intrinseche dei due rilievi.

Gli spostamenti planimetrici riscontrati sui restanti punti sono graficati in Fig.4b), in cui sono riportate, alla stessa scala, anche le ellissi piane al livello di confidenza del 95%. I risultati di questo ultimo confronto sono più facilmente interpretabili e si potrebbe sospettare un movimento del punto "A" (situato all'interno del blocco del Santuario), sia pure di lieve entità. Tale ipotesi andrà verificata nei successivi rilievi.

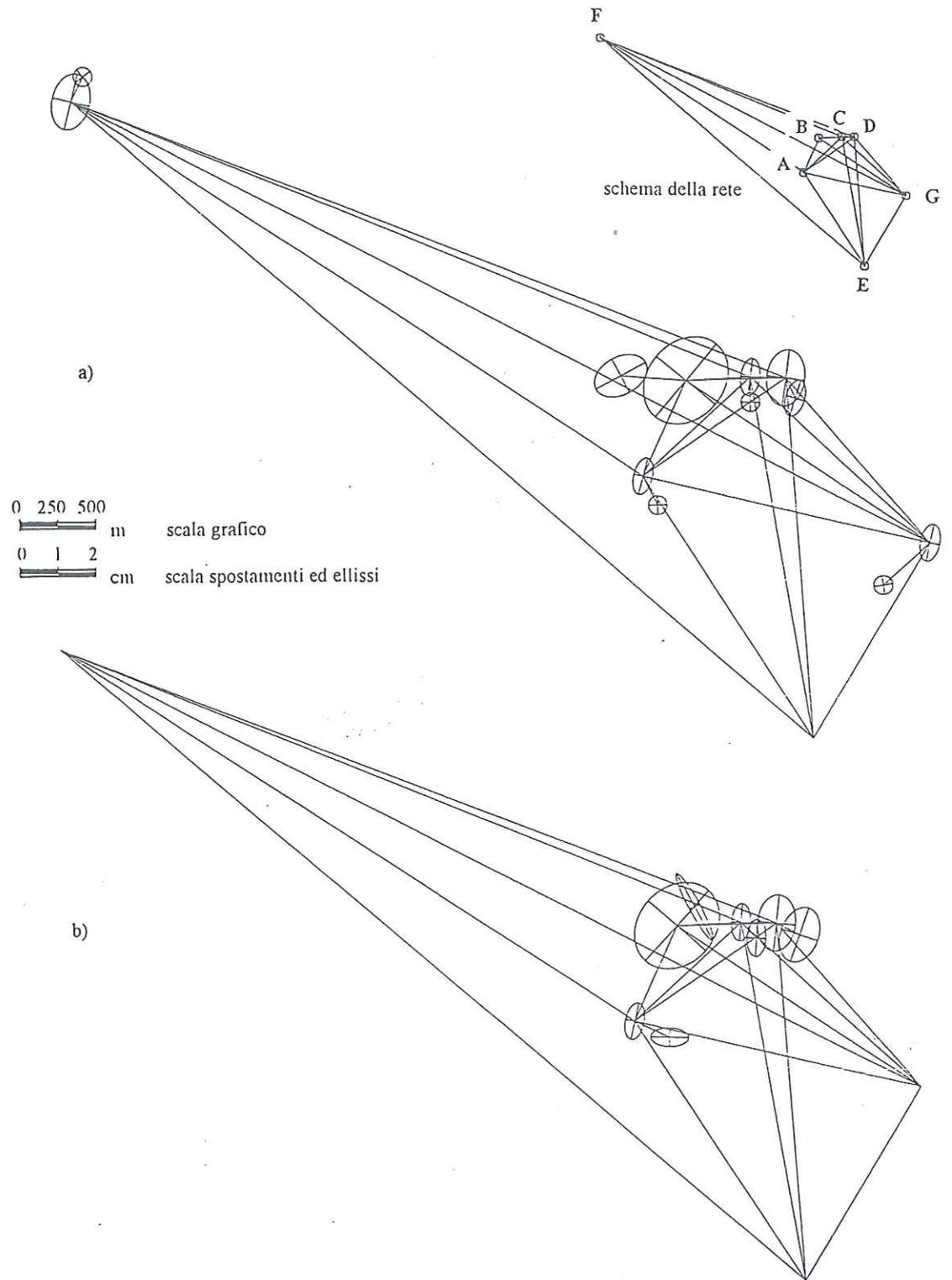


Fig.4 - Grafico degli spostamenti ed ellissi d'errore (liv. conf. 95%). a) Comp. minimi vincoli b) Comp. vincolata.
 Fig.4 - Displacements' plotting and error ellipses (95%). a) Adjust. with minimal constraints b) Constrained adjust.

6. CONCLUSIONI

Le reti sono risultate molto precise, soprattutto se si considerano le condizioni ambientali in cui sono stati effettuati i rilievi, come la presenza di ostacoli (gli alberi) che disturbano le misure, senza tuttavia impedirle. A tali ostacoli va ad esempio imputata la minor precisione che si è ottenuta in entrambi i rilievi per il punto "B": i parametri di errore di tale punto sono circa il doppio di quelli relativi agli altri.

E' sicuramente prematuro trarre conclusioni su eventuali spostamenti, che dovranno eventualmente risultare dai rilievi successivi. Pare tuttavia necessario utilizzare tecniche statistiche di analisi degli spostamenti più raffinate, per le quali si sta predisponendo il software necessario. In questo quadro rientra l'implementazione dell'algoritmo che permette il calcolo della rete in compensazione libera, ovvero senza l'impiego di alcun punto "fisso", in modo tale da svincolare la rete da condizioni esterne alla misura.

BIBLIOGRAFIA

- AIELLO E., DE LOTTO P., FRANCALANCI P., FRASSONI A., FROLDI P., GRANDINI G. & LUNARDI P. (1993) - *Il sistema di monitoraggio e gli interventi di somma urgenza della Rupe della Verna, Toscana (Italia)*. Atti IV Seminario DGPV, Chiusi della Verna, Maggio 1993. Mem. Soc. Geol. It. (in stampa).
- BARBARELLA M. (1992) - *Uso del GPS per l'inquadramento di reti*. Boll. SIFET, 4/1992, 49-68.
- BARBARELLA M. & FIANI M. (1994) - *Controllo tramite GPS di movimenti gravitativi profondi presso La Verna*. In stampa su Mem.Soc.Geol.
- BERTOCCI R. & CASAGLI N. (1992) - *Fenomeni di espansione laterale in alcune aree dell'Appennino Tosco-Romagnolo: aspetti geomorfologici e proprietà geotecniche dei materiali argillosi coinvolti*. Atti Ticinesi di Scienze della Terra, Pavia, 35, 31-42.
- BERTOCCI R., CANUTI P., GARZONIO C.A. & VANNOCCI P. (1991) - *Complex clayey units involved in lateral spread in the Northern Apennine Relief*. Proc. 9th PCSMFE, Vina del Mar, Chile.
- CANUTI P., CASAGLI N. & GARZONIO C.A. (1993) - *Large-scale mudslides in structurally complex clay shales in the Northern Apennines*. Proc. Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, in stampa.
- LUNARDI P., AIELLO E., FROLDI P., FRANCALANCI F., GRANDINI G., FRASSONI A. & DE LOTTO P. (1993) - *Il Santuario della Verna: la geoingegneria e il restauro dei beni storico-ambientali*. Cave e costruzioni, 7(1993), 66-96.

ABSTRACT

Many geological researches in the La Verna Mt. area have shown landslide phenomena which, as a whole, can be classified among the deep-seated gravitational slope deformation. From a geological point of view (Par.2), the whole area is characterised by the presence of a rock slab of considerable dimensions, mainly composed by calcarenitic and arenaceous formations of "Langhiano-Serravalliano" age (the Verna Mountain), standing over softer and plastic "ligurian" formations (Fig.1). The resultant stiffness contrast originated many chained landslide phenomena. Among them, primary phenomena are rock fall, toppling and lateral spread which originated rock slab fracturing into different blocks with probable reciprocal displacements. In order to monitor these displacements, a GPS (Global Positioning System) network was established (Par.3). Three vertexes of the network are located inside La Verna Mt. while the remaining four were established inside areas (external to Verna Mt.) which are considered stable. This network was measured in 1993 and 1994. In order to estimate the internal accuracy of the survey, an adjustment with minimal constraints was executed (Par.4). Table 1 and 2 show the error parameters associated with the adjusted co-ordinates. To verify any eventual displacement of monitoring points during the laps of time

between surveys, an adjustment with minimal constraints was performed (Par.5). Table 3 and 4 show differences of adjusted geocentric and geographic co-ordinates. These last ones were then analysed in relation with error parameters: Fig. 4a) shows planimetric shifting of vertexes during the period 1993-1994 and the error ellipses, with a confidence level of 95%. Concerning altimetry, Table 4 shows comparisons between shifting and confidential semi-interval, at the same confidential level. A constrained adjustment was then performed and the final results of this comparison are shown in Fig. 4b). The first obtained results seem to show the presence of displacements, but more efficient and refined statistical methods, as well as results of further surveys, are needed in order to express any more precise hypothesis.

Gli aspetti geologici sono stati curati da Filippo Catani, quelli topografici da Margherita Fiani.