

5. MISURE TOPOGRAFICHE ED AEROFOTOGRAMMETRICHE

INDICE

5.1. I MOVIMENTI PLANOALTIMETRICI SUPERFICIALI DI UNA FRANA ED I MEZZI PER DETERMINARLI	pag. 41	5.6.2. La stima della funzione di covarianza di un processo stocastico	” 60
5.2. LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI E DELLE DEFORMAZIONI PRINCIPALI DELLA FRANA “ANCONA '82”	” 44	5.6.3. Analisi degli spostamenti principali sui manufatti con il metodo della collocazione	” 61
5.2.1. Materiale documentario disponibile	” 44	5.6.4. Analisi delle deformazioni principali della superficie della frana con il metodo della collocazione	” 64
5.2.2. La triangolazione aerea	” 44	5.6.5. Considerazioni conclusive circa la misura dei movimenti principali	” 65
5.2.3. Scelta e distribuzione dei punti di legame	” 45	5.7. RISULTATI DELLE MISURE DI ASSESTAMENTO	” 65
5.2.4. Esecuzione delle misure e dei calcoli di T.A.	” 46	5.7.1. Presentazione dei risultati delle misure sulle sezioni	” 65
5.2.5. Compensazione della T.A.	” 46	5.7.2. Valutazione della precisione dei dati	” 66
5.2.6. Misura delle sezioni per la determinazione delle deformazioni del terreno	” 48	5.7.3. Analisi dei risultati	” 68
5.3. MISURA DEI MOVIMENTI DI ASSESTAMENTO	” 48	5.7.4. Variazioni altimetriche lungo la strada Posatora-Torrette	” 69
5.3.1. Impianto della livellazione di precisione di Posatora-Torrette	” 48	5.8. CONCLUSIONI	” 71
5.3.2. Impianto delle sezioni	” 49		
5.3.3. Operazioni di misura e di calcolo	” 50	5.1. - I MOVIMENTI PLANOALTIMETRICI SUPERFICIALI DI UNA FRANA ED I MEZZI PER DETERMINARLI	
5.4. RISULTATI DELLE MISURE DEGLI SPOSTAMENTI PRINCIPALI SUPERFICIALI	” 51		
5.4.1. Risultati di controlli parziali	” 51	1. Nello studio di una frana ad andamento catastrofico come è stata la frana di Ancona 1982, occorre innanzitutto distinguere fra i movimenti di terra superficiali e quelli subsuperficiali e profondi, fino alla superficie di scorrimento la cui delimitazione è un po' lo scopo principale dello studio. Tale superficie con il suo andamento e la dislocazione, se delimitata con sufficiente precisione, contribuisce a far conoscere le cause della frana stessa e la meccanica del movimento.	
5.4.2. Incertezza delle misure fotogrammetriche degli spostamenti	” 53	L'indagine per la determinazione dei movimenti subsuperficiali e profondi è compito soprattutto della geofisica e dell'esplorazione geognostica eseguita tramite pozzi od altri tipi di sondaggi.	
5.4.3. Spostamenti determinati tramite punti su manufatti	” 53	E' però evidente che l'indagine geofisica è perturbata da molteplici cause di incertezze mentre l'indagine geognostica mediante perforazioni, carotaggi e pozzi, è costosissima e può essere compiuta in un numero limitato di punti coinvolti con il movimento franoso.	
5.5. I RISULTATI DELLA MISURA DELLE DEFORMAZIONI DELLA SUPERFICIE DEL TERRENO	” 55	I movimenti registrabili sulla superficie esterna sono indubbiamente più semplici da misurare e meno costoso è il loro rilievo, e quindi possono essere sviluppati ed estesi sull'intero territorio coinvolto; essi sono però meno significativi dal punto di vista della meccanica del fenomeno.	
5.5.1. Incertezza delle misure lungo le sezioni	” 55	Tuttavia ciò malgrado, una dettagliata rilevazione delle modifiche superficiali, dipendenti dalle modifiche subsuperficiali e profonde, è di aiuto per interpretare il fenomeno, le sue cause e la sua meccanica.	
5.5.2. Rappresentazione grafica dei risultati	” 57		
5.6. ANALISI DEI MOVIMENTI DI TERRA CON IL METODO DELLA COLLOCAZIONE	” 59		
5.6.1. Il metodo della collocazione minimi quadrati	” 59		

(*)Istituto di Topografia, Fotogrammetria e Geofisica, Politecnico di Milano.

(**)Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Università di Ancona.

(***)Collaboratori del Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Università di Ancona.

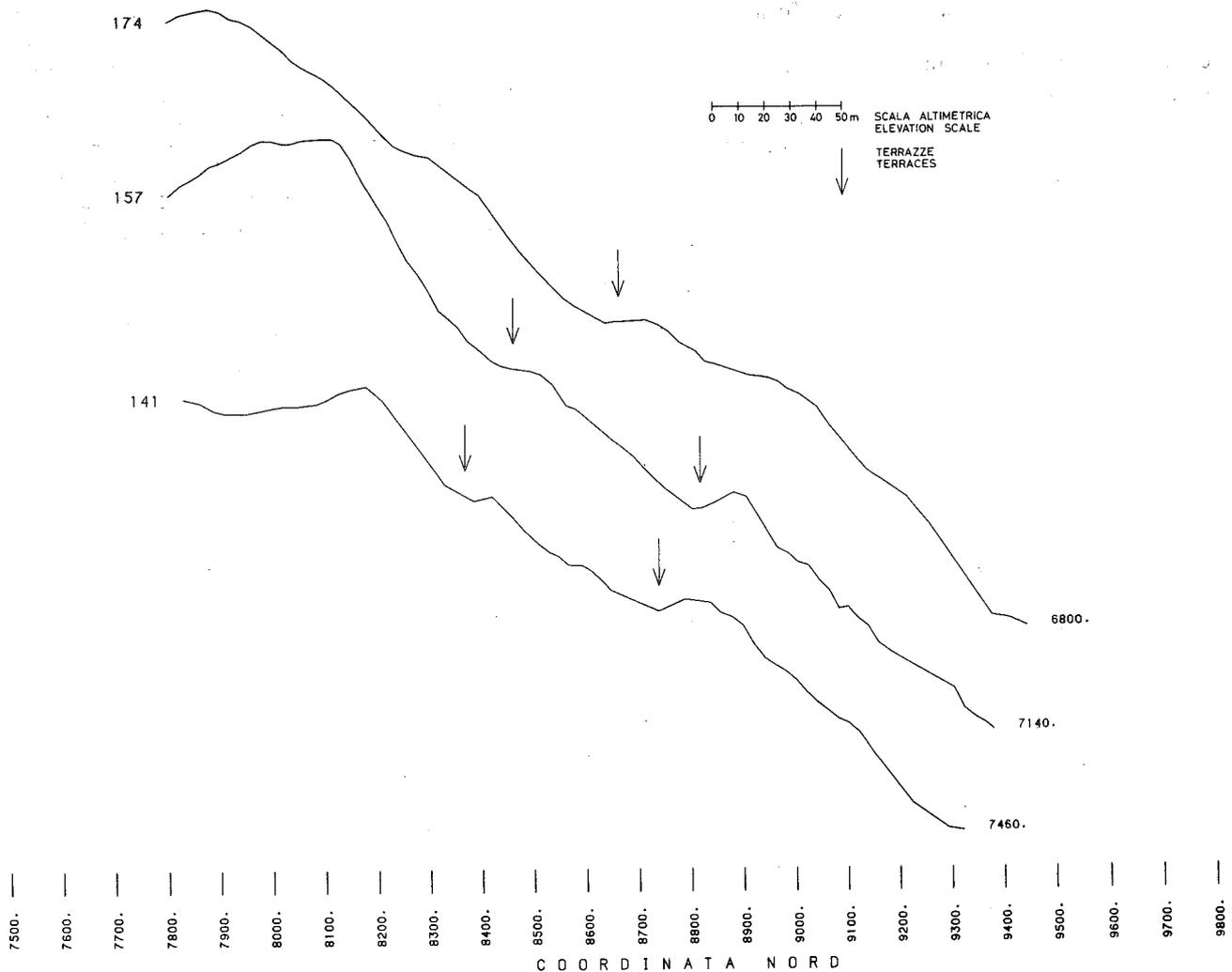


Fig. 5.2 - Alcuni profili altimetrici della zona in frana.
Some altimetric profiles of the sliding area.

I movimenti rilevabili in superficie sono riconducibili essenzialmente a queste due tipologie:

- A - gli spostamenti planimetrici ed altimetrici di punti ben definiti della superficie esterna solidali con la massa franosa;
- B - le deformazioni della superficie esterna.

Mentre i primi, gli spostamenti, mettono in luce le zone di movimento maggiore, le seconde, rivelando le zone di deficienza e di accumulo delle masse terrose possono, almeno ipoteticamente, permettere di studiare le variazioni dell'equilibrio tra le masse che la frana ha messo in movimento e lo stato di equilibrio raggiunto. Quest'ultimo è un indice non trascurabile delle componenti che hanno giocato un ruolo determinante nella meccanica del fenomeno.

2. Gli spostamenti planoaltimetrici A e le deformazioni B, possono distinguersi in "principali" e "di assestamento". Sono principali quei movimenti che comprendono la parte catastrofica dell'evento franoso cioè la parte preponderante del movimento verificatosi in un intervallo di tempo relativamente assai breve: pochi minuti, al massimo qualche ora. Sono inve-

ce da considerarsi movimenti di assestamento quelli successivi all'evento catastrofico di cui si è detto, fino ad esaurimento completo del movimento stesso. Essi sono in generale lenti.

Si può poi pensare ad una ulteriore classificazione per i movimenti sia principali che di assestamento: "parziali" o "totali". Sono parziali quando il dato rilevato si riferisce solo ad una parte del movimento principale o di assestamento. Sono totali i dati complessivi. In particolare i movimenti totali generali comprendono tutti i movimenti di terra avvenuti in occasione dell'evento sia nella sua parte catastrofica che in quella di assestamento.

Questa classificazione, con la nomenclatura corrispondente qui introdotta, viene adottata perché si adatta bene alle operazioni di rilevamento eseguite per le differenti tipologie di movimento.

3. Gli spostamenti e le deformazioni principali vengono rappresentati rispettivamente: da vettori orientati nello spazio, uscenti dalla posizione planimetrica iniziale del punto; dalla deformata secondo la quota della superficie rappresentativa del terreno.

Sia degli spostamenti che delle deformazioni non è possibile una misura diretta. Si determinano invece come differenza fra due misure di posizione, la prima eseguita "prima" dell'evento, la seconda "dopo" l'evento. Ciò comporta misure complesse dovendosi ricavare per due volte la posizione di punti, ma soprattutto è a volte problematica la disponibilità di misure fatte prima. Infatti non è noto dove avverrà l'evento catastrofico, quindi le misure "prima" non possono in generale essere disponibili. Il procedimento più immediato è quello di fare riferimento per le misure "prima" ad una cartografia a grande scala eventualmente esistente per la zona coinvolta. Se, come normale per i rilievi recenti, la cartografia è fotogrammetrica si possiedono anche le fotografie aeree della zona in frana. L'idoneità della cartografia e delle corrispondenti prese fotogrammetriche aeree, dipende dalla scala della carta e dalla precisione del rilievo. Maggiore è la scala della carta, maggiore è la precisione ottenibile.

Carte a scala 1:10.000 e 1:5.000 consentono di ricavare indicazioni qualitative solo se l'evento è di dimensioni notevoli. Carte a scala 1:2.000 o maggiori e le corrispondenti fotografie aeree offrono possibilità di confronto più dettagliate e attendibili sui movimenti di terra coinvolti. Informazioni locali incomplete e spesso disaggregate si possono poi ottenere se per caso nella zona della frana si sono eseguiti particolari tipi di rilievi per scopi tecnici, come livellazioni o cartografie di zone limitate, piani quotati, tracciamento di strade. Saranno questi elementi integrativi interessanti e utili solo però se esiste la possibilità della determinazione dei movimenti principali sull'intero territorio.

4. Gli spostamenti e le deformazioni di assestamento avvenendo nell'area della frana già delimitata, non pongono problemi di misura. Tuttavia occorre tener conto del fatto che i movimenti di assestamento sono, in generale, molto più piccoli di quelli principali e che vanno gradualmente smorzandosi con il passar del tempo. Le procedure di rilievo perciò debbono tenere conto di questa esigenza ed essere quindi di maggiore sensibilità di quelle per il rilievo dei movimenti principali. Pertanto queste misure andranno preferibilmente eseguite con metodi di topografia classica, oppure con fotogrammetria terrestre; quest'ultima procedura può andar bene solo se la conformazione del terreno si presta al rilievo necessario, se non è molto estesa, se la copertura dell'edificio e della vegetazione non sono notevoli in densità ed estensione, se il terreno ha una pendenza uniforme.

Qualora il rilievo dei movimenti di assestamento venga eseguito con procedimenti topografici normali, occorre seguire procedure operative semplici ma sicure e sufficientemente precise per poter con garanzia stabilire quando il movimento può ritenersi concluso; ma inoltre deve essere abbastanza denso per cogliere ed evidenziare movimenti locali a volte solamente superficiali, ciò non di meno importanti e pericolosi.

5.2. LA MISURA DEGLI SPOSTAMENTI E DELLE DEFORMAZIONI PRINCIPALI DELLA FRANA "ANCONA '82"

5.2.1. Materiale documentario disponibile

Il territorio soprascritto coinvolto nella frana ca-

tastrofica del 13 dicembre 1982, è stata cartografata a scale diverse e in diverse epoche oltre che alla scala 1:25.000, come tutto il territorio nazionale, dall'IGMI. La regione Marche ha fatto eseguire una cartografia ortofotografica alla scala 1:10.000 in epoca recente. Ciò però che risulta utile per il rilievo dei movimenti principali è la cartografia alla scala 1:2.000 fatta eseguire dal comune nel 1969 ed aggiornata nel 1980. La scala dei primi due rilievi è troppo piccola per questo scopo, mentre la carta alla scala 1:2.000 offre buone possibilità di utilizzo come documento della situazione del terreno "prima" della frana. Tuttavia piuttosto che la carta si è preferito utilizzare le fotografie aeree eseguite nel 1980 per l'aggiornamento della carta stessa.

L'Aermap ditta esecutrice dell'aggiornamento ha fornito le diapositive e le foto in carta di 6 fotogrammi alla scala media 1:11.000 che coprono l'intera zona in frana con una strisciata est-ovest cioè parallela alla costa. Le prese, eseguite con camera grandangolare da 150 mm di distanza principale, sono di buona qualità.

Questo il materiale documentario relativo a "prima". Quanto a quello dopo l'evento franoso, esso è costituito da tre strisciate scelte fra le molte eseguite dalla Ditta Rossi su incarico della Regione Marche. Queste strisciate eseguite solo pochi giorni dopo l'evento sono state ottenute con camere grandangolari di distanza principale 150 mm, ad una scala media di 1:6.000 circa. Anche queste prese sono di buona qualità.

In tal modo è possibile determinare i movimenti principali in modo sufficientemente dettagliato, anche se purtroppo il materiale fotografico relativo a "prima" non risulta essere alla scala ottimale come invece è il materiale "dopo". In Fig. 5.3 è riprodotta la copertura fotografica dell'unica strisciata "prima" e delle tre strisciate "dopo".

5.2.2. La triangolazione aerea

L'uso delle fotografie aeree per il rilievo metrico di un territorio richiede, come noto, che all'interno delle coppie stereoscopiche siano conosciute le coordinate di un certo numero (in generale 4 o 5) di punti, così chiamati "di appoggio" delle coppie. Sono questi punti che determinano la posizione e la dimensione della restituzione, ovvero di quella operazione che permette di passare dalla posizione delle immagini di un oggetto sui due fotogrammi alla posizione dell'oggetto stesso sul terreno. La Ditta esecutrice del primo rilievo del Comune di Ancona aveva predisposto una serie di punti di appoggio alcuni dei quali, cadendo all'interno della zona in frana non possono più essere utilizzati essendosi sicuramente spostati. Né era opportuno qualche mese dopo la frana e l'esecuzione del volo rilevare, sul terreno franato punti di appoggio per il volo "dopo". Infatti non essendo ancora noto l'andamento dell'assestamento c'era il rischio che i punti si fossero mossi rispetto al momento del volo.

La determinazione degli spostamenti e delle deformazioni principali consiste, come detto, nel confronto relativo fra due misure, una fatta "prima" e l'altra fatta "dopo". E' perciò di primaria importanza che questi due rilievi siano quanto meglio possibile posizionati relativamente; la loro posizione assoluta e la loro dimensione assoluta hanno scarsa incidenza nella deter-

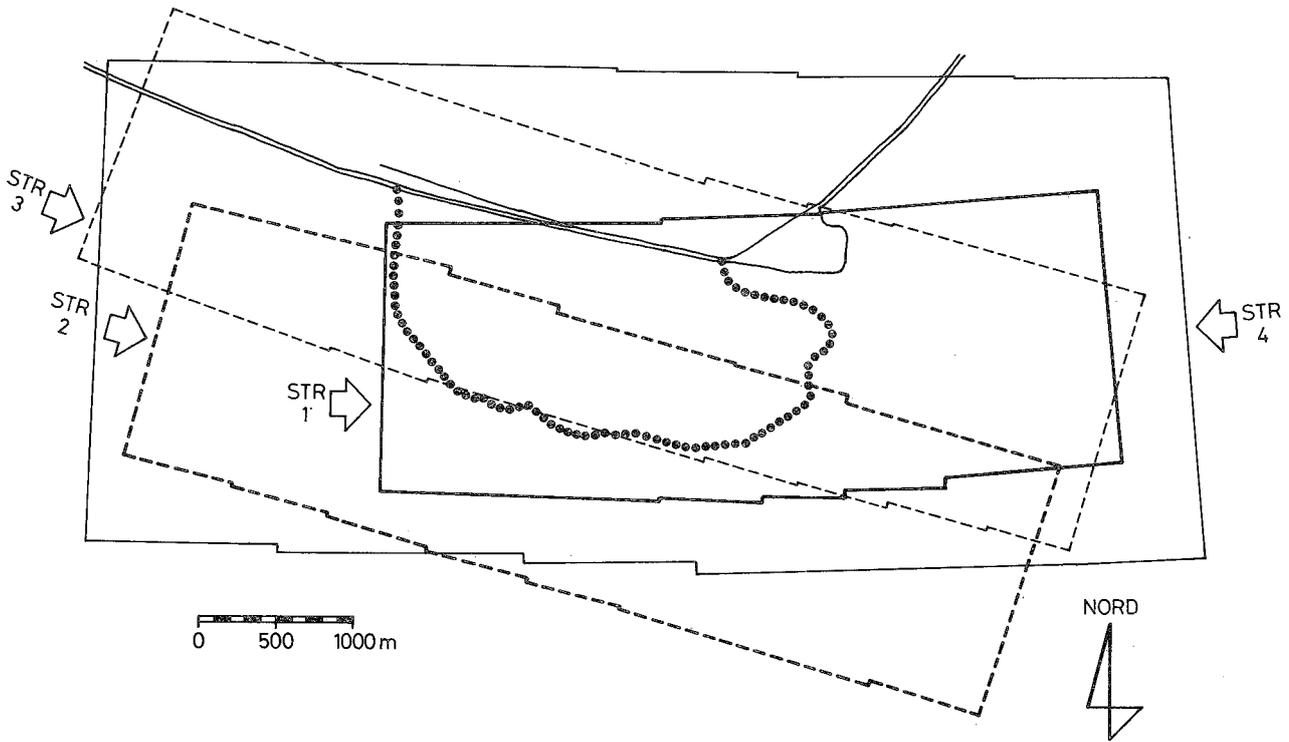


Fig. 5.3 - Copertura fotogrammetrica dei voli "prima" e "dopo" la frana.
Aerial photogrammetric covering "before" and "after" the landslide.

minazione delle variazioni, piccole rispetto all'estensione del rilievo.

Si è perciò ritenuto di dover privilegiare il posizionamento relativo dei due rilievi ottenuti dai due voli ("prima" e "dopo"), piuttosto che passare attraverso il loro orientamento assoluto indipendente.

Un'estensione del procedimento della triangolazione aerea (T.A.) è sembrato idoneo per ottenere questo scopo. Nella T.A. infatti i fotogrammi sono legati fra di loro da vincoli interni, i cosiddetti punti di legame, e poi posizionati, in blocco, e dimensionati sui punti cosiddetti di appoggio distribuiti all'interno del blocco ma soprattutto sul bordo del blocco. L'estensione del principio del T.A. consiste nel fatto che si hanno due coperture fotografiche dello stesso territorio eseguite in tempi diversi e con scale medie diverse; queste due coperture vengono legate fra di loro (oltre che ovviamente all'interno di ciascuna) tramite punti di legame situati nella zona dei due voli che risulta esterna alla frana. Il legame si basa sull'ipotesi che tali punti, identici nell'una e nell'altra copertura, siano rimasti fermi nel periodo di tempo tra i due voli. Le connessioni interne alla zona in frana, proprie di ciascun volo separatamente, e le connessioni fra i due voli nella zona fuori frana, se numerose ed accurate, dovrebbero provocare quel posizionamento relativo privilegiato rispetto al posizionamento assoluto affidato ai punti del vecchio rilievo. Ciò che rende omogenei intrinsecamente i due voli è la compensazione d'insieme ottenuta imponendo la coincidenza, nell'uno e nell'altro, dei numerosi punti di legame a comune e dei pochi punti di appoggio. La compensazione rigorosa con il metodo dei minimi quadrati ottiene il risultato di posizionare i modelli in modo che siano minime le discrepanze in-

terne e quindi ottiene il risultato di un posizionamento relativo, fra i due voli, ottimale.

Questo procedimento è una novità assoluta soprattutto per la soluzione di questo tipo di problemi.

5.2.3. Scelta e distribuzione dei punti di legame

Per l'esecuzione della T.A. occorrono pertanto i seguenti punti di legame:

- a) punti di legame interni al solo volo "prima";
- b) punti di legame interni al solo volo "dopo";
- c) punti di legame comuni ai due voli.

I punti di tipo a) e b) non creano problemi giacché sono interni a voli singoli e quindi la scala e la qualità dell'immagine sono uguali.

Non così avviene per i punti di tipo c) che debbono comparire ed essere identificati con sicurezza sia nel volo "prima" a scala media 1:11.000 eseguito in primavera, sia nel volo "dopo" a scala media 1:6.000 eseguito a metà dicembre, due anni e mezzo dopo il precedente.

Queste disparità del materiale fotografico creano difficoltà nell'identificazione certa di questi punti.

Nelle T.A. di applicazione normale si usano due procedimenti alternativi:

- individuazione dei punti di legame su elementi ben visibili di particolari del terreno riconosciuti su entrambi i fotogrammi;
- individuazione di punti di legami su punti artificialmente generati mediante l'operazione stereoscopica di puntinatura eseguita con strumenti appositi.

Poiché era difficile stabilire quale dei due metodi fosse il migliore per il caso particolare per i punti a co-

mune fra i due voli, si è ritenuto di dover ricorrere ad entrambe le procedure. I punti di legame puntinati fra i due voli sono in totale 109, quelli su manufatti sono in totale 78; tutti ottenuti mediante puntinatura, sono invece 38 i punti di legame interni ed indipendenti, dei due voli.

L'operazione di scelta e di individuazione dei punti di legame ha richiesto molta cura ed attenzione: i punti di legame puntinati vanno scelti in zone di terreno abbastanza omogeneo osservando stereoscopicamente su due fotogrammi e poi trasportando lo stesso punto sempre stereoscopicamente sugli altri fotogrammi; i punti di legame su particolari topografici vanno scelti invece in zone ove esistono immagini di manufatti, scegliendo quel particolare ben definito in planimetria ed altimetria su tutti i fotogrammi del volo "prima" e del volo "dopo". Di questi punti su particolari topografici occorre fare una descrizione onde permettere all'esecutore delle misure di non commettere errori di riconoscimento.

5.2.4. Esecuzione delle misure e dei calcoli di T.A.

Terminata l'operazione di individuazione dei punti di legami, fuori frana e interni alla frana, si è dato inizio alle misure dei singoli modelli (si procedeva infatti con il metodo a modelli indipendenti) usando il restitutore analitico Planicomp C 100, costruito dalla Zeiss.

Il restitutore analitico è lo strumento che assicura oggi la maggior precisione nelle operazioni fotografometriche ed in particolare nella T.A. Le operazioni di misura su ogni modello stereoscopico sono state precedute da una verifica dello strumento mediante restituzione di un reticolo quadrettato di precisione. I risultati di questa verifica sono soddisfacenti (valore quadratico medio delle discrepanze fra misure e valore vero conosciuto, inferiore a 2μ); si è quindi proceduto alle misure sui modelli.

L'orientamento relativo analitico veniva ottenuto su 12 punti, due per ogni zona standard. Le misure venivano ripetute se una delle parallassi residue risultava maggiore di $15 \mu\text{m}$. Per gli orientamenti relativi dei vari modelli si sono ottenuti in media $4,8 \mu\text{m}$ di valore quadratico medio delle parallassi residue e $6 \mu\text{m}$ come valore più alto.

Al termine di ogni modello il calcolatore collegato allo strumento fornisce un elaborato in chiaro contenente tutte le informazioni sulle operazioni fatte e le misure eseguite, inoltre l'elenco delle coordinate modello (riferite cioè al sistema interno al modello) di tutti i punti collimati. In ogni modello le misure delle coordinate dei punti si susseguono in questo ordine:

- a) punti di appoggio fuori frana;
- b) punti puntinati fuori frana;
- c) punti puntinati in frana;
- d) punti di appoggio in frana;
- e) punti in mare;
- f) punti su manufatti in frana e fuori.

I punti a) e b) sono misurati su tutti i modelli dei due voli, i punti c) invece sono misurati sui due voli indipendentemente; i punti d) sono misurati solo sul volo "prima". Circa i due ultimi tipi di punti occorre premettere alcune informazioni chiarificatrici.

Il volo "dopo" e il volo "prima" non possono avere punti a comune lungo la fascia costiera giacché

la frana arriva fino al mare. Allo scopo di evitare che il volo "dopo" non risultasse sufficientemente vincolato in quota nel suo bordo esterno nord, si è pensato di utilizzare il livello del mare la cui quota al momento della presa dei fotogrammi è nota tramite il Mareografo di Ancona. Inoltre la collimazione stereoscopica del livello del mare risulta buona purché si prenda il punto di contatto terra acqua. Per il volo "prima" non si sono presi punti mare, giacché per tale volo si dispone di una serie di punti quotati lungo la statale Adriatica (via Flaminia).

I punti mare sono perciò stati utilizzati solo per il volo "dopo".

I punti su manufatti fuori frana, si è già visto servono a costituire un legame di tipo diverso dalla puntinatura, tra volo "prima" e volo "dopo". I punti su manufatti in frana servono a misurare gli spostamenti planoaltimetrici avvenuti a causa del movimento franoso.

Si è ritenuto infatti, che solo i punti individuati su manufatti fossero da ritenersi legati al terreno e quindi tali da rappresentarne il movimento.

I punti da restituire debbono essere sempre scelti in corrispondenza del suolo. Punti alti (per es. sui tetti) possono venire alterati in posizione a causa delle eventuali rotazioni del manufatto provocate dalla frana stessa.

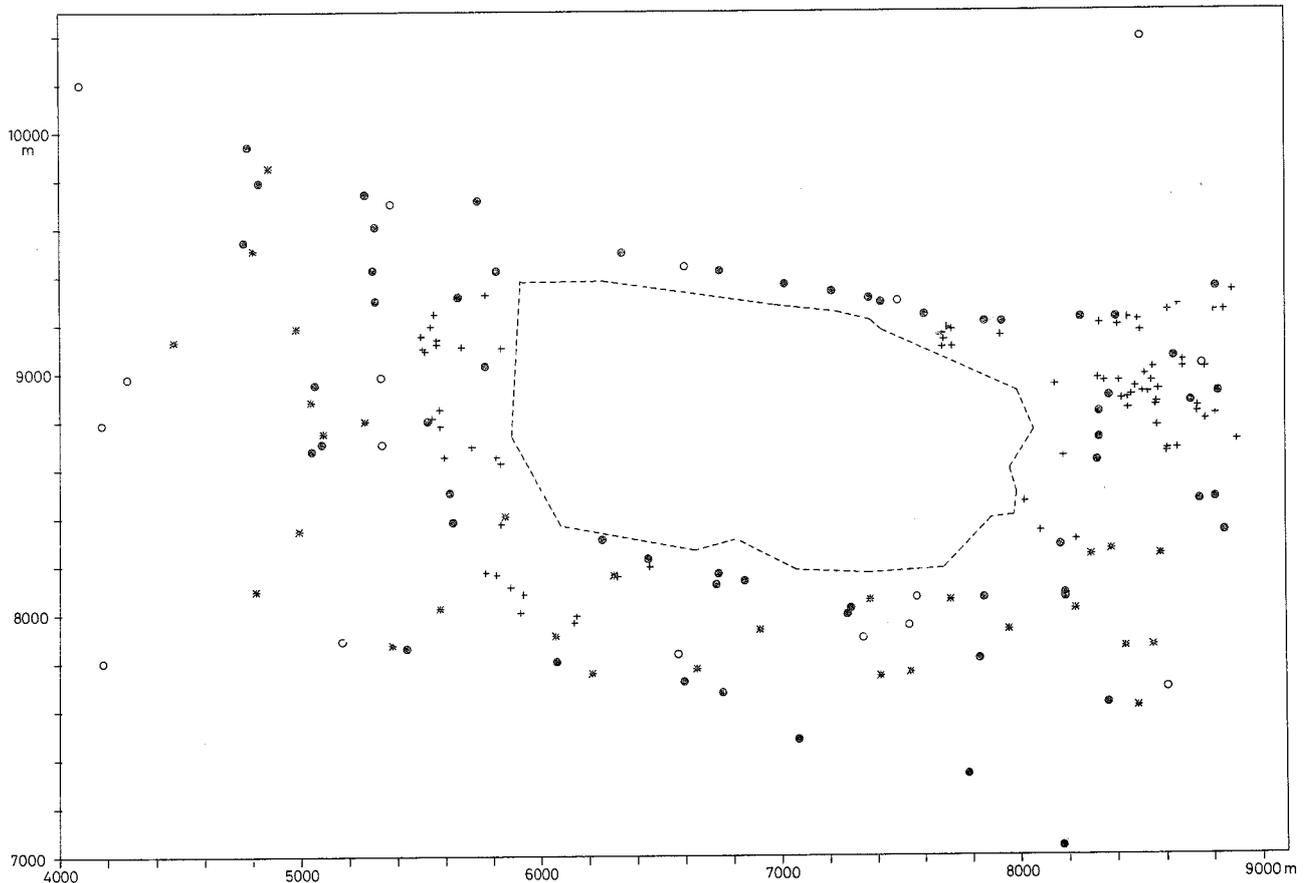
In totale il numero di questi punti su manufatti in frana è 182, quello su manufatti fuori frana è 78. Le misure su questi punti sono state eseguite durante le stesse operazioni di T.A. e le coordinate finali sono state ottenute contemporaneamente a quelle di tutti i punti di legame. Nelle Figg. 5.4 e 5.5 viene presentata la distribuzione dei punti di legame (puntinati e sui manufatti) ed i punti d'appoggio. Ciascuna tipologia ha un simbolo apposito.

5.2.5. Compensazione della T.A.

I 5 modelli del volo "prima" ed i 23 del volo "dopo", misurati con la procedura descritta in 5.2.4., sono stati compensati globalmente usando il programma di compensazione chiamato "PAT M-43" e preparato presso l'Università di Stoccarda sotto la guida del Prof. Ackerman. E' un programma già sperimentato e descritto in varie pubblicazioni. Per la compensazione sono stati usati i seguenti punti:

Come punti d'appoggio - N. 11 punti d'appoggio del rilievo della carta fuori frana, comuni ai due voli; N. 34 punti d'appoggio del rilievo della carta in frana presenti solo nel volo "prima"; N. 20 punti mare presenti solo nel volo "dopo".
Come punti di legame - N. 30 punti puntinati situati fuori frana comuni ai due voli; N. 21 punti puntinati presenti solo nel volo "prima"; N. 91 punti puntinati presenti solo nel volo "dopo"; N. 78 punti su manufatti situati fuori frana e comuni ad entrambi i voli.

La compensazione ha messo in luce alcuni errori grossolani di misura che sono stati eliminati. Il risultato di tale operazione è raccolto in un tabulato di 116 pagine che oltre alle coordinate finali compensate fornisce i residui sulle equazioni di legame e di vincolo, e una serie di dati statistici qui riportati. Il loro complesso permette di ottenere un giudizio globale sulla attendibilità dei risultati.



- * PUNTI DI LEGAME FRA VOLO "PRIMA" E VOLO "DOPO"
TIE PRICKED POINTS JOINT BETWEEN "BEFORE" FLIGHT AND "AFTER" FLIGHT
- + PUNTI SU MANUFATTI FUORI FRANA
POINTS ON BUILDING OUTSIDE THE LANDSLIDE
- o PUNTI PUNTINATI SUL VOLO "PRIMA"
PRICKED POINTS ONLY ON THE "BEFORE" FLIGHT
- PUNTI PUNTINATI SOLO SUL VOLO "DOPO"
PRICKED POINTS ONLY ON THE "AFTER" FLIGHT

----- LIMITE DI FRANA
LANDSLIDE LIMIT

Fig. 5.4 - Disposizione dei punti di legame.
Disposition of the tie points.

σ_0 in planimetria ± 0.31 m;
 σ_0 in altimetria ± 0.20 m.

Questi valori sono ricavati con le seguenti espressioni:

$$\sigma_0 \text{ plan.} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_p} \frac{(v_{xi}^2 + v_{yi}^2)}{m_p - n_p}}$$

$$\sigma_0 \text{ alt.} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_a} \frac{v_z^2}{m_a - n_a}}$$

dove i simboli hanno il seguente significato:
 m_p = numero delle equazioni alle misure in planimetria;
 v_x e v_y = residui delle equazioni alle misure;
 $m_p - n_p$ = ridondanza delle misure m_p rispetto al numero delle incognite n_p ;

m_a , v_z , $m_a - n_a$ = significato identico ai simboli analoghi già visti, ma relativi alle quote.

I valori numerici di questi parametri sono i seguenti $m_p = 2114$; $m_a = 1337$; $n_p = 894$; $n_a = 609$, quindi la ridondanza è di 1229 equazioni per la planimetria e di 728 equazioni per l'altimetria.

Seguono gli scarti quadratici medi calcolati rispetto alla media, di diverse categorie di punti:

sqm nei punti di presa	X	0.23 m	N. 38
	Y	0.17 m	N. 38
	Z	0.15 m	N. 38
sqm nei punti di legame	X	0.23 m	N. 1046
	Y	0.25 m	N. 1046
	Z	0.16 m	N. 1130
sqm dei punti di appoggio	X	0.38 m	N. 11
	Y	0.36 m	N. 11
	Z	0.34 m	N. 93

Globalmente questi risultati sembrano soddisfacenti, in particolare i valori sui punti di legame sono relativamente piccoli.

5.2.6. Misura delle sezioni per la determinazione delle deformazioni del terreno

A seguito della T.A. descritta nel paragrafo precedente si sono eseguite le misure per la determinazione delle sezioni "prima" e "dopo" frana e quindi delle deformazioni subite dalla superficie esterna della frana.

Questa operazione che equivale alla formazione del modello digitale delle altezze (D.E.M.), è stata eseguita con le caratteristiche che sono qui di seguito illustrate.

— Si è iniziato con il volo "prima". Ogni modello di questo volo è stato orientato assolutamente utilizzando solamente i punti puntinati interni al modello. Tale scelta è suggerita dal fatto che le coordinate di questi punti, uscite dalla compensazione, sono da ritenersi più omogenee. Le operazioni di misura sono state effettuate sul restitutore analitico Planicomp C 100.

— Una volta orientato assolutamente il modello si è iniziato a restituire le quote dei punti lungo sezioni dirette come la coordinata nord. Tali sezioni risultano circa normali alla costa e quindi pressapoco dirette come la frana, ed anche trasversali alla strisciata che è diretta est-ovest. Si è partiti dal modello più ad est della strisciata.

— La distanza tra le sezioni è di 20 m. Non è stato invece possibile mantenere costante l'intervallo di registrazione lungo le sezioni causa la non omogeneità del terreno: presenza di case, boscaglie, alberi isolati, vigneti.

La registrazione lungo le varie sezioni è stata allora fatta con un intervallo ove possibile prossimo ai 20 m, ma adattandolo poi di volta in volta allo stato del terreno. L'insieme dei punti restituiti costituisce un reticolato a maglie, da un lato di 20 m e dall'altro di lunghezza variabile dipendente dalla morfologia del terreno.

I punti restituiti sul volo "prima" sono circa 9.000. Le sezioni 146.

— Per ognuno dei punti sovraddetti veniva, con osservazione stereoscopica, determinata la quota. Le coordinate planimetriche e la quota misurate venivano registrate in un apposito file della memoria di massa del calcolatore che gestisce il funzionamento del restitutore.

— Le misure lungo le zone di sovrapposizione dei modelli consecutivi del volo "prima" risultano ripetute due volte, in due modelli successivi, con due differenti operazioni di orientamento assoluto, utilizzando punti puntinati solo parzialmente in comune ai due modelli consecutivi.

Queste sezioni ripetute permettono di ricavare indicazioni circa la precisione della restituzione delle quote del grigliato di punti e dal D.E.M.

— terminate le misure sulla strisciata "prima" si è iniziato il lavoro di restituzione dei modelli del volo "dopo". Si è iniziato con la strisciata n. 2A posta più a sud. Si è inoltre deciso di utilizzare per la costruzione di questo "modello digitale delle altezze", solo le due strisciate parallele n. 2A e n. 1. La terza strisciata, leggermente obliqua rispetto alle precedenti, è stata accantonata; il suo uso era solamente giustificato in T.A. per irrigidire la compensazione delle misure. Le due strisciate utilizzate coprono per

intero la zona contenuta nella sola strisciata "prima".

— L'operazione di restituzione con i fotogrammi del volo "dopo", degli stessi punti delle sezioni la cui quota era stata determinata con le misure sul volo "prima", è stata facilitata dalla possibilità di automazione propria del Planicomp. Automaticamente, tramite un opportuno programma, lo strumento percorre la stessa sezione definita dalla coordinata y. Lungo la sezione si ferma ad ogni punto avente la stessa coordinata dei punti della stessa sezione già restituiti in precedenza con i fotogrammi del volo "prima". Per ciascuno di questi punti di fermata, l'operatore restituisce e memorizza la quota del terreno. Se il punto per la mutata morfologia del terreno o per altri vari motivi non è più collimabile, viene eliminato.

Il punto viene eliminato anche se a giudizio dell'operatore risulta macroscopicamente errato.

— Anche per il volo "dopo" tutte le volte che si ha sovrapposizione fra modelli, la sezione o una parte di essa, che viene a trovarsi in tale zona, è ripetuta e quindi si ha la possibilità di fare confronti sia tra modelli lungo la stessa strisciata, sia fra modelli di strisciate adiacenti.

— La quota dei punti di sezione, ottenuta con il volo "dopo", viene memorizzata unitamente alle coordinate ed alle quote ottenute per lo stesso punto con il volo "prima". Il programma di calcolo provvede a determinare per ognuno dei punti sezione la differenza delle quote misurate e precisamente: quota punto volo "dopo" meno quota punto volo "prima".

— I punti sulle sezioni sono stati così codificati: prime tre cifre codice di sezione da 100 a 246; successive tre cifre a partire da 1 fino a numero N; N è il numero totale di punti per sezione variabile di volta in volta.

In tal modo il file ottenuto direttamente dal restitutore analitico può passare direttamente al plotter e disegnare automaticamente sia le sezioni sia le differenze di quota.

5.3. MISURA DEI MOVIMENTI DI ASSESTAMENTO

5.3.1. Impianto della livellazione di precisione di Posatora-Torrette

La Commissione istituita dal CNR per lo studio della frana Ancona '82 e della quale fece parte uno degli estensori della presente relazione si preoccupò subito di dare corso alla misura dei movimenti residui di assestamento.

Infatti un movimento di terra così ampio, repentino ed imponente come la frana Ancona '82, non era pensabile si esaurisse immediatamente dopo la fase parossistica. La misura dell'entità, della durata e della distribuzione dei movimenti di assestamento era motivata sia da ragioni sociali che da ragioni scientifiche. Le prime concernono ovviamente i problemi di sicurezza del traffico e degli interventi necessari a fermare il degrado degli edifici danneggiati; le seconde invece riguardano la possibilità di conoscere la natura delle cause determinanti qualora tuttora presenti ed agenti (in particolare le cause meteorologiche) e di aiutare ad indivi-

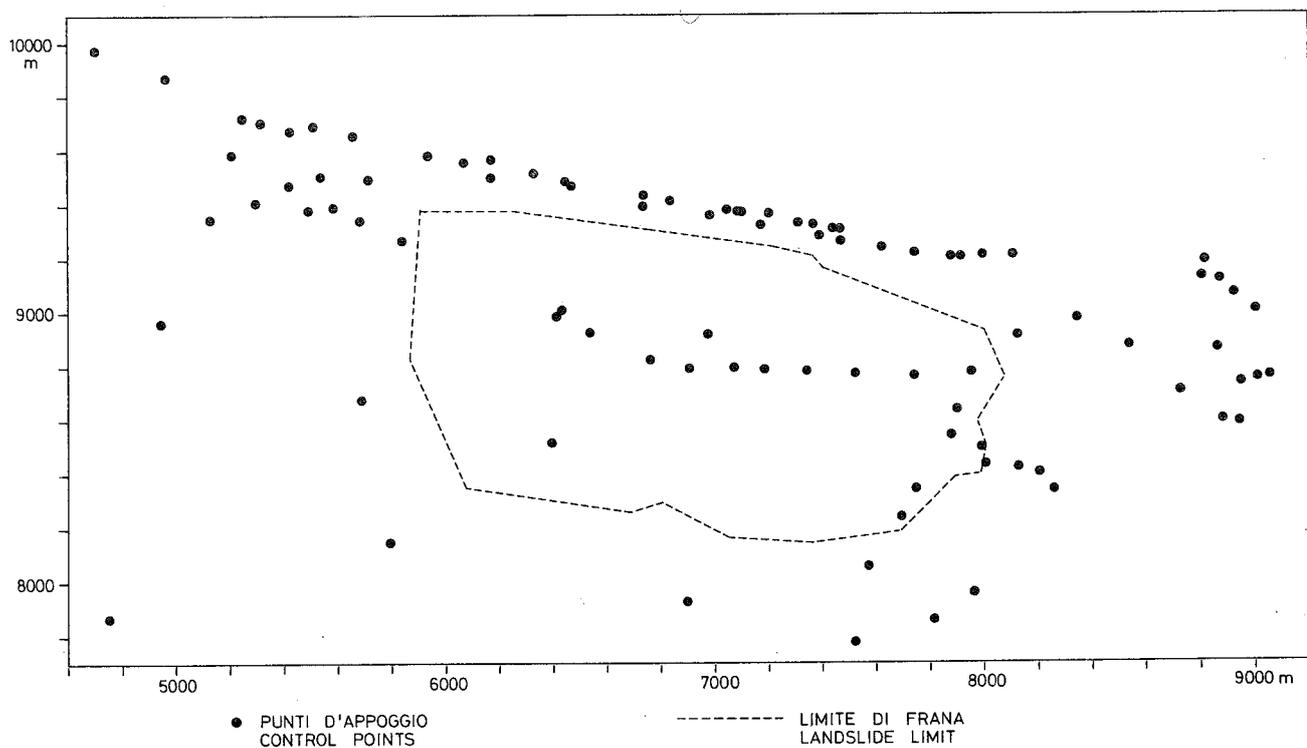


Fig. 5.5 - Disposizione dei punti di appoggio sia altimetrici che planimetrici.
Disposition of planimetric and altimetric control points.

duare la superficie di frattura in particolare la sua profondità e quindi di dirimere una delle diatribe subito sorta che è stata appunto quella relativamente alla profondità della superficie di scorrimento. Secondo il giudizio di alcuni infatti la frana potrebbe essere costituita da un insieme di frane locali di origine superficiale; è invece opinione dei membri della Commissione, opinione suffragata dalle esplorazioni geofisiche e geonostiche, che la superficie di scorrimento sia assai profonda (profondità massima 100 m circa) e che il movimento franoso sia unico con ingente movimento di terra anche subsuperficiale.

Queste misure vennero subito iniziate secondo due diversi indirizzi: la misura molto precisa degli spostamenti altimetrici di assetamento lungo la strada Posatora-Torrette che attraversa per intero a mezza costa la zona della frana (vedi Fig. 5.1); la misura dei vettori spostamento planoaltimetrici di assetamento lungo sezioni trasversali alla frana.

La livellazione geometrica, per la sua velocità e facilità di impianto e di esecuzione, è stata fra le prime operazioni eseguite sul territorio dopo la frana. Essa parte da Posatora, con un tratto di zona fuori frana, poi con una serie fittissima di capisaldi, legati ai manufatti, a distanza media di 30 m (lunghezza di una battuta fra due stadi), giunge a Torrette ove termina in zona fuori frana. Le operazioni di misura sono state condotte secondo le regole di una livellazione di alta precisione usando autolivello Zeiss Ni. 1 con lastra p.p., stadi con graduazione su invar, strumento rigorosamente nel mezzo della battuta, ripetizione delle letture sulle due graduazioni delle stadi. La linea lunga 2,5 Km circa, comprende n. 284 CS in frana ed alcune decine fuori frana.

Si può ritenere che con i procedimenti seguiti e gli

strumenti impiegati, le variazioni di quota, fra le due ripetizioni, abbiano un'errore quadratico medio che nel punto estremo non supera 2 mm. Lo confermano le differenze sui punti presumibilmente stabili, in Torrette a partire da Posatora. Le variazioni di quota riscontrabili sono, infatti (nell'ipotesi di stabilità dei due gruppi di punti posti agli estremi della linea) di questo ordine di grandezza.

Nella Tab. 5.1 sono elencate le misure eseguite a tutt'oggi, cioè entro il 1984.

N.	Data / Date
1	03.03.1983
2	30.04.1983
3	01.07.1983
4	27.09.1983
5	09.12.1983
6	03.02.1984
7	10.04.1984

Tab. 5.1 - Data di inizio delle operazioni di livellazione lungo la strada Posatora-Torrette.
Starting date of the levelling along the road Posatora-Torrette.

5.3.2. Impianto delle sezioni

Le sezioni trasversali lungo le quali misurare con procedimenti topografici classici gli spostamenti pla-

noaltimetrici di assestamento, hanno chiesto invece per la loro istituzione un certo periodo di tempo. Dapprima, con la collaborazione e la consulenza scientifica dei geologi e geomorfologi, sono state scelte le posizioni di n. 5 sezioni trasversali. In Fig. 5.1 sono riprodotte con segno grafico speciale, le posizioni planimetriche delle sezioni (sez. A, B, C, D, E).

Queste sezioni incominciano nella zona sud piú alta, in località sicuramente non connesse con il movimento franoso e scendono fino al mare seguendo spezzate la cui forma è stata imposta soprattutto dalla morfologia del terreno (si veda a riguardo la Fig. 5.2). I vertici delle spezzate sono materializzati sul terreno con picchettone a sezione quadrata con lato di 10 cm e infissi nel terreno per una profondità di 100 cm; questi vertici sono anche i punti di stazione dai quali si misurano angoli e distanze per la determinazione della posizione dei punti controllati.

Il picchettone piú in alto di ciascuna sezione è collegato alla rete nazionale cosicché le coordinate planimetriche sono date nel sistema cartografico Gauss-Boaga (non è stato però apportata alle misure la deformazione cartografica); le quote sono anch'esse derivate dalla rete di livellazione nazionale dell'IGMI.

Lungo le 5 sezioni vengono tenuti sotto controllo periodico mediante misure angolari e di distanza, tre diversi tipi di punti:

- a) picchetti piantati nel terreno, allineati lungo i lati delle sezioni;
- b) punti posti su edifici o manufatti in genere, anche fuori allineamento ma prossimi alle sezioni;
- c) punti di stazione degli strumenti di misura;
- d) punti su pozzi per inclinometri e per sondaggi.

Le distribuzioni dei diversi tipi di punti fra le varie sezioni, a partire dalla A nei pressi di Posatorá fino alla E nei pressi di Torrette, ed altre caratteristiche delle sezioni stesse sono illustrate nella Tab. 5.2.

Le misure sono eseguite con teodoliti al secondo e con distanziometri la cui sensibilità è di alcuni millimetri.

In totale sono stati messi 224 picchetti lungo le sezioni e posti sotto controllo 168 manufatti, per uno sviluppo complessivo di sezioni di 8852 m e coprendo un'area di circa 130 ha sul totale di circa 230 ha della frana.

5.3.3. Operazioni di misura e di calcolo

Terminate le operazioni di impianto delle singole sezioni che hanno richiesto oltre un mese, sono subito iniziate le misure.

In Tab. 5.3 sono riportate le date di esecuzione delle misure in corrispondenza delle diverse sezioni. Co-

Sezione/Section	A	B	C	D	L	TOT
1) Punti a / Point a	23	61	48	60	32	224
2) Punti b / Point b	32	37	28	26	45	168
3) Punti c / Point c	5	4	4	2	2	18
4) Punti d / Point d		1	9			10
Totale punti / Total points	60	103	89	89	79	420
Lunghezza / Length	1810	1473	1609	1768	2193	8853
Dislivello / Height diff.	183	202	261	161	209	

Tab. 5.2 - Numero dei punti dei differenti tipi nelle sezioni.
N. of points of different types in the sections.

N. Misure N. Measurements	Sezioni / Sections				
	A	B	C	D	E
1	19.01.83	04.02.83	14.01.83	26.01.83	08.02.83
1 bis	25.01.83		18.01.83	27.01.83	
2 bis			19.02.83		
2	23.03.83	22.03.83	25.03.83	28.03.83	24.03.83
3	17.05.83	18.05.83	20.05.83	23.05.83	26.05.83
4	27.10.83	02.11.83	09.11.83	03.11.83	11.11.83
5	12.03.84	13.03.84	14.03.84	15.03.84	16.03.84

Tab. 5.3 - Date di esecuzione delle misure sulle sezioni.
Date of the measurements on the sections.

me risulta da questa tabella la prima sezione ad essere impiantata è quella centrale (C). Ciò è ovvio essendo anche quella in corrispondenza della quale sono stati situati altri tipi di sondaggi, in particolare i sondaggi profondi per scopi geologici, geofisici e geognostici. Sempre dalla Tab. 5.3 si vede che le sezioni A, C e D sono state misurate, le prime due volte, a breve intervallo di tempo (5 o 6 giorni). Scopo di queste misure ravvicinate è quello di una preliminare verifica della precisione delle determinazioni. Sulla base della metodologia usata, degli strumenti impiegati, della esperienza operativa degli esecutori, l'errore quadratico medio delle coordinate dei punti sia su manufatti che su picchetti, all'estremo delle sezioni, ove si accumulano gli errori, dedotto teoricamente, dovrebbe essere di qualche centimetro e comunque non superiore a ± 5 cm. I dati sperimentali di cui si parlerà in seguito confermano le previsioni.

Il calcolo delle coordinate dei singoli punti del tipo a), b), c) e d), partendo dalle misure, pur semplice dal punto di vista teorico, si fa complesso se si tiene conto che per ogni operazione di misura si debbono ricavare le tre coordinate di oltre quattrocento punti; quindi dal confronto delle coordinate ottenute in periodi successivi si risale alle componenti dello spostamento. Per facilitare e sveltire questo calcolo si è provveduto a preparare un programma di calcolo automatico su elaboratore elettronico che permette di ricavare le componenti degli spostamenti planimetrici e altimetrici di assestamento parziali, cioè riferiti alla situazione immediatamente precedente, e

totali, ossia riferiti alla situazione iniziale cioè quella della prima misura dopo frana. Le componenti sono già ottenute assumendo come riferimento il sistema cartografico nazionale cui, come detto, le sezioni sono tutte collegate. La istituzione delle sezioni è stata fatta nei primi mesi dell'83, cioè in piena stagione invernale e subito dopo la frana, quando l'attività antropica era minima. Purtroppo nelle ultime misure, si è dovuto registrare una perdita di quasi tutti i punti di controllo su picchetti a causa delle riprese attività agricole e delle opere di risanamento idrologico del versante. Questo inconveniente, previsto, non arreca grandi danni giacché i movimenti di assestamento più importanti sono quelli più vicini alla data della frana, cioè relativi alle prime misure eseguite. L'analisi dei risultati di queste misure è rimandata ad un paragrafo che seguirà, nella presente relazione, ma solo per quelle misure che non compaiono su altre pubblicazioni, delle quali si daranno gli estremi in bibliografia.

5.4. RISULTATI DELLE MISURE DEGLI SPOSTAMENTI PRINCIPALI SUPERFICIALI

5.4.1. Risultati di controlli parziali

Frana Barducci

Le misure eseguite, subito dopo la frana del dicembre '82, sulla sezione già da alcuni anni istituite sulla frana Barducci hanno messo in luce spostamenti e deformazioni rappresentati graficamente nella Fig. 5.6.

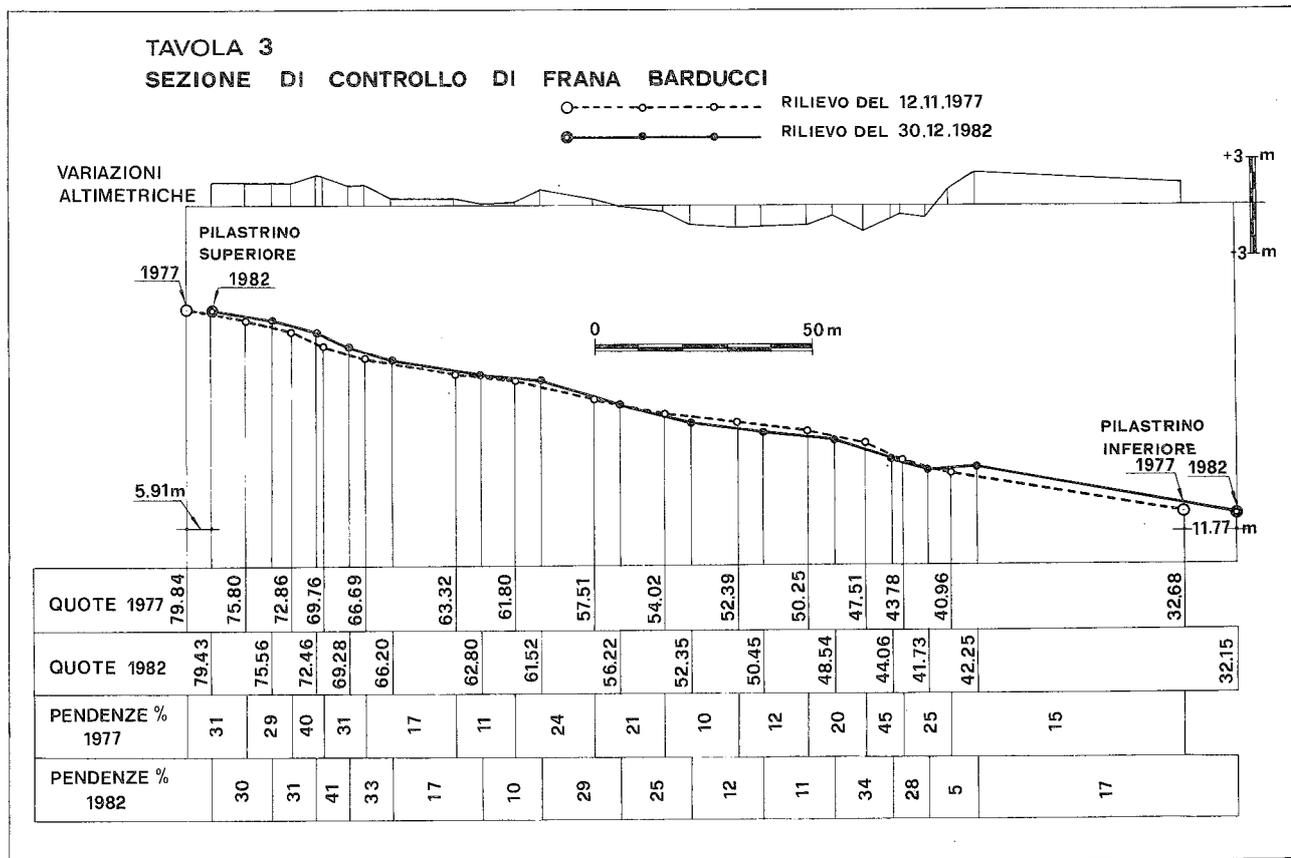


Fig. 5.6 - Spostamenti principali lungo la sezione di controllo della frana Barducci, tratto da FANGI & RADICIONI "Frana Barducci di Ancona", Boll. SIFET n. 2, 1983.

Principal displacement along the control section of the Barducci landslide, got from FANGI & RADICIONI "Frana Barducci di Ancona", SIFET Report, n. 2, 1983.

Una descrizione piú dettagliata dei risultati stessi e del procedimento con cui sono stati ottenuti è contenuta nel lavoro degli ingg. Fangi e Radicioni riportato in bibliografia. Si ripetono qui tratti da tale memoria, per completezza informativa, le principali caratteristiche del movimento: gli estremi si sono spostati verso mare: di 11 m il pilastro piú a sud, di 6 m, il pilastro piú a nord. La sezione presenta delle variazioni di forma interessanti, in particolare il formarsi di una contropendenza nella parte piú bassa della sezione. Questo fatto è di particolare importanza nell'interpretazione della meccanica della frana.

Strada Posatora-Torrette

Il confronto fra i dati della livellazione eseguita nel 1969, alla data cioè del rilievo originario a scala 1:2.000 del Comune di Ancona, e quelle eseguite nel gennaio e febbraio 1983 lungo la strada Posatora-Torrette, di cui si è parlato in 5.3.1., ha permesso di costruire il grafico di Fig. 5.7. Per interpretare correttamente questo grafico occorre ricordare che esso consiste nel confronto fra i profili altimetrici rilevati prima e dopo l'evento franoso.

Il profilo non segue una stessa sezione, planimetricamente definita, "prima" e "dopo", bensí segue un particolare topografico, la strada Posatora-Torrette, la quale, essendo investita in maniera praticamente totale dalla frana, ha subito sicuramente dei fortissimi movimenti o spostamenti orizzontali. Pertanto non si

può interpretare il grafico come il movimento verticale lungo una sezione (in questo caso longitudinale) della frana, bensí come gli spostamenti altimetrici subiti da una particolare struttura topografica del territorio, tuttora chiaramente riconoscibile anche dopo la frana, quale è appunto la strada Posatora-Torrette. Le variazioni di quota dei punti della strada sono perciò dovute soprattutto a scivolamento verso il basso della strada come conseguenza del prevalente spostamento planimetrico orizzontale. L'interesse maggiore di questa sezione è perciò soprattutto concentrato nelle variazioni di quota differenti da zona a zona. Nell'interpretazione di questi dati occorre anche ricordare che la fascia di incertezze ha ampiezza ± 40 cm, dovuta soprattutto all'incerta identificazione dei punti della vecchia livellazione.

Percorrendo il grafico da Posatora verso Torrette si incontra dapprima una zona di variazioni limitate, tale zona è situata fuori frana. Quando il grafico imbecca via Gran Sasso, si incominciano a notare i primi lievi cedimenti e poi subito un picco di 1.84 m di cedimento seguito da un rapido ritorno a zero. Si è qui in una zona molto tormentata con variazioni sia un senso che nell'altro, che possono essere collegate con fattori molto localizzati. Dopo il ritorno a zero il grafico riprende a scendere con una certa regolarità fino ad un minimo poco prima del Cimitero (1.86 m). Anche la risalita è regolare e abbastanza lenta, per tornare a valori prossimi allo zero, poco prima di Torrette, in zona ormai fuori frana.

CONFRONTO TRA LA LIVELLAZIONE E.I.R.A. 1969 E LA LIVELLAZIONE 1983

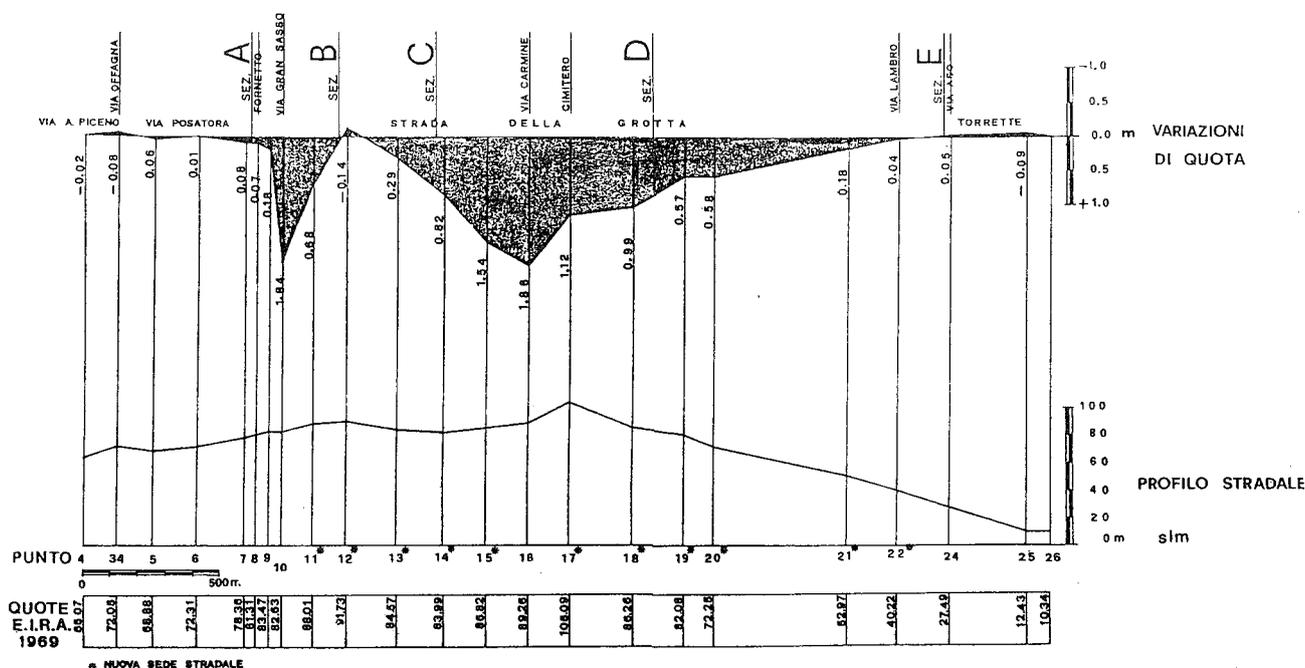


Fig. 5.7 - Variazioni altimetriche principali lungo la strada Posatora-Torrette tratto da FANGI & RADICIONI "Confronto fra due profili altimetrici precedenti e successivi alla frana di Ancona 1982", Boll. SIFET n. 2, 1984.
Principal altimetric variations along the road Posatora-Torrette, got from FANGI & RADICIONI "Comparison between altimetric profiles preceding and subsequent the Ancona landslide 1982", SIFET Report n. 2, 1984.

5.4.2. Incertezza delle misure fotogrammetriche degli spostamenti

Prima di presentare i risultati delle misure degli spostamenti con procedimento fotogrammetrico è doveroso mettere in luce l'incertezza di tali misure. Tale dato, anche se non rigorosamente, indica il limite di accettabilità di questi risultati. Quanto più si è vicino a questi valori tanto meno attendibili sono i risultati delle misure. Si dovrebbe qui parlare di probabilità, tuttavia si introdurrebbe un parametro del quale non conosciamo il comportamento stante le limitate informazioni sulla distribuzione.

Già una prima indicazione a carattere teorico proviene dagli scarti quadratici medi ottenuti in sede di compensazione della T.A. Lo sqm sui punti di legame è risultato di circa ± 0.24 m sia in x che in y, e di 0.16 m in z.

Questi valori indicano già l'ordine di grandezza che si può ottenere sugli altri punti distribuiti isolatamente. Una ulteriore indicazione proviene dalla analisi separata dei residui delle equazioni per i punti su manufatti e per quelli puntinati, entrambi i tipi situati fuori frana. I risultati sono:

	Punti su manufatti	Punti puntinati
n. punti	72	61
sqm x (m)	0.31	0.19
sqm y (m)	0.31	0.16
sqm z (m)	0.16	0.14

Questi valori danno la certezza di determinazione della singola coordinata, il movimento viene dedotto come già detto dal confronto di due coordinate definite. Si è eseguito un test sui valori di tali movimenti, che permette inoltre di dare un giudizio sulla determinazione del limite di frana fatta dei geomorfologi.

Sono state individuate due fasce, larghe ciascuna 80 m, lungo il confine di frana tracciato dai geomorfologi e dai geologi, una all'interno e l'altra all'esterno. Sono stati quindi calcolati la media e gli sqm degli spostamenti dei punti sui manufatti che si trovano rispettivamente nella fascia interna, nella fascia esterna e al di là di quest'ultima (punti detti "fuori fascia").

I risultati sono riportati nella Tab. 5.4.

Dal decremento delle medie degli spostamenti e dei loro sqm passando dalla fascia interna alla zona "fuori fascia", si deduce che il confine di frana tracciato dai geomorfologi e dai geologi corrisponde effettivamente

te alla zona in cui gli spostamenti si annullano.

Quanto al giudizio sulla fascia di incertezza delle misure degli spostamenti occorre tener presente la sola ultima riga; dai valori in essa contenuti si deducono alcune importanti conseguenze:

- La media di questi spostamenti è praticamente nulla in tutte e tre le coordinate. Ciò significa che il comportamento di questi spostamenti è casuale e quindi è da ascrivere soprattutto ad errori di misura;
- Lo sqm è più alto di quanto non si dovesse attendere dai dati precedentemente citati.

In effetti lo spostamento derivante dalla differenza di 2 coordinate misurate avrebbe dovuto essere, per i punti sui manufatti, $\sqrt{2}$ 0.30 m per le due coordinate planimetriche e $\sqrt{2}$ 0.16 m per la quota, cioè rispettivamente 0.44 m per x e per y e 0.23 m per z. I valori ottenuti e riportati in Tab. 5.4 ultima riga sono assai più alti. Le cause che possono aver determinato ciò sono le seguenti:

- tra il 1980 e il 1982 il terreno può avere subito modifiche dovute sia a movimenti naturali sia antropici;
- le misure non risultano indipendenti cioè, per esempio, gli errori in x e gli errori in y sono fra loro correlati per effetto di una comune causa perturbante.

È molto probabile che la prima delle due cause sia colpevole dell'eccesso di errore in quota, mentre alla seconda siano da ascrivere gli eccessi di errore in planimetria. La collimazione planimetrica di un elemento topografico su manufatto può presentare difficoltà comuni ad entrambe le direzioni (x e y).

5.4.3. Spostamenti determinati tramite punti su manufatti

I punti individuati su manufatti dentro e fuori frana sono in totale 390. Per ciascuno di questi punti si hanno le coordinate prima e dopo l'evento uscite dal calcolo di compensazione; da queste si ricavano gli spostamenti planimetrici ed altimetrici principali superficiali, dovuti all'evento franoso nella sua fase parossistica, quella della sera del 13 dicembre '82. La distribuzione di questi punti su manufatti è visibile in Fig. 5.8. In essa alla posizione dei punti sono aggiunti con opportuna simbologia i vettori spostamento planimetrico e la variazione di quota. Come si vede la distribuzione dei 390 punti sui manufatti non è omogenea.

N. Punti N. Points		M $ \Delta x $ (m)	$\sigma_{\Delta x}$ (m)	M $ \Delta y $ (m)	$\sigma_{\Delta y}$ (m)	M $ \Delta z $ (m)	$\sigma_{\Delta z}$ (m)
Fascia interna <i>Internal band</i>	31	-0.107	0.748	1.756	2.269	0.219	0.679
Fascia esterna <i>External band</i>	42	0.006	0.671	0.369	0.780	0.116	0.344
Fuori fascia <i>Out of band</i>	61	-0.006	0.632	0.043	0.607	0.012	0.324

Tab. 5.4 - Media e sqm degli spostamenti sui punti delle diverse fasce.
Average and standard deviation of displacements on points of different bands.

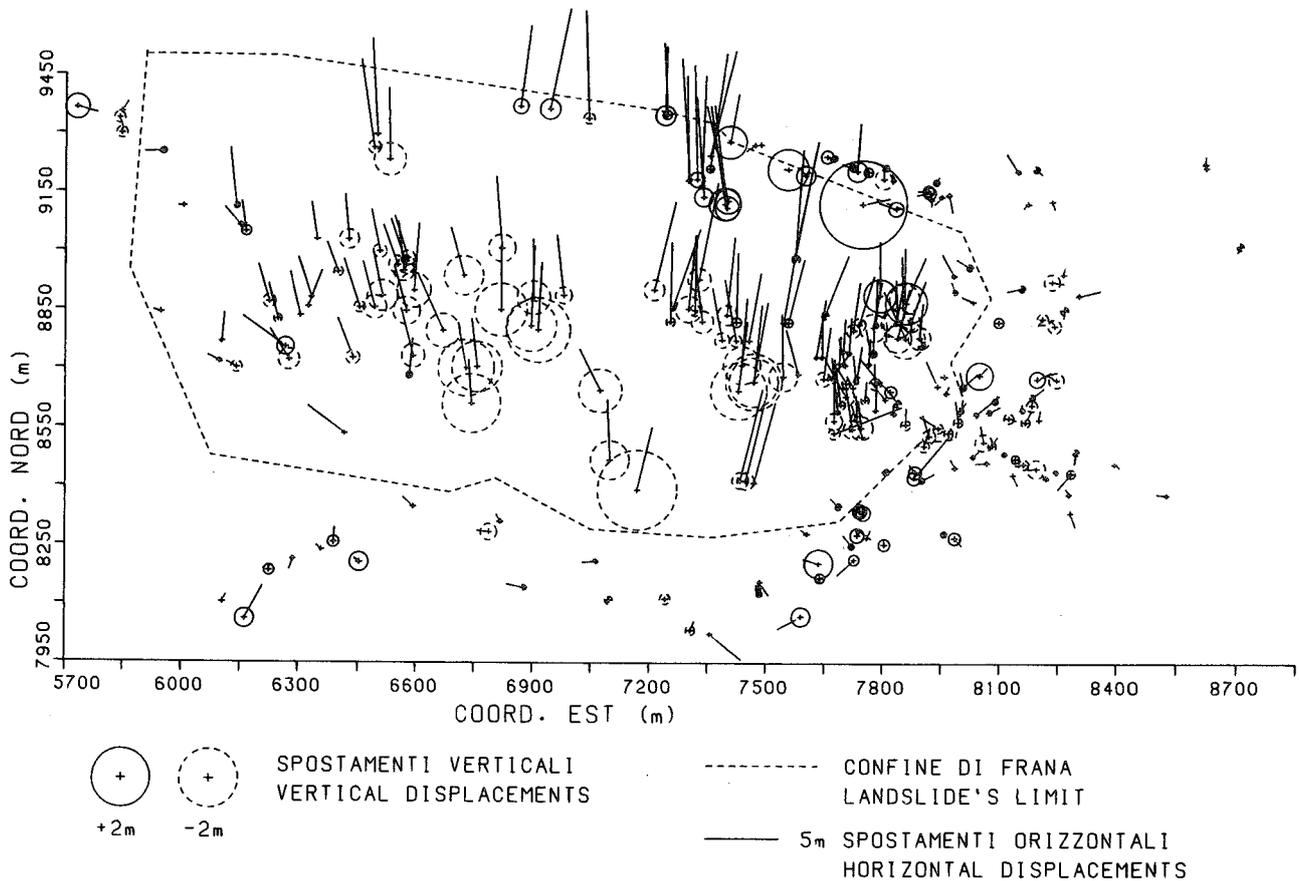


Fig. 5.8 - Spostamenti altimetrici e planimetrici principali determinati attraverso la fotogrammetria usando punti su manufatti.
Principal planimetric and altimetric displacements determined by photogrammetry using points on buildings.

Essi si concentrano notevolmente sulla zona ove passa la strada da Posatora a Torrette e lungo la costa sulla statale Adriatica. I punti sono inoltre piú densi ad ove si trova il centro abitato della città di Ancona.

Questa disomogeneità era inevitabile giacché nullo altro se non gli edifici ed i manufatti giacenti nel terreno permettevano di misurare spostamenti di punti definiti e solidali al terreno. Dall'osservazione della Fig. 5.8 si ricava tuttavia una sufficientemente dettagliata indicazione sulla entità, la direzione e la distribuzione degli spostamenti in frana.

Per aiutare la osservazione qualitativa e tentare anche un approccio di interpretazione quantitativa si sono eseguiti alcuni calcoli per mettere in luce il legame esistente tra gli spostamenti e le caratteristiche del territorio. In particolare si è studiato il comportamento delle componenti secondo y (Δy) e secondo z (Δz) degli spostamenti in funzione sia della coordinata y sia della coordinata x . Onde eliminare le influenze perturbanti delle zone marginali, per lo studio in funzione di y (la coordinata y coincide con la coordinata nord ed ha direzione normale alla costa) si è selezionata una fascia di punti compresi nell'intervallo di coordinate x tra 6400 e 7600 m; per lo studio in funzione di x (coincidente con la coordinata est parallela alla costa) la fascia selezionata è compresa fra le coordinate y 8400 e 9100 m. In Fig. 5.9 sono riportate le fasce sopra descritte. Si sono costruite quattro variabili statistiche doppie corrispondenti ai seguenti accoppiamenti:

$y/\Delta y$ lungo la fascia nord-sud
 $y/\Delta z$ lungo la fascia nord-sud
 $x/\Delta y$ lungo la fascia est-ovest
 $x/\Delta z$ lungo la fascia est-ovest

Per ogni variabile statistica doppia è stata costruita la tabella a doppia entrata, considerando come argomenti indipendenti le coordinate y ed x rispettivamente, sono state ricavate quindi le curve di regressione e variabilità; sono stati calcolati inoltre l'indice di Pearson e il coefficiente di correlazione lineare.

I valori di questi due indici sono qui riportati, dove η^2 è l'indice di Pearson e r è il coefficiente di correlazione lineare:

	$\Delta y - y$	$\Delta z - y$	$\Delta y - x$	$\Delta z - x$
η^2	0.608	0.487	0.833	0.358
r	0.621	0.622	-0.385	0.276

Con questi dati si è avuta una prima idea sulle relazioni tra gli argomenti delle quattro variabili doppie.

Si è passati poi alla determinazione di relazioni funzionali tra Δy e y , tra Δz e y , tra Δy e x e tra Δz e x , che meglio interpolano l'andamento delle curve di regressione. Come curve interpolanti sono state usate funzioni polinomiali e l'interpolazione è stata effettuata con il classico metodo dei minimi quadrati.

Sui coefficienti di queste curve sono stati effettuati tests di significatività con $\alpha = 0.05$ sulle due code.

Come risultato si è avuto che: le curve interpolanti

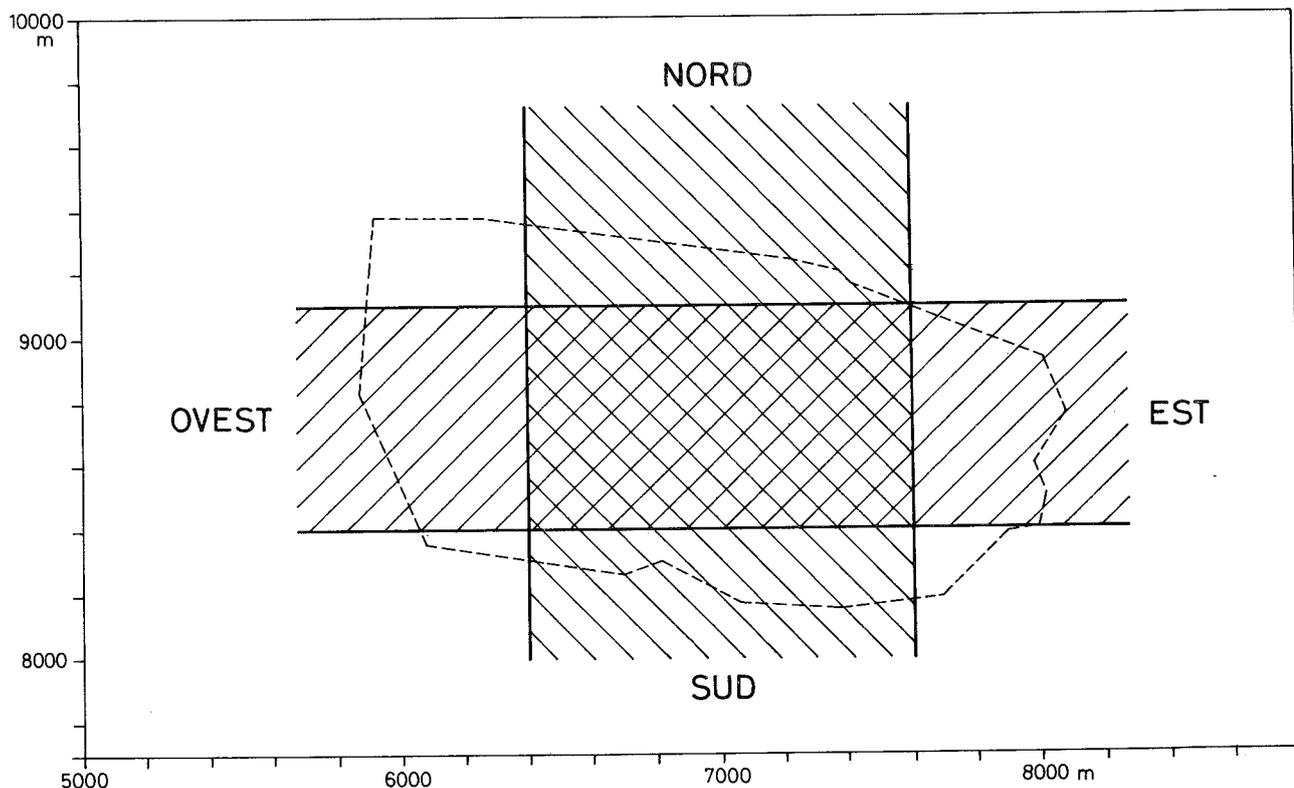


Fig. 5.9 - Limiti delle fasce all'interno delle quali si sono presi i valori degli spostamenti per il calcolo delle curve di regressione interpolanti gli spostamenti, in funzione delle coordinate N ed E.
Bands' limits in which the displacements' values have been taken for computing the regression's curves interpolating the displacements, in function of the coordinates N and E.

l'andamento degli spostamenti Δy e Δz secondo y sono delle rette; la curva degli spostamenti Δy secondo x è una cubica con il coefficiente di x^3 non significativo.

Per ogni curva di regressione è stata poi valutata la precisione dell'interpolazione attraverso il calcolo di σ_0 .

L'andamento delle curve interpolatrici è riportato nelle Figg. 5.10 e 5.11 sovrapposte alla distribuzione dei punti rappresentativi di ogni misura.

Nella tabella seguente sono riportati per ogni curva interpolatrice i valori dei coefficienti del polinomio $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$, i valori di σ_0 :

	$a(m^{-2})$	$b(m^{-1})$	c	$d(m)$	$\sigma_0(m)$
$\Delta y-y$	0	0	4.19×10^{-3}	-37.30	1.92
$\Delta y-x$	2.68×10^{-9}	-5.89×10^{-6}	-3.22×10^{-3}	3.62	1.11
$\Delta z-y$	0	0	2.31×10^{-3}	-21.13	0.65
$\Delta z-x$	-2.97×10^{-9}	1.26×10^{-7}	8.21×10^{-4}	- 4.99	0.50

Nel calcolo della curva interpolatrice degli spostamenti Δz secondo y non si è tenuto conto dei punti fuori frana. Infatti in corrispondenza della zona di distacco esiste una netta discontinuità visibile chiaramente anche sul grafico.

E' particolarmente significativo il fatto che l'andamento della curva degli spostamenti Δy secondo x , presenti un massimo al centro della fascia in frana mentre si annulla ai margini della stessa. Gli spostamenti planimetrici maggiori sono perciò al centro della zona franata.

Un comportamento quasi analogo è denunciato dal-

l'andamento degli spostamenti Δz secondo x . Anche qui come per la y gli spostamenti e le variazioni di quota maggiori, si hanno al centro della fascia. Un comportamento di questo tipo non può essere che interpretato nel senso di corroborare l'ipotesi della frana unica con superficie di scorrimento profondo. Infatti ammettendo che la superficie di scorrimento giunga praticamente alla superficie agli estremi della fascia diretta normalmente al movimento della frana stessa e che quindi abbia un minimo (massima profondità) al centro del suo andamento, è ovvio aspettarsi i massimi spostamenti al centro. Al contrario se la frana fosse superficiale, gli spostamenti sarebbero stati quasi omogenei lungo l'intera fascia.

5.5. I RISULTATI DELLA MISURA DELLE DEFORMAZIONI DELLA SUPERFICIE DEL TERRENO

5.5.1. Incertezza delle misure lungo le sezioni

La misura della quota di punti lungo le sezioni istituite in direzione nord-sud, in modo da formare un reticolato a maglia per quanto possibile quadrata a lato di 20 m, è stata eseguita a parte orientando assolutamente i singoli modelli sui punti puntinati interni a ciascun modello le cui coordinate sono state determinate tramite la T.A. A causa di ciò non si è autorizzati a trasferire a queste misure la stessa incertezza ricavata per le tre coordinate dei punti sui manufatti di cui si è par-

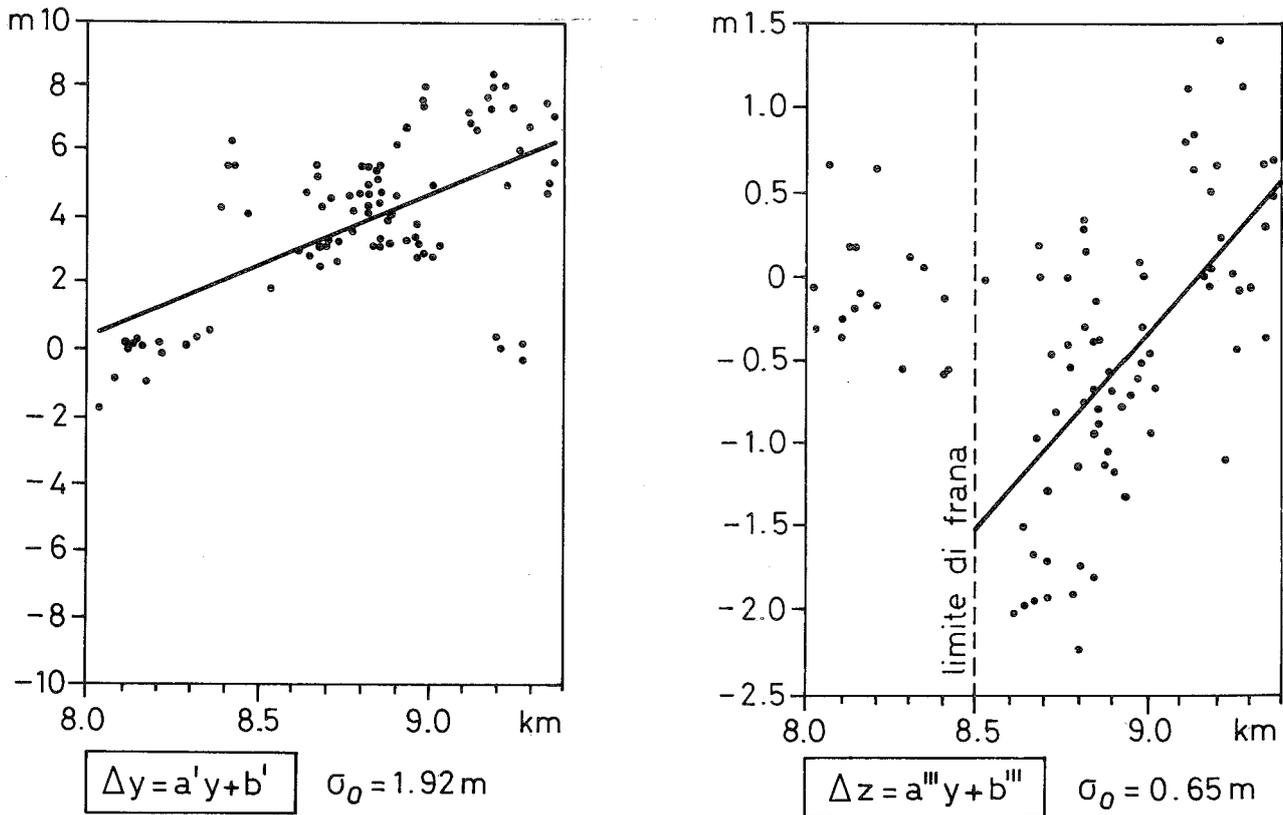


Fig. 5.10 - Distribuzione degli spostamenti Δy e Δz lungo la fascia nord-sud e curve interpolatrici.
Distribution of the principal displacements Δy and Δz along the band North-South and interpolating curves.

lato in 5.4.2. E' pertanto opportuno, al solito scopo di avere un termine di riferimento nel giudicare l'attendibilità dei risultati, ricavare con processo intrinseco a questa nuova operazione l'incertezza delle misure della quota del grigliato di punti. Si possono ricavare indicazioni sulla incertezza delle misure tramite due tipi di informazioni: quella derivante da alcune sezioni ripetute entro lo stesso modello e quella deducibile dalle misure di sezioni ripetute in due modelli distinti. Le prime informazioni riguardano l'incertezza dovuta alla sola collimazione stereoscopica in quota; la seconda riguarda oltre alla incertezza di collimazione, anche l'incertezza di orientamento del modello stereoscopico nelle due misure distinte. Qui si parla di sola incertezza nella misura della quota "prima", cosicché lo strumento si posiziona sul punto con le coordinate preordinate con la precisione degli organi strumentali, ovvero con incertezza inferiore a $2 \mu\text{m}$ alla scala del fotogramma. Questo posizionamento secondo x e y risente però anche degli errori planimetrici di formazione del singolo modello.

Questi errori planimetrici inducono errori di misura in quota in quanto il punto della superficie del terreno che viene a trovarsi a quelle coordinate è spostato, in assoluto, rispetto alla posizione precedente. Questo errore è presente però anche nelle prove fatte ripetendo spezzoni di sezioni in due modelli distinti; infatti anche per il posizionamento dei punti di questi spezzoni si utilizza il riposizionamento automatico strumentale.

Nella Tab. 5.5 sono riportati i risultati di questi controlli relativamente alle sole misure in modelli diversi.

L'analisi di questi risultati porta a formulare le seguenti osservazioni:

Volo / Flight	N.	M	σ
Prima / Before	498	-0.003 m	0.26 mm
Dopo / After	907	0.004 m	0.20 mm

Tab. 5.5 - Media e sqm delle differenze di coordinate di uno stesso punto di sezione in due modelli distinti.
Average and standard deviation of the differences of coordinates of the same section point in two separate models.

- le medie delle differenze sono praticamente nulle;
- gli sqm sono leggermente maggiori per le sezioni del volo "prima", rispetto a quella del volo "dopo"; il volo "prima" infatti è stato fatto a quota relativa maggiore;
- questi valori sono ottenuti dal confronto di due misure indipendenti, quindi il contributo di ogni misura si ottiene dividendo questi valori per $\sqrt{2}$; si ha così una conferma dei valori degli sqm sui punti di legame ottenuti dalla compensazione delle T.A.

5.5.2. Rappresentazione grafica dei risultati

I risultati delle misure venivano automaticamente memorizzati in appositi files della memoria dello strumento. Automaticamente il calcolatore eseguiva la differenza tra la quota "prima" e la quota "dopo", e memorizzava la differenza ottenuta. Nei files della me-

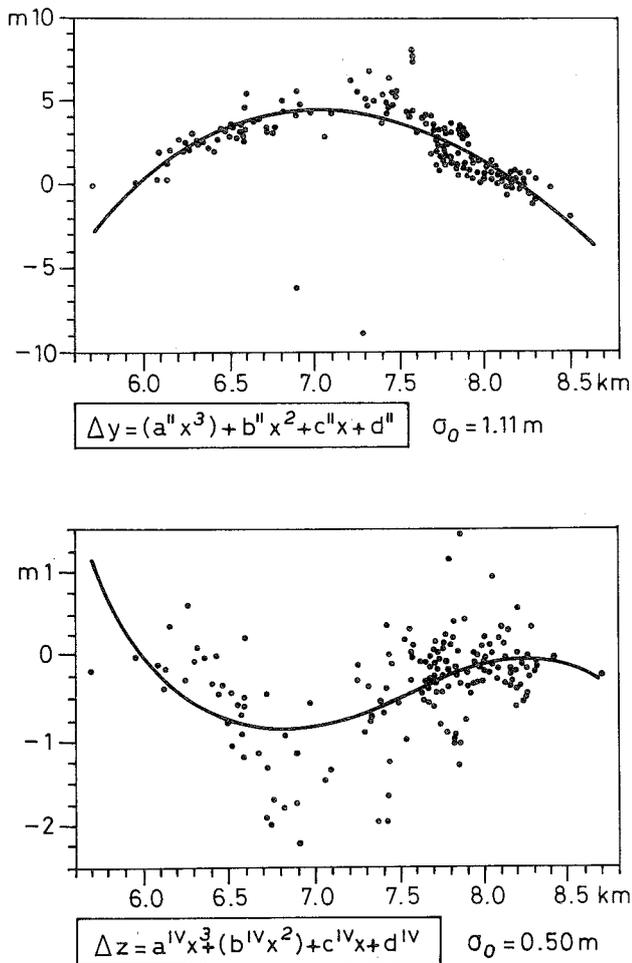


Fig. 5.11 - Distribuzione degli spostamenti principali Δy e Δz lungo la fascia est-ovest e curve interpolatrici.
Distribution of the principal displacements Δy and Δz along the band East-West and interpolating curves.

moria del calcolatore, poi riportati su nastro, i dati sono elencati fornendo per ogni punto del terreno:

- il numero della sezione;
- il numero del punto nella sezione (le sezioni iniziavano sempre dalla parte sud al limite della copertura del volo "prima");
- le coordinate x,y del punto stesso;
- la quota del punto ottenuta dal volo "prima";
- la quota del punto ottenuta dal volo "dopo";
- la differenza fra la quota "prima" e la quota "dopo".

In totale le sezioni sono 146, i punti sono 8.800, cioè in media 61 punti per ogni sezione.

La lunghezza delle sezioni varia tra un massimo di 1.600 m a ovest ad un minimo di 1.200 m a est. L'estremo sud delle sezioni è generalmente il più alto; la quota di tale estremo è molto variabile e giunge al massimo circa in corrispondenza del centro del rilievo. Tutte le sezioni terminano a livello del mare.

Con i dati memorizzati come detto si è provveduto a tracciare il profilo delle sezioni ottenute dal volo "prima" e, sovrapposto a questo con scala maggiore e con segno grafico diverso, il grafico delle differenze di quota. Nella Fig. 5.12 si riportano sei di queste sezioni (una ogni 20).

La prima e l'ultima sono relative a zone fuori frana. Le oscillazioni del grafico delle differenze in queste sezioni fuori frana sono dovute sia agli errori di misura sia a variazioni di quota del terreno fra il 1980 e il 1982.

Tali movimenti a detta dei geologi non sono improbabili.

Infatti una zona a sud-est del rilievo per sezioni, interamente fuori frana e lontana dalla frana, presenta differenze di quota sistematicamente positive (variazione negativa della quota). La preoccupazione degli operatori che avevano timore di un orientamento assoluto distorto di uno dei due modelli, è stata fugata dalla constatazione da parte dei geologi che tale zona di territorio è notoriamente coinvolta da movimenti franosi. Questo dato serve a giustificare il fatto che non si è voluto assumere come indicazione dell'errore di misura il valore quadratico medio delle discrepanze fuori frana.

La densità dei punti sui quali si è costruita la descrizione delle informazioni della superficie esterna è molto grande ed è impossibile riprodurre tale distribuzione a scala sufficientemente piccola per poterla allegare alla presente memoria. Si è allora costruito il piano quotato delle variazioni di quota fra prima e dopo la frana utilizzando tutti gli 8.800 punti sezione. La costruzione del piano quotato alla scala 1:2.000 è stata fatta direttamente dal computer tramite un plotter. In questo piano quotato così costruito si sono interpolate le curve di ugual variazione della quota superficiale. Tale interpolazione, eseguita a vista, è stata facilitata dalla grande densità dei punti.

La rappresentazione delle sole curve di uguale variazione, con equidistanza di 1 m, è riportata a scala sufficientemente ridotta nella Fig. 5.13. Questa figura mostra ove si sono verificati difetti di massa e dove invece si sono accumulati gli eccessi di massa.

Grosso modo si può dire che la zona di transizione tra eccessi e difetti di massa ha andamento inclinato nord-ovest sud-est con andamento e posizione molto prossimi a quelli della strada Posatora-Torrette. Questa linea coincide parzialmente con uno dei trenches connessi con frane antiche.

Inoltre, una più dettagliata analisi della Fig. 5.13 porta alla formulazione delle seguenti osservazioni per ora qualitative. Un'analisi quantitativa dettagliata dell'equilibrio esistente tra difetto ed eccesso di masse e della direzione media di migrazione delle terre è attualmente allo studio. Essa sarà oggetto di un contributo ulteriore.

Le osservazioni qualitative emergenti dalla Fig. 5.13 sono:

- a) le zone marginali a est e ovest risultano mal definite; per quanto si è già detto in queste zone gli spostamenti diminuiscono e si confondono con gli errori;
- b) gli errori di misura delle variazioni per quanto ricavato in 5.5.1. sono poco inferiori a 0.5 m, pertanto l'equidistanza minore, compatibile con tale situazione di errore, è quella di 1 m, un dettaglio maggiore avrebbe reso confusa e forse erronea la visione globale del fenomeno;
- c) le curve di ugual variazione di quota sono state tracciate interpolando "ad occhio" fra i valori delle variazioni tenendo presente il limite di errore;
- d) la linea dello zero più a Sud coincide praticamente con il limite di frana determinato dai Geomorfologi; ad est e ad ovest tale coincidenza non sussiste per le ragioni dette in a);

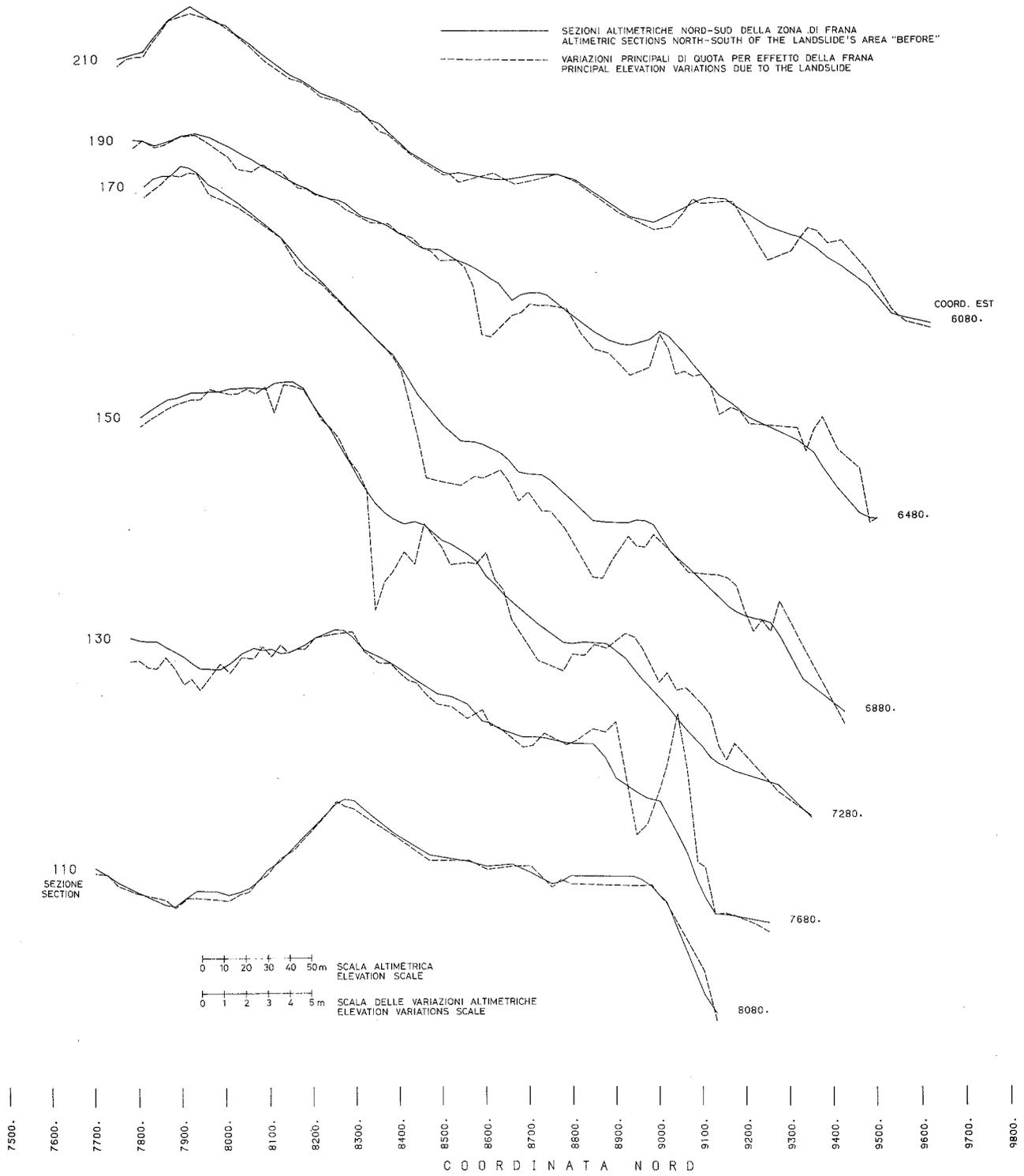


Fig. 5.12 - Sei sezioni altimetriche indicative della deformazione del terreno.
Six altimetric sections showing the terrain's deformation.

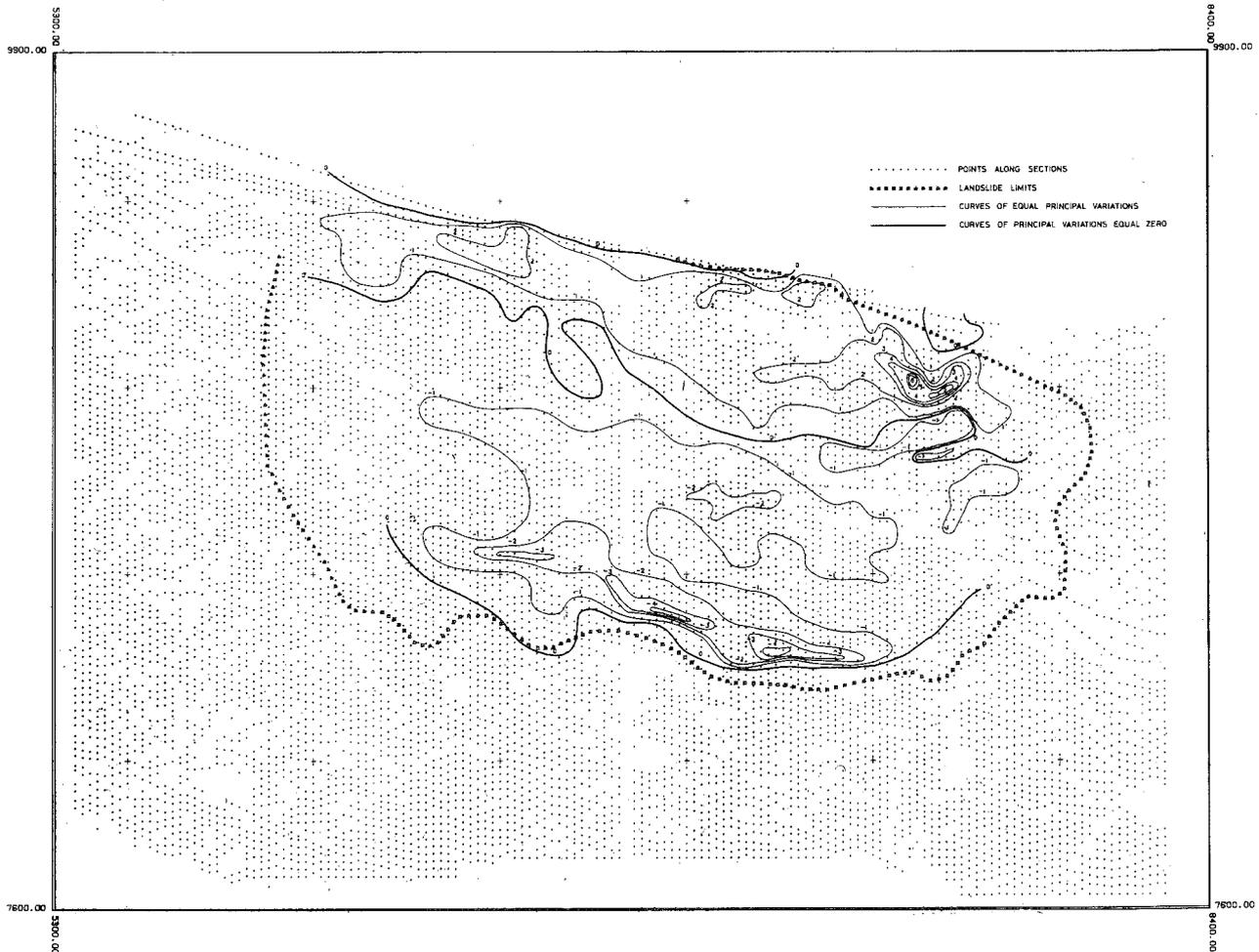


Fig. 5.13 - Rappresentazione a curve di livello della deformazione del terreno.
Contour lines map of the terrain's deformation.

- e) la linea dello zero intermedia, che separa la zona delle variazioni negative, piú a sud, dalla zona delle variazioni positive, piú a nord, ha un andamento obliquo parallelo e quasi coincidente con la strada Posatora-Torrette;
- f) un'altra linea di zero, piú a nord, corre lungo il litorale;
- g) le zone ove si hanno le maggiori variazioni negative sono allungate, parallele alla zona di limite sud, e ad essa molto accostate; le zone ove si hanno le maggiori variazioni positive sono concentrate a nord-est della zona di frana, in prossimità del punto ove iniziano le infrastrutture portuali di riporto; una zona con variazioni positive meno accentuate si allunga parallelamente alla linea di costa, fino al limite estremo ovest della frana;
- h) la presenza della linea di zero lungo la costa al nord non consente di supporre una zona di innalzamento, al di là della linea di costa, del fondo marino.

5.6. ANALISI DEI MOVIMENTI DI TERRA CON IL METODO DELLA COLLOCAZIONE

5.6.1. Il metodo della collocazione minimi quadrati

Sia v la differenza di quota ("prima" - "dopo") determinata nel reticolato di punti delle sezione prima descritto, per ciascuno dei punti degli incroci.

Si supponga che ogni v , sia scomponibile in due parti: $v = s + n$ chiamate rispettivamente segnale (s) e rumore (n). Il segnale è una parte del processo stocastico legato alle differenze di quota che non è indipendente da tutto ciò che accade all'intorno del punto stesso, mentre il rumore è quella parte dovuta solo alle condizioni strettamente locali (per esempio all'errore di misura), che pertanto non dipende da ciò che succede nei punti vicini. Una parte di v è legata, o meglio, correlata con tutti valori del processo determinati in un intorno; infatti un punto P , probabilmente, avrà subito un abbassamento simile a quello dei punti all'intorno. Il segnale è costituito dalla parte delle variazioni di quota che, in ciascun punto P , risulta correlata in un certo modo, con gli altri punti che lo circondano. Non così invece il rumore (n) che è indipendente dai valori sia di s che n sui punti vicini. Il metodo della collocazione si prefigge di determinare per ogni punto sia il valore di s che quello n , ed anche, volendo, di interpolare i valori incogniti di s in punti sui quali non si è misurato v .

Per risolvere il problema di determinare in ogni

punto sia il valore del segnale sia quello del rumore, ovviamente, trattandosi di un processo stocastico del quale si ha solo una determinazione casuale e non l'intera popolazione si dovranno testare le stime sia di s (che saranno chiamate \hat{s}) sia di n (che saranno chiamate \hat{n}). Il procedimento ammette soluzione solo se sono accettabili le seguenti ipotesi:

- si ipotizza che le differenze v rappresentano un processo stocastico, cioè ogni valore di v in ogni punto del territorio è una estrazione da una variabile casuale; altrettante estrazioni da variabili casuali saranno s ed n in ogni punto; pertanto del processo stocastico v si conosce una sola realizzazione;
- si cerca la stima migliore \hat{s} dei valori del segnale in ogni punto, imponendo che l'errore quadratico medio della stima sia minimo:

$$E^2 = M(e^2) = M(\hat{s} - s)^2 = \text{minimo}$$

- si suppone che il valore del segnale in un punto sia una combinazione lineare dei valori in tutti i punti sui quali si è fatta la determinazione di v :

$$s_i = \sum_{j=1}^N \lambda_{ij} v_j$$

ove N è il numero totale dei punti e λ_{ij} è il coefficiente che quantifica l'influenza di v_j su s_i ;

- si ritiene che il rumore n sia assolutamente indipendente ed inoltre che abbia media nulla in ogni punto: $M(n) = 0$;
- si ammette che il segnale s_i in un punto P_i dipenda dai v_j circostanti in modo che i v ugualmente distanti dal punto ove si calcola s_i (ovvero sono contenuti in una corona circolare con centro in P_i di ampiezza opportuna) abbiano la stessa influenza nella formazione degli s_i ; pertanto questa influenza dipende solo dalla distanza ma non dalla posizione assoluta.

Il procedimento di calcolo passa quindi ad esprimere le precedenti relazioni in forma matriciale; applicando poi la condizione di minima varianza del segnale s , si risolve il sistema con la seguente espressione:

$$\hat{s} = C_{ss} C_{vv}^{-1} \quad \text{A)}$$

In questa espressione i simboli vanno così intesi:

- \hat{s} = matrice lineare o vettore formato da tutti i valori delle stime del segnale su tutti i punti P_i ;
 - v = matrice lineare o vettore di tutte le differenze misurate sui punti del reticolato (realizzazione del processo);
 - C_{vv} = matrice di covarianza delle differenze v , ovvero insieme ordinato delle medie dei prodotti fra tutti i possibili valori delle differenze v , sui due punti i e j del reticolato, lungo la diagonale principale di questa matrice si hanno le varianze σ_v^2 delle popolazioni dei possibili valori delle differenze di quota v , in ciascun punto;
 - C_{ss} = matrice di covarianza del segnale, ovvero insieme ordinato delle medie dei prodotti fra tutti i possibili valori del segnale s su due punti i e j del reticolato, lungo la diagonale principale di questa matrice si hanno le varianze σ_s^2 delle popolazioni dei possibili valori del segnale s in ciascun punto.
- Per poter risolvere il problema della determinazio-

ne del segnale s in ogni punto, occorre conoscere a priori sia la matrice C_{vv} che la matrice C_{ss} .

Per ricavare poi, per ogni punto, il rumore, si ricordi che $v = s + n$; quindi una volta noto \hat{s} , si ricava \hat{n} , ricordando che v , una delle possibili realizzazioni del processo stocastico, è nota.

Nel paragrafo seguente si vedrà come praticamente si ricavano C_{vv} e C_{ss} .

Con un'espressione analoga a quella per il calcolo del segnale nei punti di misura delle differenze v si può calcolare il valore del segnale in qualunque altro punto interpolato. L'espressione sarà:

$$\hat{s}_p = C_{sps} C_{vv}^{-1} v$$

nella quale \hat{s}_p è il simbolo del segnale nel punto interpolato o segnale predetto, mentre C_{sps} è la matrice di covarianza del segnale predetto con i segnali su tutti gli altri punti. Anche questa matrice va conosciuta a priori per poter risolvere il problema.

5.6.2. La stima della funzione di covarianza di un processo stocastico

Si prenda in esame la matrice C_{vv} . Essa sarà quadrata avendo tante righe e tante colonne quanti sono i punti del reticolato. In ogni casella della diagonale principale è contenuta la varianza della differenza v in quel punto; si ricordi che v in ciascun punto è una variabile casuale.

Nelle altre caselle saranno contenuti i valori delle covarianze fra coppie di punti. Di questa matrice non si conosce nessun valore singolo.

Infatti non si possiedono le variabili casuali dei v in ciascun punto. Occorre allora accontentarsi di una stima dei valori di questa matrice. Queste stime vengono ricavate con questo procedimento che sfrutta l'ipotesi e) accennata nel precedente paragrafo:

— nelle caselle della diagonale principale è riportato il valore della varianza generale dei v disponibili ottenuta con la formula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N-1}$$

ritenuta una stima valida di ciascuno degli N valori di σ^2 , propri di ogni punto;

— nelle caselle esterne alla diagonale principale sono riportate le stime delle covarianze. Queste stime vengono ottenute con un procedimento che calcola innanzitutto i valori γ_k come media del prodotto dei v_i in ogni punto per la media dei v_j contenuti in una corona circolare con centro nel punto cui spetta il valore v_i , con la seguente relazione:

$$\gamma_k = \frac{\sum_{i=1}^N v_i \left(\sum_{j=1}^{n_i} \frac{v_j}{n_i} \right)}{N}$$

ove l'indice k stabilisce la corona circolare di ampiezza $\Delta\alpha$ e distanza prefissata D_k (vedi Fig. 5.14).

I valori γ_k sono delle stime empiriche della covarianza fra i valori dei v_i ed i valori dei v_j posti ad una distanza D_k dai v_i e interni alla corona circolare di

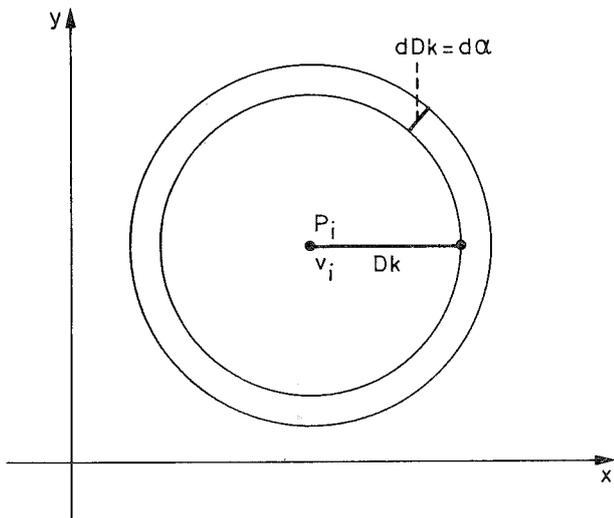


Fig. 5.14 - Corone circolari per i punti interni alle quali si calcola la covarianza rispetto al punto centrale.
 D_k = raggio interno della corona circolare;
 P_i = punto generico del terreno;
 V_i = valore della variazione di quota sul punto P_i per effetto della frana;
 $dD_k = d\alpha$ = ampiezza della corona circolare.
Circular crowns inside of them the covariance is computed with respect to the central point.
 D_k = internal radius of the circular crown;
 P_i = ground's point;
 V_i = value of the elevation variation on the point P_i due to the landslide;
 $dD_k = d\alpha$ = widenes of the circular crown.

ampiezza $dD_k = d\alpha$. Per ogni valore di D_k si ha perciò un valore di γ_k . Questi punti sperimentali, riportati su un piano (D_k, γ_k), hanno in generale il valore massimo all'inizio (per D_k piccolo) e decrescono rapidamente al crescere della distanza D_k con oscillazioni più o meno ampie. Si interpola fra questi punti una curva continua di forma opportuna e con caratteristiche speciali richieste dal particolare tipo di problema. Questa curva prende il nome di "funzione della covarianza" in funzione della distanza. Essa permette di calcolare una stima della covarianza fra le variabili casuali proprie di due punti i e j sui quali si sono ottenuti i valori v_i e v_j delle differenze. Tramite questa curva si ottiene la matrice C_{vv} o meglio una sua stima.

Per ricavare la stima \hat{s} del segnale secondo la relazione A) occorre però anche stimare la matrice di covarianza del segnale \hat{s} . Si dimostra facilmente che al calcolo di \hat{s} si può sostituire il calcolo di \hat{n} (rumore) in ogni punto.

La relazione diventa:

$$\hat{n} = C_{nn} C_{vv}^{-1} v \quad B)$$

dove C_{nn} è la matrice di covarianza del rumore. Tuttavia poiché, per ipotesi il rumore è incorrelato sia internamente che esternamente, la C_{nn} è costituita dalla sola diagonale principale che contiene le varianze del rumore in ogni punto. Di questa varianza si può ricavare una stima ricordando che $v = s + n$ e che quindi $\sigma_v^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2$. Noti due di questi valori resta noto anche il terzo. Già si è calcolato σ_v^2 che è il valore messo nella

diagonale principale della C_{vv} . Viene ora stimato σ_s^2 , ricorrendo alla funzione di covarianza. Essa infatti esprime l'intensità del legame fra il valore v_i ed i valori v_j posti a distanze crescenti da v_i ; cioè l'andamento della parte correlata di v_i , appunto dovuta al segnale.

L'intersezione della funzione di covarianza con l'asse delle ordinate ($D_k = 0$) viene allora assunta come una stima di σ_s^2 . Tramite questo valore si ricava σ_n^2 e lo si usa nella B) per ottenere \hat{n} .

Dati \hat{n}_i , essendo noto v_i , si ricava \hat{s}_i dalla relazione $\hat{s}_i = v_i - \hat{n}_i$.

5.6.3 Analisi degli spostamenti principali sui manufatti con il metodo della collocazione

Per poter effettivamente ottenere i valori del segnale stimato \hat{s} nei vari punti di misura occorre ancora precisare come fissare il valore dell'ampiezza dD_k della corona circolare da usarsi per il calcolo dei valori tra i quali interpolare la funzione di covarianza. Poiché la distribuzione dei punti non è uniforme cioè i dati di partenza non sono equispaziati, per effettuare le migliori stime empiriche della funzione di covarianza è necessario ottenere un intervallo dD_k di lunghezza ottimale: infatti un intervallo troppo piccolo risulta pressoché vuoto, mentre uno troppo grande contiene dati di provenienza troppo diversa. Un criterio empirico efficace è quello di cercare dD_k in modo che sia minima la differenza $\sigma_v^2 - \gamma_1$, ovvero la differenza fra la varianza totale e il valore della covarianza nella prima corona circolare. In tal modo si massimizza la parte del dato interpretata, cioè attribuita al segnale, e si minimizza quella attribuita al rumore. Infatti γ_1 è molto prossimo a σ_s^2 e quindi massimizzando γ_1 si massimizza anche σ_s^2 . La ricerca viene fatta con processo iterativo sul calcolatore. Si badi che tutto il processo della collocazione è realizzabile solo tramite un programma di calcolo automatico su elaboratore di grande capacità di memoria. Attraverso queste prove si è ottenuto che il valore di dD_k ottimale è 115 m per gli spostamenti secondo x e y , e 110 m per gli spostamenti in quota. Con questa ampiezza della zona circolare si sono calcolati i valori empirici delle covarianze in corrispondenza delle varie distanze. La funzione di covarianza che meglio approssima i valori empirici è:

$$\gamma = a e^{-bD} J_0(cD)$$

dove J_0 è la funzione di Bessel di ordine zero, dove D è la distanza e gli altri coefficienti sono riportati nella tabella seguente unitamente alla varianza σ_v^2 degli spostamenti e alla varianza σ_n^2 del rumore, per ciascuna delle tre coordinate:

	$\sigma_v^2(m^2)$	$a = \sigma_s^2(m^2)$	$b(km^{-1})$	$c(km^{-1})$	$\sigma_n^2(m^2)$
γ_{xx}	0.65	0.16	1.28	4.19	0.49
γ_{yy}	4.91	4.39	0.19	3.14	0.52
γ_{zz}	0.39	0.21	0.86	4.82	0.18

I valori delle covarianze empiriche e le funzioni per ricavare le covarianze stimate sono riportate in Fig. 5.15.

Successivamente è stato effettuato il filtraggio sull'insieme dei valori di spostamento (265 valori per ogni

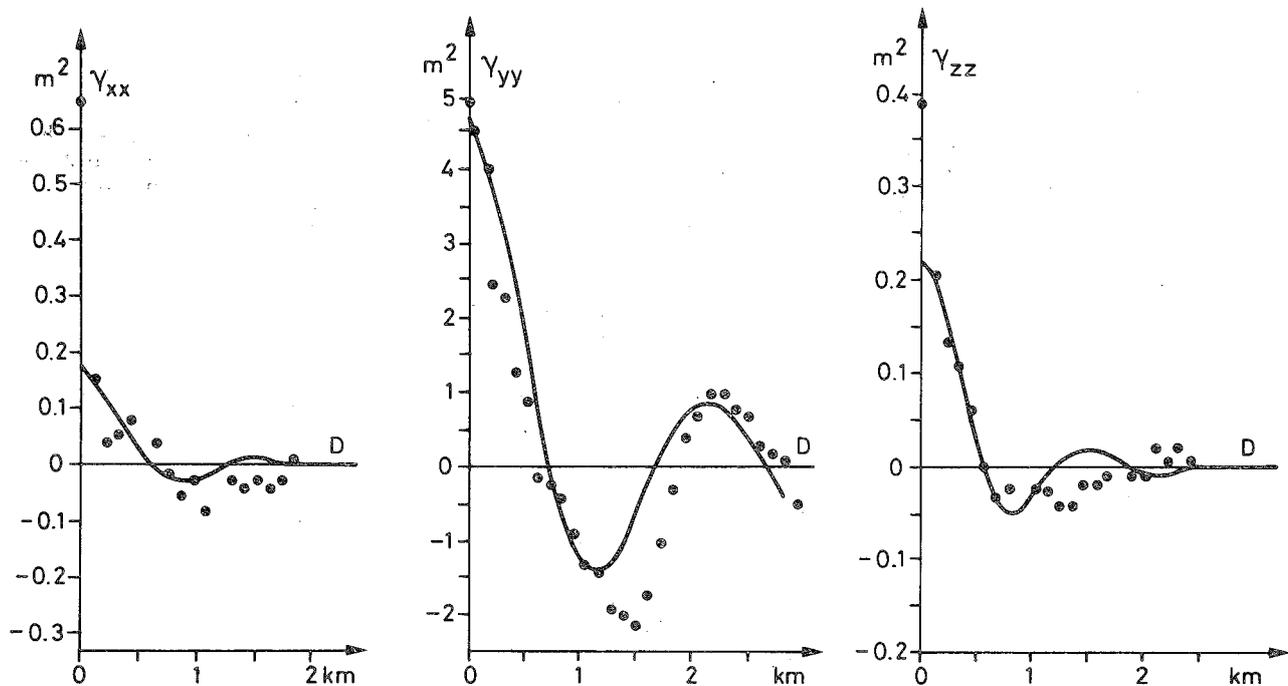


Fig. 5.15 - Stima della covarianza e funzioni di covarianza interpolate, rispettivamente per gli spostamenti secondo x, secondo y e secondo z.

Estimation of the covariance and covariance's functions, respectively for the displacements according to x, y and z.

componente di spostamento), trovando cioè per ogni punto di cui si era misurato lo spostamento la parte correlata dello spostamento, cioè il segnale, e la parte casuale, cioè il rumore.

E' stato poi calcolato lo sqm a posteriori del rumore (ricavato dai valori stimati del rumore) e, per ogni punto in cui era stato misurato lo spostamento, è stato ricavato l'errore quadratico medio di stima del segnale.

I valori del rumore sono stati tagliati al livello di significatività $\alpha = 5\%$ (test su due code).

Si è calcolato per ogni punto il rapporto $|\hat{n}/\sigma_{\hat{n}}|$ e sono stati tolti i punti per i quali questo rapporto risultava $\geq 1.96 \approx 2$ (11 punti per z e 33 punti per x e y).

Quindi con i valori del rumore nei punti rimanenti è stato di nuovo calcolato sqm a posteriori del rumore.

Nella tabella seguente sono riportate l'entità e la precisione del filtraggio:

	n. valori	sqm(v)	sqm(\hat{n})	sqm(\hat{n} -)	$\sqrt{M(\sigma_e^2)}$
x,y(m)	530	1.67	0.67	0.51(-33val.)	0.26
z(m)	265	0.63	0.37	0.29(-11val.)	0.17

\hat{n} = rumore tagliato al livello di significatività $\alpha = 5\%$ (test su due code);

σ_e = errore quadratico medio di stima del segnale;

sqm (v) = sqm noise a priori;

sqm (\hat{n}) = sqm noise a posteriori.

Si noti che gli sqm noise a posteriori dopo aver "tagliato" i valori di \hat{n} , sqm (\hat{n} -), sono in buon accordo con la precisione nel calcolo degli spostamenti vista in 5.2.5.

Il filtraggio effettuato separatamente per le componenti planimetriche Δx , Δy ed altimetrica Δz degli spostamenti è illustrato nelle Figg. 5.16 e 5.17.

Il trattamento separato delle tre componenti è stato possibile giacché i risultati sperimentali del calcolo delle

crosscorrelazioni (correlazioni fra coppie di componenti diverse degli spostamenti sui punti del terreno) hanno messo in evidenza una quasi totale indipendenza fra di esse.

Dopo il filtraggio è stata eseguita la predizione del segnale in punti di un reticolo regolare di passo 100 m.

Il risultato della predizione è illustrato in Fig. 5.18.

In questa figura si può notare che il confine della frana (praticamente la zona circostante la frana in cui il segnale predetto è pressoché nullo) ricalca con buona approssimazione il confine di frana tracciato dai geomorfologi e dei geologi. Tuttavia va sottolineato (e ciò sarà anche più chiaro in seguito) che il metodo della collocazione, a causa del procedimento con cui lo si genera, presuppone un legame omogeneo ed isotropo del segnale con gli altri punti e non può mettere in evidenza le zone di discontinuità. Tanto più è perciò significativa questa coincidenza. Più interessante ancora la Fig. 5.17 che riproduce l'andamento del segnale sui punti di misura; si nota infatti come la direzione degli spostamenti muti leggermente entro la frana. Mentre gli spostamenti ad est sono diretti rigorosamente a nord-sud, gli spostamenti più ad ovest denunciano una componente verso ovest che cresce gradatamente verso l'estremo ovest dell'area in frana. Questo fatto, che l'operazione di filtraggio ha messo particolarmente in evidenza, è dovuto probabilmente alla forma del terreno che ha nella Montagnola il punto più alto, degradando poi verso nord e verso ovest. Gli spostamenti superficiali in frana hanno seguito le linee di massima pendenza della superficie di scorrimento che naturalmente rispecchia l'andamento morfologico esterno.

La omogeneità degli spostamenti così filtrati è una prova ulteriore che la frana di Ancona '82 è un fenomeno unitario quindi con probabili origini profonde.

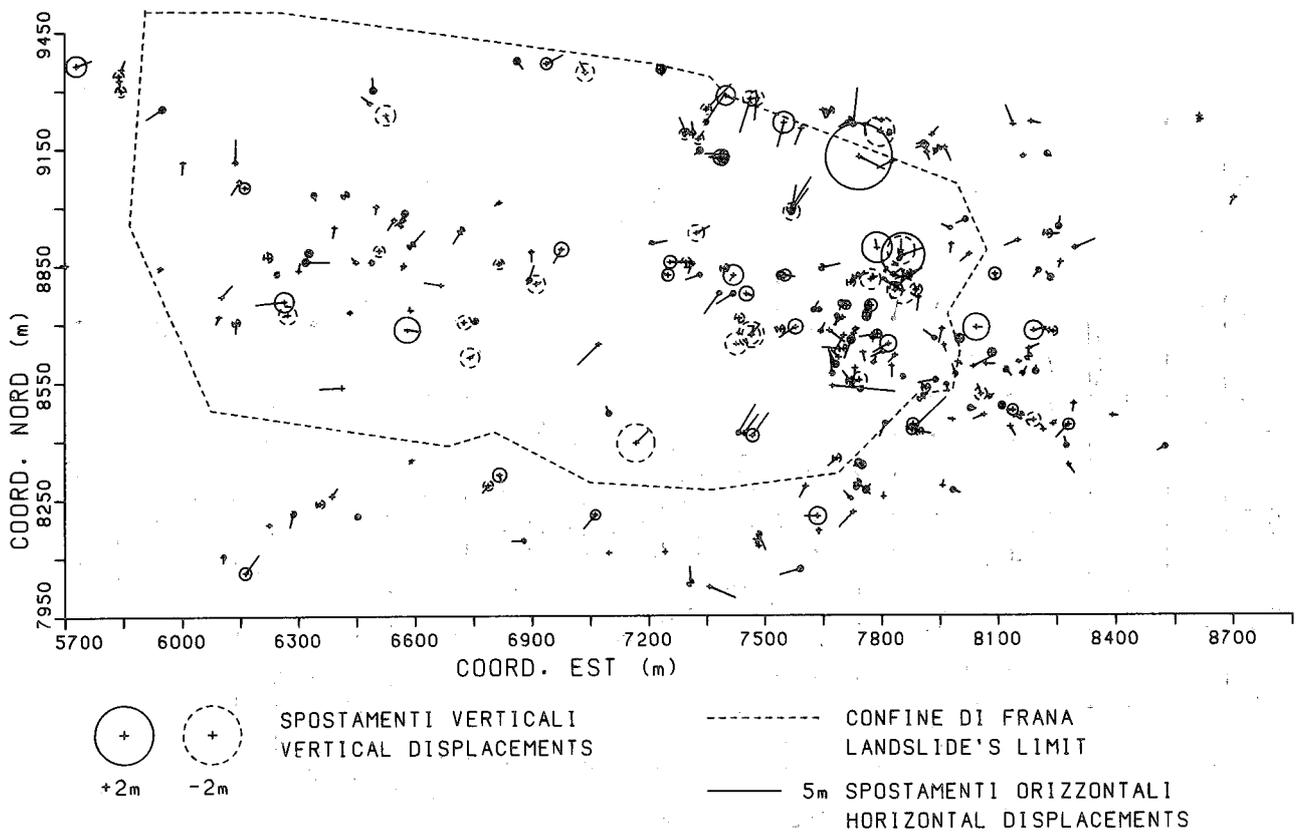


Fig. 5.16 - Distribuzione del rumore residuo (parte accidentale), dopo il filtraggio con la collocazione minimi quadrati, degli spostamenti planimetrici ed altimetrici principali misurati sui manufatti.
Distribution of the residual noise (random part), after the filtering by the least squares collocation, of the principal planimetric and altimetric displacements measured on the buildings.

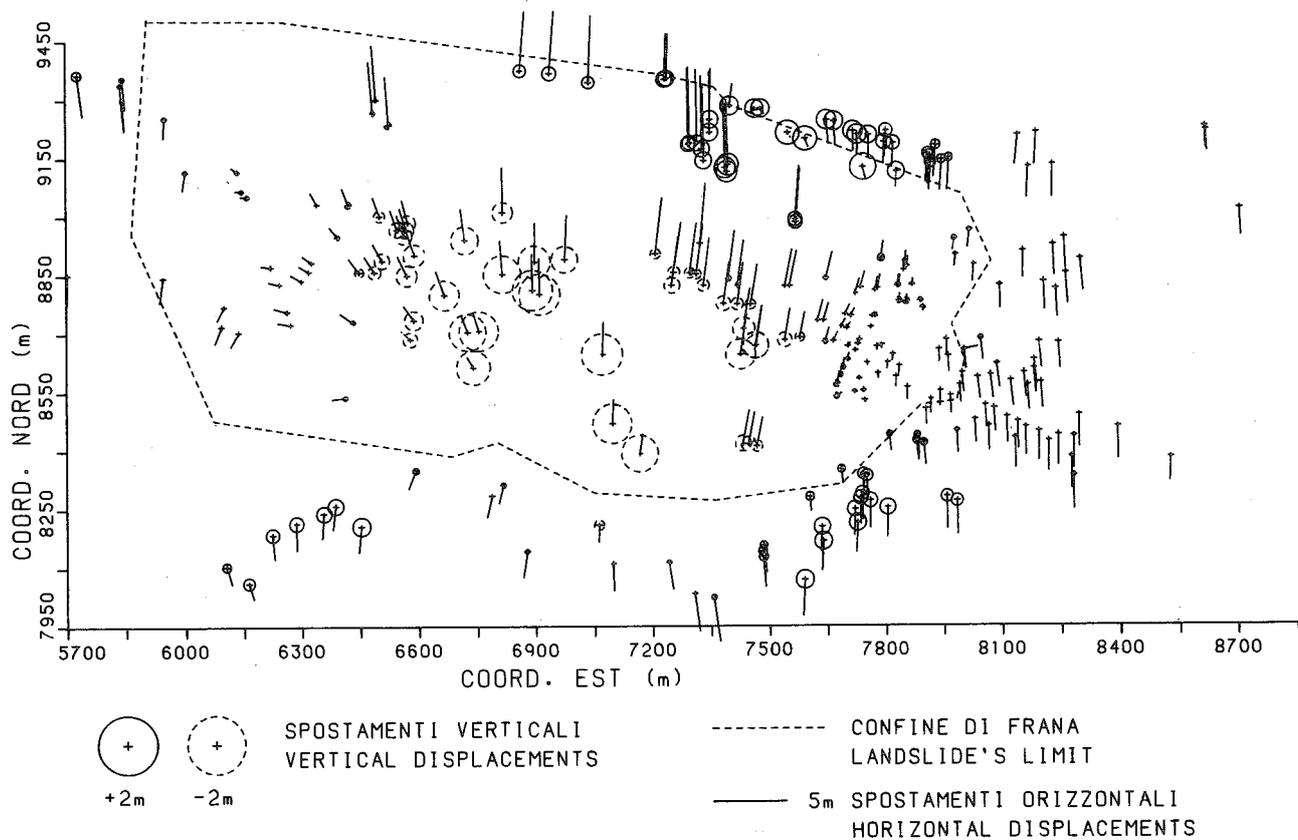


Fig. 5.17 - Distribuzione del segnale (parte correlata), ottenuta dal trattamento con la collocazione minimi quadrati, degli spostamenti planimetrici ed altimetrici principali misurati sui manufatti.
Distribution of the signal (correlated part), obtained by the treatment with the least squares collocation, of the principal planimetric and altimetric displacements measured on the buildings.

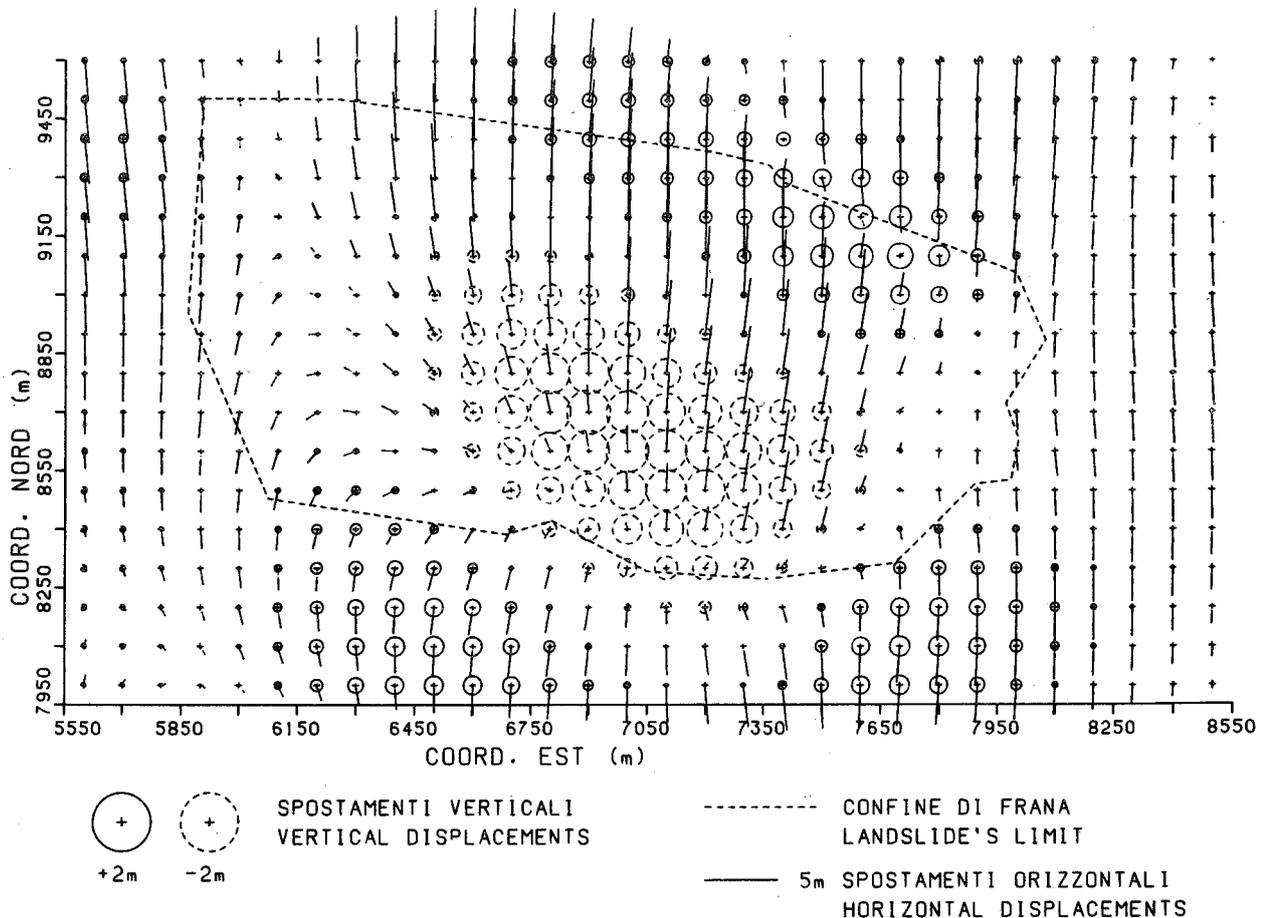


Fig. 5.18 - Distribuzione del segnale predetto con la collocazione minimi quadrati, su una griglia regolare.
Distribution of the predicted signal by least squares collocation, on a regular grid.

Completamente casuale è invece la distribuzione della componente rumore come appare nella Fig. 5.16. Il rumore è di intensità maggiore all'interno della frana che non all'esterno. All'interno della frana infatti il processo catastrofico ha sicuramente generato fatti locali (quindi non interpretabili come segnale) che si sono aggiunti agli errori di misura ai quali invece vanno ascritti i rumori residui nella zona fuori frana. Sono evidenti in Fig. 5.16 anche comportamenti fortemente anomali probabilmente dovuti ad errori grossolani.

5.6.4. Analisi delle deformazioni principali della superficie della frana con il metodo della collocazione

Il procedimento di filtraggio dei risultati con il metodo della collocazione è stato applicato alle misure della deformazione principale della superficie esterna della frana utilizzando il grigliato di punti in corrispondenza dei quali si è misurata la differenza di quota: "dopo" meno "prima". Il numero totale dei punti misurati è circa 8.800; la capacità del calcolatore non è sufficiente per poter analizzare assieme tutti questi dati. Si è dovuto perciò ridurre il numero totale dei punti presi in considerazione per lo studio. In totale sono stati scelti 376 punti prendendo una sezione ogni cinque e, lungo la sezione, un punto ogni cinque.

Si è ottenuta una funzione di autocovarianza la

funzione: $\gamma = a e^{-bD} J_0(cD)$ con i seguenti valori dei coefficienti e di σ_v^2 , σ_n^2 :

σ_v^2 (m ²)	$a = \sigma_s^2$ (m ²)	b (km ⁻¹)	c (km ⁻¹)	σ_n^2 (m ²)
0.59	0.32	1.08	4.46	0.27

Si confronta il correlogramma degli spostamenti in quota (si veda Fig. 5.19) dei punti della superficie del suolo con quello degli spostamenti in quota dei punti sui manufatti (si veda Fig. 5.15), si nota che l'andamento delle due curve, a meno di un fattore di scala, è pressoché identico.

Ciò sta a dimostrare che entrambi sono derivati da uno stesso fenomeno, come era d'altra parte da attendersi.

Lo sqm a priori del rumore è 0.77 m.

Al termine del filtraggio, calcolato cioè per ogni punto il segnale ed il rumore dello spostamento Δz è stato calcolato lo sqm a posteriori del rumore a partire dai valori stimati del rumore stesso.

E' stato ottenuto: $\text{sqm}(\hat{n}) = 0.47$ m.

Successivamente, i valori del rumore sono stati "tagliati" effettuando un test su due code al livello di significatività $\alpha = 5\%$.

Sono stati così tolti 29 valori per i quali $|\hat{n}/\sigma_{\hat{n}}| \geq 1.96 \approx 2$, cioè da considerarsi anomali e non appartenenti alla stessa popolazione.

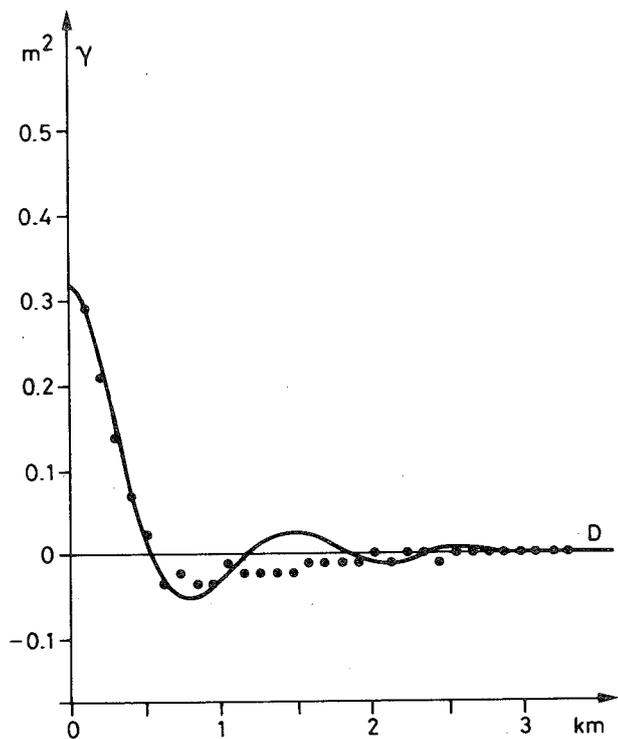


Fig. 5.19 - Stima della covarianza e funzione di covarianza interpolata relativamente alle variazioni di quota sui punti del reticolato per lo studio delle deformazioni della superficie del terreno.

Estimate of the covariance and covariance's interpolated function with regard to the elevation's variations on the net's points for studying the ground's surface deformations.

Si è ottenuto usando una simbologia già nota: $\text{sqm}(\hat{n}) = 0.30 \text{ m}$.

Questo valore è in buon accordo con i valori delle incertezze di misura delle quote dei punti.

Il risultato del filtraggio è illustrato nelle Figg. 5.20, 5.21 e 5.22.

Si è poi tentata l'analisi degli spostamenti in quota lungo le sezioni, sempre con lo stesso procedimento della collocazione.

Sono state scelte 24 sezioni, tra le 146 sezioni misurate, selezionandone 2 a intervalli di 10.

Le prime due e le ultime due sono state scelte in zone sicuramente fuori frana, rispettivamente nella zona di Posatora e nella zona di Torrette.

Sui valori di spostamento in quota di punti appartenenti a tali 24 sezioni è stato effettuato, sezione per sezione, il filtraggio.

L'andamento dei correlogrammi, dei quali sono riportati in Fig. 5.23 due esempi, è talmente variabile da sezione a sezione anche fra quelle vicine ed inoltre con andamenti assolutamente anomali, che hanno consigliato di non proseguire questa operazione sospettata priva di significato fisico.

Tuttavia, dai 24 correlogrammi esaminati, risultano valori molto bassi di covarianza per le sezioni considerate fuori frana rispetto ai valori per le sezioni in zona di frana, inoltre sempre per le sezioni fuori frana alta percentuale di σ_n^2 rispetto a σ_v^2 , cioè della varianza del rumore rispetto alla varianza globale. Questi ri-

sultati sono proprio quelli prevedibili per le sezioni al di fuori della zona interessata dall'evento franoso.

A commento di quanto si può dedurre dai dati di questa analisi, va detto che il procedimento della collocazione applicato ai risultati delle deformazioni della superficie esterna del terreno per effetto della frana, è meno significativo di quello già visto per gli spostamenti. Non si dimentichi infatti che il procedimento della collocazione smussa gli andamenti lungo le linee di discontinuità e che pertanto la netta separazione fra punti dentro frana e punti fuori, visibile chiaramente nella Fig. 5.17, si attenua notevolmente dopo il filtraggio. Ne fa fede il fatto che i valori più grossi del rumore (Fig. 5.22) si incontrano dentro la frana soprattutto in prossimità dei limiti di frana.

Se un vantaggio si vuole trovare nell'applicazione della collocazione, esso sta nella più pulita presentazione dei risultati, che ancor meglio (si veda Fig. 5.21) mettono in evidenza la netta separazione fra zone con depressione e zone con innalzamento. La linea di separazione fra queste sembra leggermente obliqua rispetto alla costa. E' evidentiissimo però il fatto che la zona con innalzamento è spostata a nord-est rispetto a quella ove si è avuto un abbassamento.

5.6.5. Considerazioni conclusive circa la misura dei movimenti principali

Come si è detto fin dall'inizio di questa relazione non spetta ai topografi interpretare i risultati delle loro misure. Essi vengono posti in mano agli esperti che potranno, se possibile, interpretarli dal punto di vista della meccanica della frana ed in particolare per evidenziare se si tratta di frana con radici profonde oppure superficiali.

Anche le elaborazioni interpretative fatte sui dati di misura non sono nulla di più se non tentativi di evidenziare i differenti aspetti della situazione.

La massa dei dati raccolti con la fotogrammetria soprattutto per quel che riguarda la descrizione delle variazioni superficiali è però così ingente che sollecita ulteriori tentativi di elaborazione.

Uno di questi tentativi è già in atto ma non è ancora terminato a causa della laboriosità che esso comporta. Col reticolato di oltre 8.800 punti, per i quali si conosce la variazione di quota, si intende calcolare: il difetto di massa totale dovuto agli abbassamenti; l'eccesso di massa totale dovuto agli innalzamenti; dalla differenza fra questi valori ricavare l'eventuale deficit delle masse positivo o negativo; infine dare la direzione di spostamento delle masse tramite i baricentri delle zone con abbassamento e delle zone con innalzamento. Si ritiene di grande interesse questo risultato ancora sconosciuto, giacché esso può dare notizie più significative sulla meccanica, soprattutto se si tiene conto delle particolarità orografiche del territorio. Ovviamente lo studio di questi argomenti relativi alle masse si preoccuperà anche di mettere in luce l'incertezza globale dei risultati.

5.7. RISULTATI DELLE MISURE DI ASSESTAMENTO

5.7.1. Presentazione dei risultati delle misure sulle sezioni

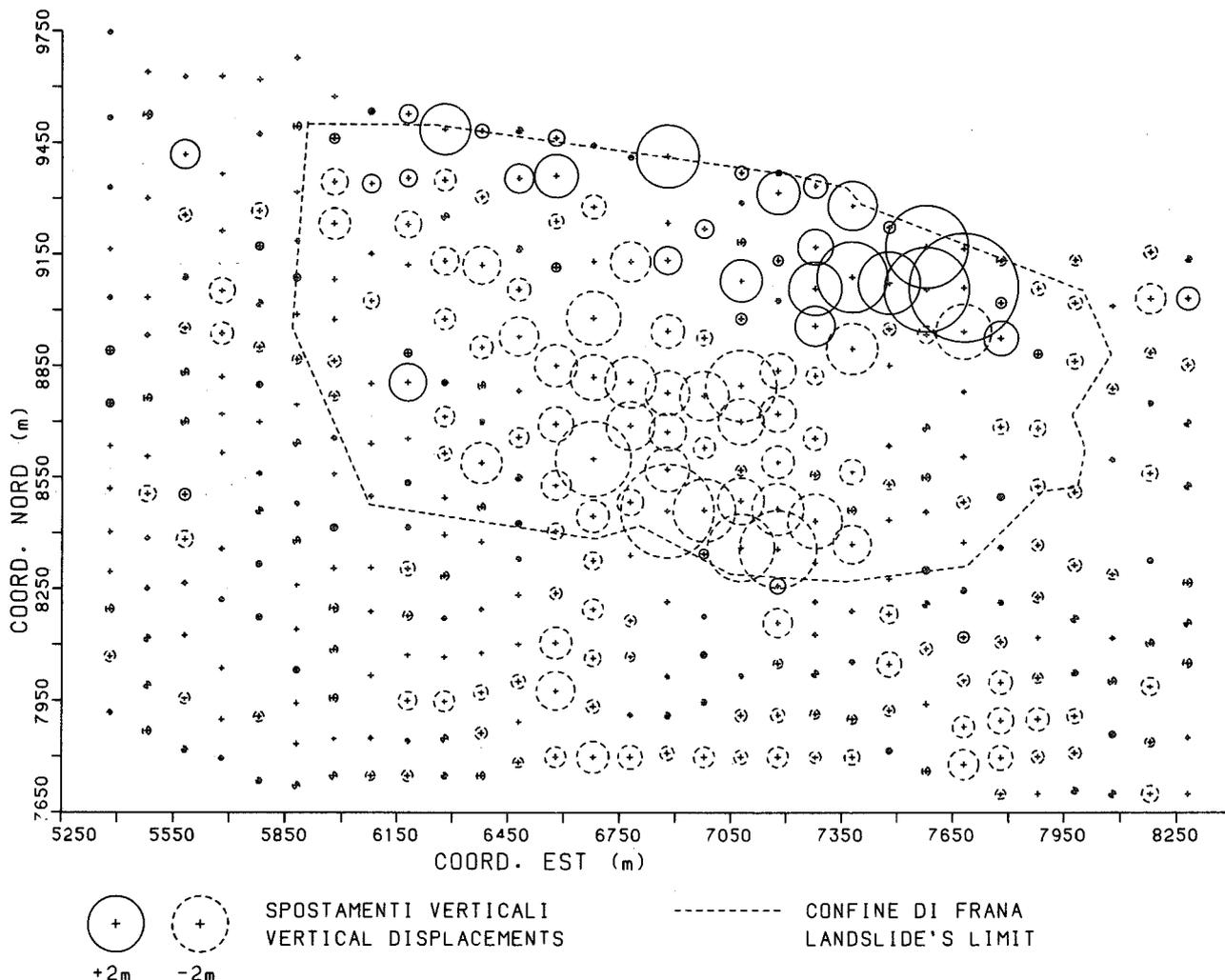


Fig. 5.20 - Deformazione del terreno determinata attraverso la fotogrammetria.
Terrain's deformation determined by photogrammetry.

I calcoli descritti nel paragrafo 5.3.2. portano alla determinazione degli spostamenti di assestamento subito dai picchetti lungo le sezioni e dai punti su manufatti ad esse vicini. Tali spostamenti, sono, per una più evidente rappresentazione, ripartiti in spostamenti planimetrici ($E \div N$) e spostamenti altimetrici (Q). Nelle figure dalla 5.24 alla 5.31 sono riportati gli spostamenti planimetrici e altimetrici totali di assestamento. A causa della limitazione della scala di rappresentazione e della non convenienza di pubblicare lunghi elenchi di dati, si sono rappresentati i risultati in modo da rendere evidente sinteticamente le zone di maggiori variazioni rispetto a quelle in cui si hanno variazioni minori o nulle. Ciò è stato suggerito e favorito dal fatto che gli spostamenti di assestamento sono effettivamente raggruppati in zone di maggiore o minore spostamento. In queste zone i vettori spostamento sui singoli punti sono omogenei anche come direzione. Le zone a tratteggio permettono di distinguere le zone con spostamenti maggiori da quelli con spostamenti meno accentuati; tanto più fitto è il tratteggio tanto più ampio è lo spostamento medio. La didascalia per la lettura è riportata su ciascuna figura. Queste figure contengono una imprecisione; sono state tracciate con i risultati di misure sulle diverse sezioni che non sono contemporanee

come risulta dalla Tab. 5.3. L'inconveniente da ciò derivante distorce un po' i risultati ma non ne inficia il significato e non ne limita la possibilità interpretativa dei risultati.

Come già si è detto, con il passar del tempo la densità dei punti lungo le sezioni (picchetti) diminuisce fino ad annullarsi quasi totalmente. Restano però i punti sui manufatti che fra l'altro sono i più rappresentativi.

5.7.2. Valutazione della precisione dei dati

Prima di passare ad analizzare i risultati conviene verificare se la precisione di misura è quella ipotizzata in 5.4.

Si giunge a questo giudizio usando le misure ripetute a breve intervallo di tempo sulle sezioni A, B e C. Questi confronti sono contenuti nella Tab. 5.6. Dall'esame di questi dati si ricava che:

- 1) le differenze maggiori di 5 cm sono solo il 5% del totale di quelle misurate;
- 2) la loro distribuzione è simmetrica;
- 3) non denunciano differenze fra la x la y e la z;
- 4) non denunciano differenze significative delle misure su manufatti e su picchetti.

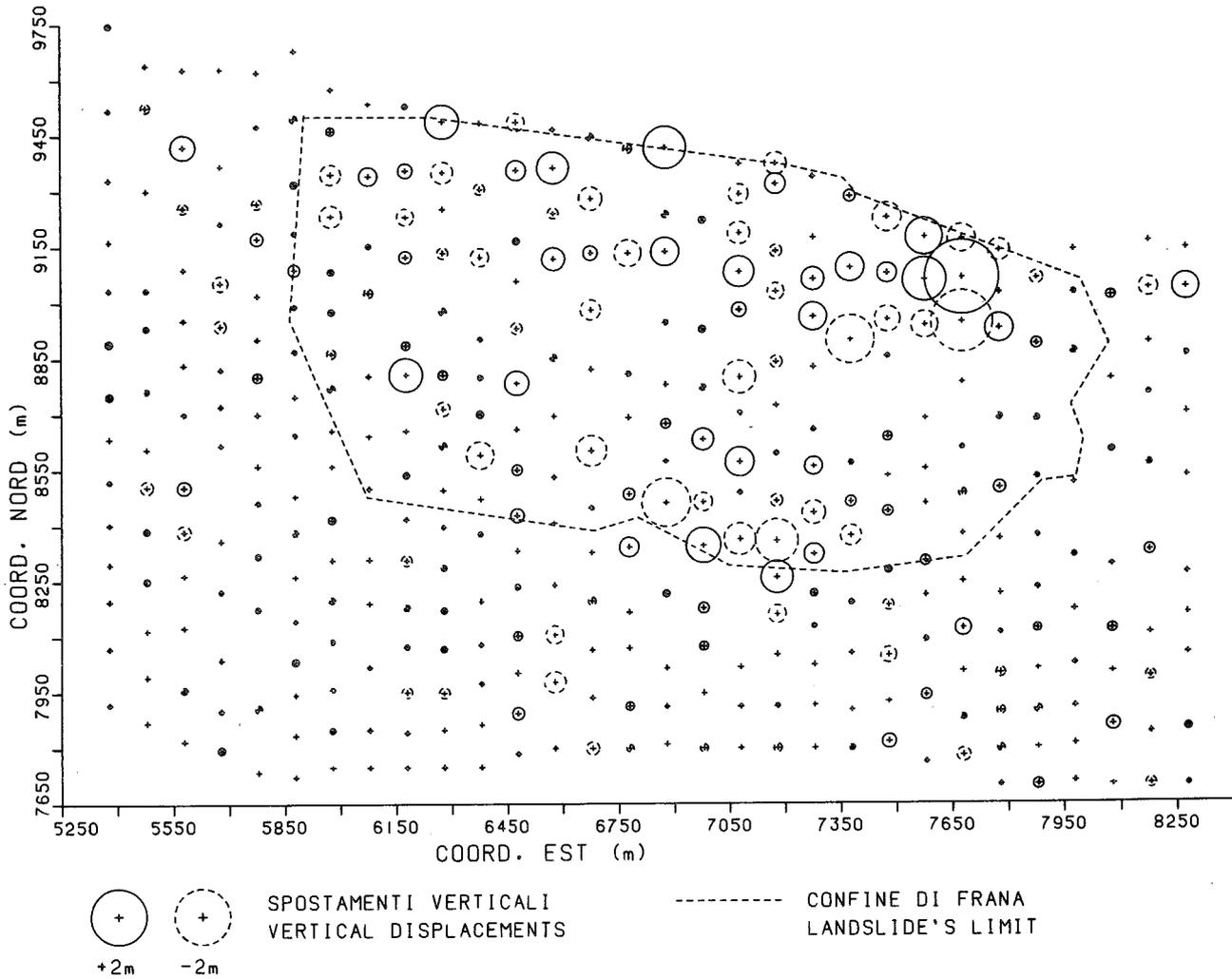


Fig. 5.21 - Distribuzione del rumore residuo (parte accidentale), dopo il filtraggio con la collocazione minimi quadrati, della deformazione del terreno.
Distribution of the residual noise (random part), after the filtering by the least squares collocation, of the terrain's deformation.

Fasce di spostamento <i>Class of displacement</i> (cm)	Punti fuori frana <i>Points out of landslide</i>						Punti in frana <i>Points in the landslide</i>					
	Manufatti <i>Buildings</i>			Picchetti <i>Pegs</i>			Manufatti <i>Buildings</i>			Picchetti <i>Pegs</i>		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
< -10											2	1
-10 ÷ -5	1				2		1	1			4	3
-5 ÷ -2		1			2		5	4	3	7	13	12
-2 ÷ 0	5	1		6	8	3	42	28	28	55	37	43
0 ÷ +2	3	7	8	13	9	17	27	33	45	49	50	48
+2 ÷ +5				4	2	3	3	9	3	4	9	11
+5 ÷ +10			1				1	5	1	2	2	1
+10 ÷ +15							1				2	1
> +15											1	
Totale / <i>Total</i>	9	9	9	23	23	23	80	80	80	119	119	119

Tab. 5.6 - Fasce di spostamento dei punti dei differenti tipi in frana e fuori.
Displacement bands of points of different types inside the landslide and out of the landslide.

Si può perciò ritenere confermata l'ipotesi che l'errore di misura sia in generale minore ± 0.05 m.

5.7.3. Analisi dei risultati

Ricordando ora entro quali limiti d'incertezza vanno situate le misure, limiti che occorre avere presenti nella valutazione dei risultati delle misure successive, si può passare all'analisi dei risultati condensati nelle figure dalla 5.24 alla 5.31, che rappresentano planimetricamente la distribuzione degli spostamenti ripartiti in fasce di ampiezza. Per aiutare l'interpretazione si sono poi compilate alcune tabelle.

La Tab. 5.7 contiene le frequenze dei moduli dei vettori di spostamento planimetrico ripartiti in fasce di valori relativi agli spostamenti misurati dopo circa sei mesi dalla catastrofe.

Fasce di spostamento <i>Class of displacement</i> (cm)	Manufatti <i>Buildings</i>	Picchetti <i>Pegs</i>	Totali <i>Totals</i>
0 ÷ 5	61	70	131
5 ÷ 10	24	29	53
10 ÷ 20	8	24	32
20 ÷ 40	1	13	14
40 ÷ 70	1	4	5
70 ÷ 100	—	5	5
100 ÷ 150	—	2	2
> 150	—	3	3
Totale / Total	95	150	245

Tab. 5.7 - Frequenza dei moduli dei vettori spostamento planimetrico di assestamento tra il gennaio ed il maggio 1983.
Frequency of the modulus of the planimetric displacement vectors of settling between January and May 1983.

La Tab. 5.8 raccoglie, sempre in frequenza, i moduli degli spostamenti totali subiti dai punti posti sotto controllo al maggio '83 ripartiti però in fasce di acclività del terreno in corrispondenza del punto considerato.

Le fasce di acclività sono ovviamente molto ampie. L'esame qualitativo delle Figg. 5.24-5.27 e delle Tabb. 5.7 e 5.8 suggerisce le seguenti considerazioni relative agli spostamenti planimetrici di assestamento.

Gli spostamenti planimetrici sono molto differenziati da luogo a luogo. La distribuzione dei vettori di lunghezza maggiore, quale risulta dalla osservazione delle Figg. 5.24-5.27, è molto discontinua. Lungo le sezioni si hanno zone diffuse di movimenti piccoli o piccolissimi o praticamente nulli e zone concentrate di movimenti, paralleli fra loro, molto ampi. Queste zone di concentrazione dei grossi spostamenti si trovano, nelle sezioni A, B, C e D soprattutto allineate lungo caratteristiche orografiche particolari: precisamente, lungo la scarpata immediatamente a sud della strada costiera nelle sezioni B e C; lungo la zona di maggiore acclività, subito a sud della strada Posatora-Torrette,

nelle sezioni A, B, C, e D. La discontinuità delle zone di maggior movimento suggerisce l'ipotesi che non esista un effetto di assestamento globale di tutta l'area ma che l'assestamento avvenga localmente.

Avvalorano la conclusione precedente, circa il fatto che i movimenti di assestamento siano locali, le seguenti due considerazioni:

- i manufatti, che sono in generale ancorati più in profondità nel terreno di quanto non lo siano i picchetti, hanno un modulo dello spostamento di assestamento compreso nella fascia dei 5 cm (limiti dell'errore) con una percentuale del 64%, mentre i picchetti hanno modulo minore di 5 cm con la percentuale del 47%: questa netta differenza di percentuale (che sicuramente crescerebbe notevolmente se si tenesse conto solo dei punti controllati in frana) dice che sono maggiormente soggetti a spostamento i punti superficiali;
- la Tab. 5.8, che ripartisce gli spostamenti totali al maggio '83 (dopo 5 mesi dalla frana) relativi ai picchetti in funzione della acclività (pendenza) del terreno, mostra un andamento abbastanza triangolare: con il crescere della fascia di pendenza aumenta la dispersione dei valori dei moduli; ovvero i moduli di valore maggiore si incontrano per fasce di pendenza maggiori; pur non essendo questo legame molto stretto è però evidente che il movimento maggiore si registra in superficie là dove anche la pendenza è maggiore;
- si è limitata questa analisi (Tabb. 5.7 e 5.8) agli spostamenti avvenuti nei primi 5 mesi dopo la frana giacché essi sono i più rilevanti; dopo tale data infatti non sorgono altre zone di spostamento significativo ma solo leggere modifiche di forma per lo più dovute a differenze interpretative.

L'esame degli spostamenti altimetrici di assestamento viene, anche in questo caso, limitato ai valori totali. I documenti presi in considerazione per questo esame sono costituiti dalle due Tabb. 5.9 e 5.10 il cui contenuto, fatte le dovute varianti nelle fasce degli spostamenti, è analogo a quello delle corrispondenti Tabb. 5.7 e 5.8. L'esame qualitativo delle Figg. 5.28-5.31 e delle Tabb. 5.9 e 5.10 suggerisce le seguenti considerazioni:

- 1) le variazioni di quota dovute all'assestamento sono di entità ben minore dei moduli dei vettori spostamento planimetrici: 206 variazioni su 245, pari all'84%, sono infatti minori di 5 cm, mentre per i moduli degli spostamenti planimetrici la percentuale era del 54%; inoltre la differenza di percentuali fra le variazioni di quota inferiori ai 5 cm sui manufatti e sui picchetti, è minore di quella registrata per gli spostamenti planimetrici: 90% per i manufatti, 80% per i picchetti;
- 2) dalle Figg. 5.28-5.31 si ricava che i valori significativi, quelli maggiori di 10 cm, sono concentrati sulle sezioni in poche zone: queste sembrano correlarsi fra loro in modo assai incerto;
- 3) la tabella, in cui le variazioni altimetriche vengono correlate alla acclività, presenta relativamente ai picchetti un andamento nettamente meno triangolare rispetto all'andamento della tabella relativa agli spostamenti planimetrici;
- 4) globalmente però anche il comportamento in altimetria conferma quanto suggerito dagli spostamenti planimetrici e cioè che gli assestamenti sono di tipo locale e quindi, necessariamente, solamente superficiali.

Fasce di spostamento Class of displacement (cm)	Manufatti / Buildings Pendenza del terreno / Ground slope					Picchetti / Pegs Pendenza del terreno / Ground slope					TOT.
	< 5%	5 ÷ 10%	10 ÷ 20%	20 ÷ 40%	> 40%	< 5%	5 ÷ 10%	10 ÷ 20%	20 ÷ 40%	> 40%	
	0 ÷ 5	14	12	12	4	1	7	7	39	34	
5 ÷ 10	4	5	2			3	2	9	12	2	39
10 ÷ 20	1	2	1			1	1	8	12		26
20 ÷ 40	1						1	5	6	1	14
40 ÷ 70			1			1			1	2	5
70 ÷ 100								2	2		4
100 ÷ 150									1		1
> 150								1	3		4
Totale / Total	20	19	16	4	1	12	11	64	71	10	228

Tab. 5.8 - Frequenza dei moduli dei vettori spostamento planimetrico di assestamento totale ripartiti in fasce di acclività.
Frequency of the modulus of the planimetric displacement vectors of total ground settling divided in classes of slope.

Fasce di spostamento Class of displacement (cm)	Manufatti Buildings	Picchetti Pegs	Totale Totals
0 ÷ 5	80	120	206
5 ÷ 10	8	3	21
10 ÷ 20	—	11	11
20 ÷ 40	1	3	4
40 ÷ 70	—	2	2
70 ÷ 100	—	1	1
> 100			
Totale / Total	95	150	245

Tab. 5.9 - Frequenza degli spostamenti altimetrici di assestamento tra il gennaio ed il maggio 1983.
Frequency of the altimetric displacements of settling between January and May 1983.

5.7.4. Variazioni altimetriche lungo la strada Posatora-Torrette

In 5.3.1. si è descritta l'istituzione della linea di livellazione di alta precisione, lungo la strada Posatora-Torrette. Questa livellazione è stata ripetuta sette volte secondo il calendario riportato nella Tab. 5.1. Il confronto tra le quote ottenute partendo dallo stesso C.S. posto fuori frana ed assunto con quota costante, alle diverse date permette di evidenziare le variazioni di quota dovute all'assestamento del terreno.

Si ricordi quanto già detto: queste variazioni non sono relative ad una sezione verticale costante nel tempo ma a punti legati a manufatti che si possono spostare nel tempo anche planimetricamente.

Nelle Figg. 5.32-5.37 sono riportati i profili delle variazioni di quota totali dovute ad assestamento messi in luce con le diverse livellazioni eseguite.

Le misure, che iniziano in zona fuori frana e terminano ancora con C.S. posti fuori frana, hanno una incertezza sicuramente inferiore al millimetro, pertanto i dati sono attendibili.

Dopo la seconda misura, che denuncia un andamento abbastanza regolare delle variazioni, le successive presentano variazioni locali molto accentuate, oltre ad un graduale abbassarsi della spezzata nella zona in frana (si nota che le quote partono dal C.S. n. 441 sito a Torrette) ed anche un più ridotto abbassarsi dei punti fuori frana verso Posatora. Le irregolarità e l'allontanamento graduale aumentano fino ad un massimo raggiunto con la 4^a misura del settembre '83, per mantenersi poi (ed anzi in parte diminuire) nelle ultime tre misure. L'estrema variabilità dei movimenti da punto a punto è da attribuirsi al fatto che i C.S. sono legati a manufatti fiancheggianti la strada, l'assestamento dei quali, nel periodo dopo la frana, è avvenuto in maniera totalmente indipendente.

L'estrema precisione delle misure esaspera molto la rappresentazione delle variazioni locali. Per eliminare questa estrema variabilità si è allora costruito il grafico di Fig. 5.38, cioè si è calcolata la media delle variazioni di assestamento totale in corrispondenza di ciascuna misura a partire dalla seconda.

Questo valore dell'abbassamento medio dei C.S. è indicativo di un fatto importante: esiste un assestamento generale di ampiezza molto contenuta, reso visibile sulle quote per merito dell'estrema precisione delle misure rilevate da livellazione. Nelle determinazioni degli spostamenti planimetrici sulle sezioni è probabile esista un uguale andamento generale mascherato però dalla presenza degli errori di misura maggiori di questi stessi spostamenti. In questo caso emergono solo gli spostamenti locali indipendenti più vistosi.

Le medie delle variazioni sono state poi riportate in grafico in funzione della data. La spezzata che ne nasce ha una rapida discesa dall'inizio fino al settembre '83 (misura n. 4) per poi stabilizzarsi nelle successive misure ed anzi accennare ad una lenta risalita. Questo andamento conferma quanto già assunto come ipotesi nello studio degli spostamenti lungo le 5 sezioni, cioè che l'assestamento più vistoso si è manifestato nei primi 6 mesi dell'anno 1983. A questa fase ne è seguita un'altra di assestamento praticamente nullo. Il grafico di Fig. 5.39 mostra lo sqm delle variazioni di assestamento totale calcolato in corrispondenza di ciascuna misura a partire dalla seconda. Questi valori dello

Fasce di spostamento Class of displacement (cm)	Manufatti / Buildings Pendenza del terreno / Ground slope					Picchetti / Pegs Pendenza del terreno / Ground slope					TOT.
	<5%	5 ÷ 10%	10 ÷ 20%	20 ÷ 40%	>40%	<5%	5 ÷ 10%	10 ÷ 20%	20 ÷ 40%	>40%	
	0 ÷ 5	18	19	15	3	1	11	10	56	55	
5 ÷ 10	2		1	1			1	3	8		16
10 ÷ 20						1		4	4	2	11
20 ÷ 40								1	2		3
40 ÷ 70									2		2
> 70											
Totali / Totals	20	19	16	4	1	12	11	64	71	10	228

Tab. 5.10 - Frequenza degli spostamenti altimetrici di assetamento totale ripartiti in fasce di acclività.
Frequency of the altimetric displacement of total ground settling divided in classes of slope.

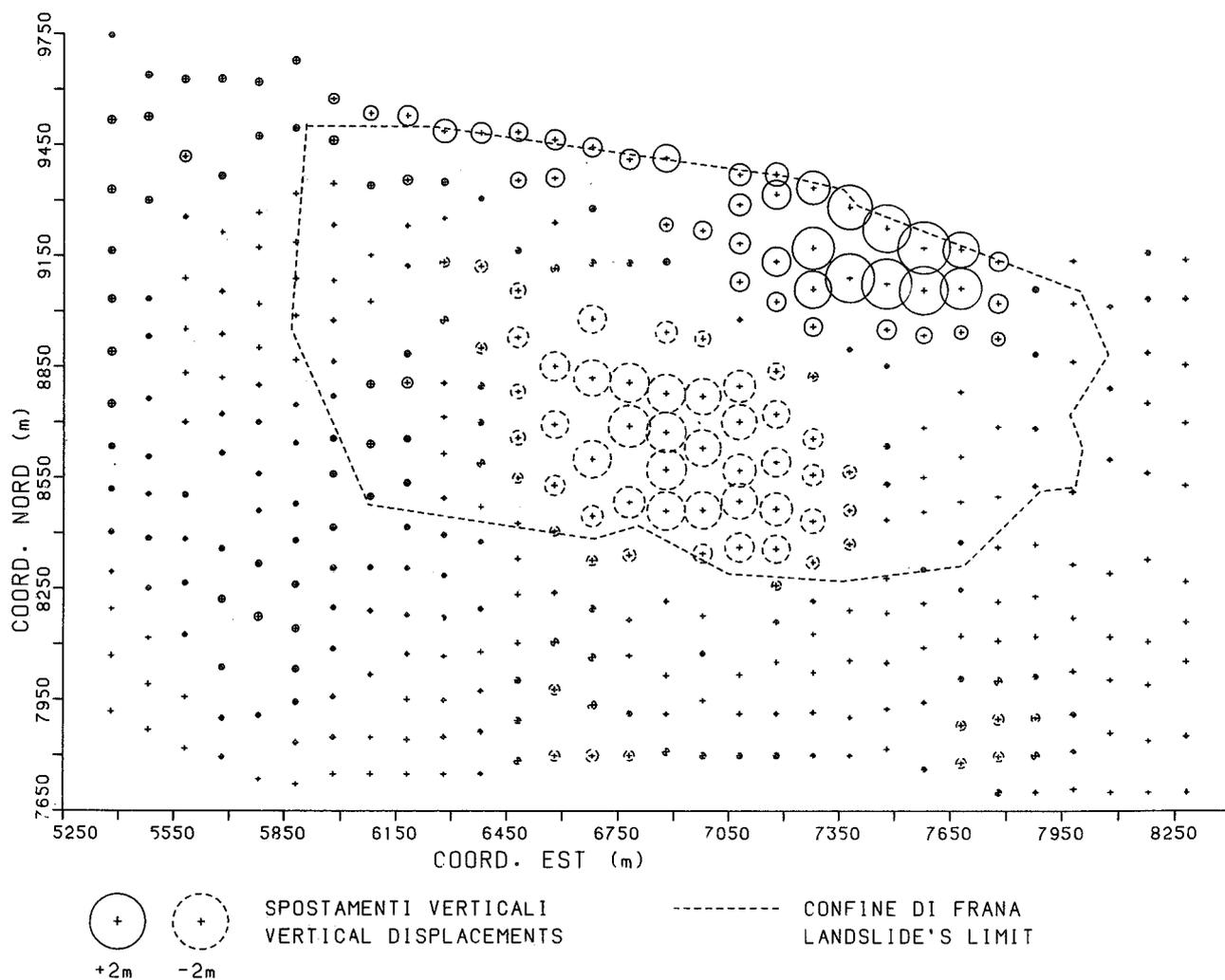


Fig. 5.22 - Distribuzione del segnale (parte correlata), ottenuta dal trattamento con la collocazione minimi quadrati, della deformazione del terreno.
Distribution of the signal (correlated part), obtained by the treatment with the least squares collocation, of the terrain's deformation.

sqm dell'abbassamento dei C.S. sono indicative delle modifiche subite nel tempo dalla dispersione delle variazioni totali. Gli sqm delle variazioni, riportati in gra-

fico in funzione della data, si dispongono lungo una spezzata che ha un andamento crescente nei primi 12 mesi e leggermente decrescente in seguito.

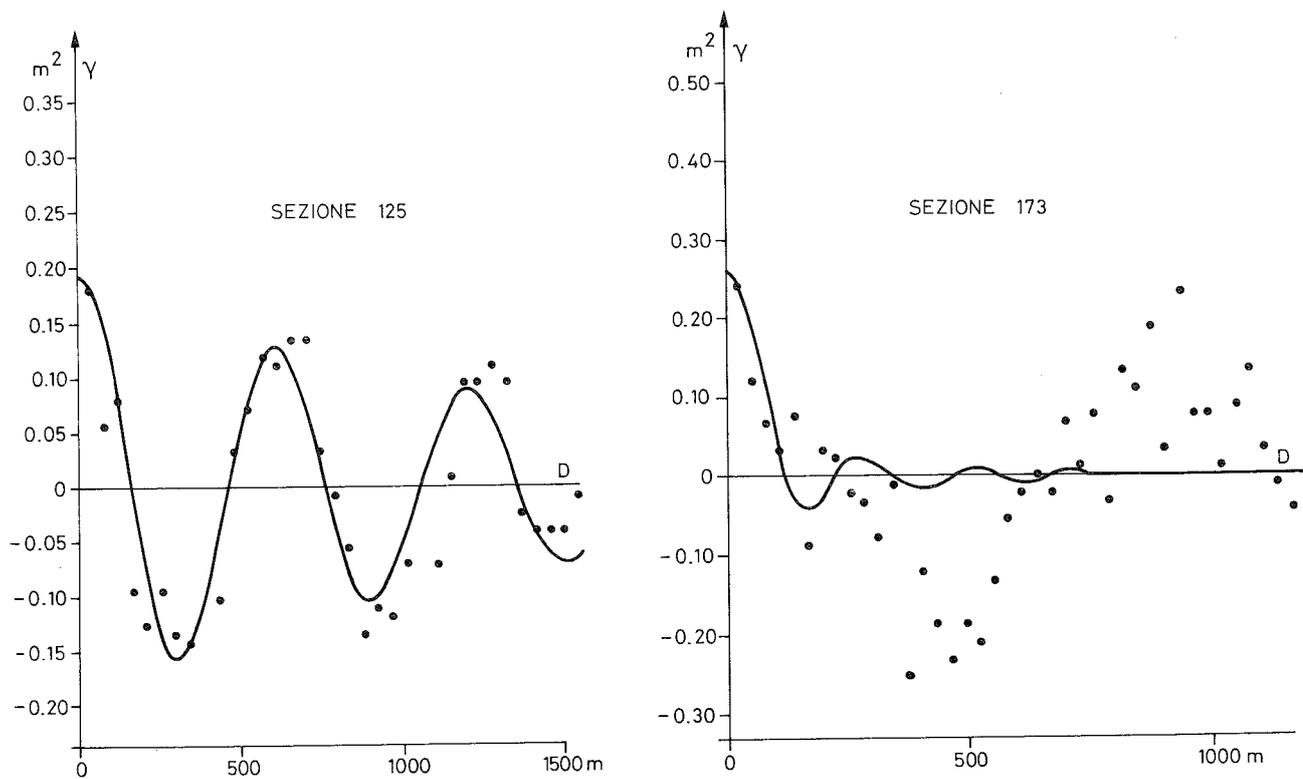


Fig. 5.23 - Stime della covarianza e funzione di covarianza interpolata calcolata sui punti di due sezioni distinte.
Estimates of the covariance and covariance's interpolated function computed on the two separated section's points.

Le due curve di Figg. 5.38 e 5.39 hanno andamento simile, anche se di segno opposto ma non sono uguali: l'abbassamento medio dei C.S. continua a crescere fino al settembre; la dispersione media delle variazioni locali cresce anch'essa nei primi mesi ma il massimo viene raggiunto a dicembre circa 3 mesi dopo. Questa differenza di data dei punti di inversione delle due curve può essere interpretata come una dimostrazione che le due curve si riferiscono a fenomeni diversi dovuti a cause distinte. L'abbassamento generale è collegato con fenomeni profondi quindi ad un assestamento di tutto il corpo della frana, mentre la dispersione è dovuta ad assestamenti indipendenti e superficiali, legati a condizioni molto localizzate nel terreno.

5.8 CONCLUSIONI

Sia i valori relativi agli spostamenti planimetrici lungo le sezioni, sia i risultati delle livellazioni ripetute di alta precisione lungo la strada Posatora-Torrette, pur essendo differenti come significato e come incertezza, confermano entrambi l'ipotesi che nell'anno 1983 si siano esauriti tutti gli spostamenti per assestamento conseguenti alla frana. Va notato inoltre che la piovosità media mensile durante l'anno 1983 è stata assai limitata, come mostra il grafico di Fig. 5.40.

Si ricordi che l'evento franoso, avvenuto nel dicembre '82 coincide con il termine di un periodo di notevole piovosità. Pertanto non potendosi stabilire nessuna correlazione tra piovosità e spostamenti planimetrici e soprattutto altimetrici di assestamento, essi sembrano piuttosto un fenomeno naturale, conseguenza del movimento di terra a carattere catastrofico e quindi

estremamente disordinato, cui segue un periodo di assestamento con comportamento più localizzato.

RINGRAZIAMENTI

La presente relazione contiene tutto il lavoro di carattere topografico eseguito nei due anni di vita della Commissione istituita dal CNR nel dicembre 1982 per lo studio della grande frana di Ancona '82. Altre ricerche ed analisi sui risultati acquisiti sono in corso e verranno pubblicate in seguito su riviste del settore con riferimento sia a questo lavoro sia alla Commissione CNR.

Alla realizzazione di questo complesso e lungo lavoro di rilevamento, sia di tipo topografico classico sia di tipo fotogrammetrico, ed alle corrispondenti analisi dei risultati hanno contribuito i 7 coautori in settori differenti ma coordinati. Del lavoro di ciascuno si dà conto nel presente paragrafo che vuole anche esprimere il ringraziamento del membro della Commissione CNR, presente nel gruppo, per la encomiabile e solerte opera di collaborazione da tutti dimostrata nell'adempimento dei rispettivi compiti.

Prof. M. Cuniatti, ordinario di Teoria e Pratica delle Misure nel Politecnico di Milano, membro della Commissione CNR. Ha diretto e coordinato il lavoro del gruppo.

Ing. G. Bondi e Ing. F. Proietti, già laureandi con tesi sulla frana di Ancona '82 presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona. Hanno partecipato ai calcoli di compensazione della Triangolazione Aerea e di trattamento dei dati per mezzo della collocazione minimi quadrati i cui risultati hanno interpretato con al-

cuni grafici e diverse tabelle. Hanno partecipato alla rappresentazione grafica e alla interpretazione dei risultati ottenuti dalla misura degli spostamenti di assestamento.

Ing. G. Fangi, ricercatore del Dipartimento di Scienze dei materiali e della terra dell'Università di Ancona. A lui si deve l'impianto delle sezioni per la misura degli spostamenti di assestamento e della livellazioni di precisione lungo la strada Posatora-Torrette. Dei dati provenienti da queste misure ha curato i calcoli e la rappresentazione grafica dei risultati, nonché la loro interpretazione.

Geom. A. Moriondo, ricercatore del CNR presso l'Istituto di Topografia, Fotogrammetria e Geofisica del Politecnico di Milano. Ha eseguito le misure fotogrammetriche lungo le sezioni per la determinazione delle deformazioni, il plottaggio delle sezioni e della planimetria e ha collaborato alla validazione di questa ingente mole di dati.

Prof. L. Mussio, associato di Misure Geodetiche nel Politecnico di Milano. A lui si deve l'impostazione e la gestione di tutti i calcoli di analisi dei risultati, di compensazione della Triangolazione Aerea e dei dati provenienti dalle misure topografiche. Ha collaborato attivamente con il Prof. Cunietti nelle operazioni di coordinamento e studio.

Ing. F. Radicioni, libero professionista di Ancona e collaboratore volontario presso il Dipartimento di Scienze dei materiali e della terra dell'Università di Ancona. In collaborazione con l'Ing. Fangi ha partecipato alla esecuzione delle misure sulle sezioni e lungo la linea di livellazione, ai calcoli ed alla rappresentazione grafica dei risultati, nonché alla loro interpretazione. Geom. A. Vanossi, tecnico coadiutore presso l'Istituto di Topografia Fotogrammetria e Geofisica del Politecnico di Milano. Ha eseguito la puntinatura sulle diapositive, di tutti i punti di legame, la misura delle coordinate modello per la triangolazione aerea e ha collaborato ai calcoli della compensazione del blocco.

Hanno infine prestato la loro opera per il raggiungimento del risultato qui presentato il P.I. Pallottino, cui si debbono buona parte dei disegni, e la Dr. S. Marescalchi dell'Istituto di Topografia Fotogrammetria e Geofisica del Politecnico di Milano, che ha effettuato il coordinamento editoriale, inoltre la Dr. Daria Ghizoni per la traduzione in lingua inglese del riassunto e delle didascalie e la sig.na C. Arciprete per la dattilografia.

A tutti un grazie cordiale.

ABSTRACT

1. In this first paragraph we define the plano-altimetric movements of the external surface of a landslide, the only ones whose measure can be done by the instruments of modern classical surveying. These movements are:

A - the planimetric and altimetric displacements of the external surface's well-defined points, solid with the body of the slide;

B - the altimetric deformations of the external surface.

Movements A and B are distinguished in:

"Principal" movements, the ones including the catastrophic part of the sliding event;

"Settling" movements, the ones subsequent the paroxystic phase until the movement's exhausting.

For determining the principal displacements and defor-

mations, it is necessary to get documents on the ground's condition before the event, that are sufficiently detailed (or a large scale map, or, better, the aerial photographs of the area, they too with a suitable medium scale) and a similar detailed survey (or documents fit to get it) obtained immediately after the paroxystic phase.

Determining the displacements and the settling deformations doesn't arise problems, since they can be determined by the methods of classical surveying, in the slide area, after the event, with the needed precision. This precision is greater than the precision needed for the principal movements that are always much wider.

2. The outstanding topographic features of the 13 Dec., 1982 landslide in Ancona, can be summarized in this way:

- involved area 341,5 ha, of the "Ancona's commune" (see Fig. 5.1);
- length - East West - 1700 m;
- width - North South - 1300 m;
- localization - North side of the Montagnolo hill (170 m) to the sea;
- damaged or destroyed buildings 280;
- the catastrophic event occurred at a quarter to eleven p.m. on 13th, December 1982.

Determining the principal surface displacements and deformations is possible because we have got aerial photographs taken in 1979 at the medium scale 1:11.000. Some days after the landslide, some aerial photographs of the area at the scale 1:60.000 have been obtained.

Even if it is not the best, the existing material can allow a good determination of the principal surface movements (see Fig. 5.3). The problem of the models' control points has been resolved giving more importance to the models' relative position of the "before" flight with the ones of the "after" flight. That is to say, linking by a sole aerial triangulation the models of both aerial surveys properly bound between each other. Then, adjusting the block on the points of the known coordinates of the old survey. The tie points between the "before" flight's models and the "after" flight's ones have been chosen out of the sliding area and have been localized partly on buildings, partly by stereoscopic pricking.

For the absolute orientation, points have been also taken on the sea-side; the elevation of these points has been made free from the tide's effect.

The measure of the model coordinates have been executed on an analytical plotter Zeiss, Planicomp C 100, and the adjustment of the block of 22 models (5 belonging to the only strip of the "before" flight and 17 belonging to the 3 strips of the "after" flight) has been executed according to the program prepared by the Stuttgart University under the leadership of Prof. Ackermann. The adjustment's results have been satisfying even if not the best. The final sigma-naught was 0.31 m in planimetry and 0.20 m in elevation.

At the same time with the measures of the model coordinates for the aerial triangulation, we have measured also the model coordinates of a series of points on buildings that can be clearly and surely seen both in the models of the "before" flight and in the ones of the "after" flight. The adjusted coordinates of these points so obtained, separately for the "before" flight and the "after" flight, have allowed to get the principal movement vectors due to the landslide for all these 390 points.

The deformations' measure of the ground's surface has been got in this way: executing (always on Planicomp C 100) by the same models (orientated from time to time on the tie pricked points, whose coordinates result from the adjustment) a double DEM (Digital Elevation Model), a "before" DEM and an "after" DEM.

The net's points imposed in both the DEMs, by the same

planimetric coordinates, are placed along 146 sections put at 20 m distance from each other. They have the direction North-South. Along the sections, the points are at a distance of 20 m, except where the buildings didn't allow to see the ground. In all, the DEM is formed by about 9.000 points, for which we can know the planimetric coordinates, the two elevations ("before" and "after") and their difference. This difference is the principal deformation suffered by the ground surface in consequence of the landslide.

3. The measure of the settling displacements after the catastrophic phase, has been determined by normal surveying operations. We have two kinds of measures:

- A) measures of the plano-altimetric displacements along 5 sections of the sliding ground;
- B) measures of the altimetric variations by a high precision leveling along the direction Posatora-Torrette, which crosses the slide area lengthwise from East to West.

The sections' point of A are localized either on the ground by stakes (a), or on buildings (b) near the sections (see Tab. 5.2).

The measurements began in March '83 and finished in March '84, with the fifth series of measures (see Tab. 5.2). Almost at the same time with the setting of the above 5 sections, along the direction Posatora-Torrette, some leveling bench marks have been set, at a distance of about 30 m, and the first high precision leveling of the same ones have been executed. The first and the last bench marks are placed out of the area involved in the landslide. This leveling has been repeated 7 times, the beginning dates are reported in Tab. 5.1. By comparison of the measures repeated either on the sections (A) and along the road Posatora-Torrette (B), we can get the displacements respectively plano-altimetric and only altimetric of settling. The computations are all automatic by program on computer.

4. The principal planimetric and altimetric displacements on the buildings, which came out from the adjustment computation of aerial triangulation as we have already said in 2, have been first analyzed to deduce their uncertainty. From such research the uncertainty resulted to be from 30 to 40 cm in the three coordinates. These displacements are reported in Fig. 5.8. In order to study the behaviour of these principal displacements considering their position inside the landslide, Fig. 5.10 and 5.11 have been built.

The first one reports, in function of the y coordinate of the points (North-South), the components Δy and Δz respectively of the displacements. The second one reports the same components, in function of x coordinate of the points (East-West). The considered points are these ones inside the two bands, (respectively North-South and East-West) reported in Fig. 5.9. The trend of the principal displacements' components has been interpolated with different degree polynomials.

We have to remind that the component Δy of the planimetric displacement is practically coincident with the modulus of the displacement itself. The fact that the trend of the displacement either along the direction North-South, and along the direction East-West is homogeneous, confirms the first hypothesis done by the geologists, that is the Ancona's landslide is a landslide with a very deep slip surface.

5. The elevation differences, or principal altimetric deformation, deriving from DEM, "before" and "after", have an uncertainty estimated between 30 and 40 cm, on the ground of the executed analyses.

Considering the reliability limit of this difference, we have traced the equal variation curves of the principal altimetric deformations on a planimetric DEM's net. This

representation of the deformation is reported in Fig. 5.13, where the equal variation curves have equidistance of one metre. The figure shows that:

- the maximum negative variations (mass defects) are at South along the line representative of the landslide's limit, and have a very extended form in the East-West direction;
- the maximum positive variations (mass excesses) are concentrated in the corner North-East of the slide area;
- the two areas are divided by a line of zero variation whose direction leans from North-West to South-East and which runs almost in coincidence with the Posatora-Torrette road;
- almost in coincidence with the coast line, another line of zero variation runs;
- the zero line at South runs almost in coincidence with the landslide's limit;
- the zero line is not surely recognizable on the East side and on the West side of the slide area.

6. The analysis of the principal displacements and deformations went on applying the collocation method whose base principles are summed by the report in Italian.

For the further details, see the articles in bibliography. First we have computed the empiric covariances and from these, the covariance's functions (see Fig. 5.15) according to the principal displacements.

After we have stochastically filtered the "signal" and the "noise" which the collocation divides the experimental datum in, using a suitable computation program. The trend of the signal and of the noise are reported respectively in Fig. 5.16 and 5.17. In Fig. 5.18, it is reported the interpolated value of the signal at the crossings of an homogeneous net with a side of 100 m.

The least squares collocation can "explain" a very high percentage of the phenomenon. The residual noise has a minimum square value of 0.51 m in planimetry and 0.30 m in elevation. The behaviour of the signal, reported in Fig. 5.17 and 5.18, is very regular inside the landslide, and almost zero outside. The displacement vectors got from the component composition of the signal according to y (the greatest) with that according to x, are directed to North with a light fan-wise movement, it is presumed as an effect of the ground's state.

Using the same computation program, we have filtered, with the collocation method, also the principal altimetric deformations on a very scattered net (500 points on 9.000) of DEM points. The three Fig. 5.20, 5.21 and 5.22 report respectively the trend of the measured principal altimetric deformations on the chosen points, the behaviour of the filtered signal, the behaviour of the residual noise. The least squares value of the residual, resulted 0.77 m, that is to say much greater than what it was expected to be. But it must be reminded that the collocation proceeding, just the method used to filter, hasn't got a good result where there are discontinuities of behaviour. In the case of a landslide deformation, such discontinuities exist and are concentrated, above all, on the detaching line of the landslide itself (South landslide limit).

Notwithstanding this, it is interesting to note in Fig. 5.21 how it is confirmed what we have already seen before, that is the mass defects line up themselves on the South edge of the landslide, while the excesses are concentrated in the North-East corner. Moreover, it must be noted that the estimated covariance's function (Fig. 5.19) resulting from the DEM points' analysis, has, practically, the same shape as the displacement's one in elevation (Fig. 5.15). That shows the homogeneity of the studied phenomenon. A study on the compensation among the volumes of the mass defects, and those of the mass excesses is under development, but it hasn't been finished yet.

7. The last paragraph of this report is dedicated to the

study of the planoaltimetric displacements of settling, divided in: measures on the sections and geometric precision leveling on the road Posatora-Torrette. The measures' uncertainty on the sections, resulting from the data's analysis, is smaller than 5 cm. These measures' results, as they can't be integrally reported, are condensed in 8 figures (4 for the planimetric displacements, and 4 for the altimetric displacements of settling) from 5.24 to 5.31. In the figures, we localize the areas where there are displacements included in different bands of value. From these figures, it comes out clearly how the settling displacements are dishomogeneously distributed and are concentrated in few well localized areas.

Therefore, the displacements of considerable settling have a localized behaviour and must be ascribed to local causes. On the contrary, the diffused movements that are surveyed by the precision leveling (whose measures have a very little uncertainty, about 1 mm) are due to more general causes.

These last displacements in the figures (from 5.32 to 5.37) which represent their behaviour, show a subsequent lowering of all the BMs placed inside the landslide.

To these lowerings, here and there, some wider variations linked to localized events, are summed up. The behaviour, in time-length, of the lowerings' means measured with each levelling (Fig. 5.38) is clearly indicative of the global behaviour of the altimetric displacements along the road Posatora-Torrette, which, we have to remind, crosses the whole landslide from East to West. We can see that the entire variations (that's referred to the first measure), go on increasing (in a negative way) till September 1983; on that date the variations stabilize on a lightly growing mean value.

As also the displacements on the sections stabilize themselves in the Summer 1983, we can think to confirm the hypothesis that, after about 6 months, the settling movements of the Ancona's landslide can be considered exhausted.

OPERE CITATE

F. ACKERMANN (1973) - *Numerische photogrammetrie*. H. Wichmann Verlag, Karlsruhe.

Milano, gennaio 1985

R. BARZAGHI & F. SANSÒ (1984) - *La collocazione in geodesia fisica*. Boll. di Geodesia e Scienze affini, 2.

M. BERNARDINI, U. CRESCENTI, M. RAINONE, N. SCIARRA & G.S. TAZIOLI (1982) - *Indagini geognostiche*. Metodologie di studio della frana di Ancona del dicembre 1982.

M. COLTORTI, F. DRAMIS, B. GENTILI, G. PAMBIANCHI & M. SORRISO-VALVO (1983) - *La Carta geomorfologica della frana di Ancona. Nota illustrativa*. Allegato n° 4 alla relazione scientifica della Comm. CNR "La frana di Ancona del 13 dicembre 1982".

U. CRESCENTI, G.F. CIANCETTI, M. COLTORTI, F. DRAMIS, A. GENTILI, T. NANNI, G. PAMBIANCHI, M. RAINONE, E. SEMENZA, M. SORRISO-VALVO, G.S. TAZIOLI & P. VIVALDA (1984) - *La grande frana di Ancona del 1982*. Collana "Problemi del territorio", Comune di Ancona, Assessorato all'Urbanistica.

M. CUNIETTI, G. FANGI, L. MUSSIO & F. RADICIONI (1984) - *Block adjustment and digital model of photogrammetric data in a control problem for the Ancona '82 landslide*. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 25(A3a/b), Rio de Janeiro.

G. FANGI & R. RADICIONI (1983) - *Frana Barducci di Ancona: primi risultati delle osservazioni topografiche successive agli eventi franosi del 1982*. Boll. della SIFET, 2.

G. FANGI & F. RADICIONI (1984) - *Ancona: confronto fra profili altimetrici precedenti e successivi alla frana del dicembre 1982*. Boll. della SIFET, 2.

H. MORITZ (1978) - *Advanced physical geodesy*. H. Wichmann Verlag, Karlsruhe.

L. MUSSIO (1984) - *Il metodo della collocazione minimi quadrati e le sue applicazioni per l'analisi statistica dei risultati delle compensazioni*. Ricerche di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria, 4, Clup, Milano.

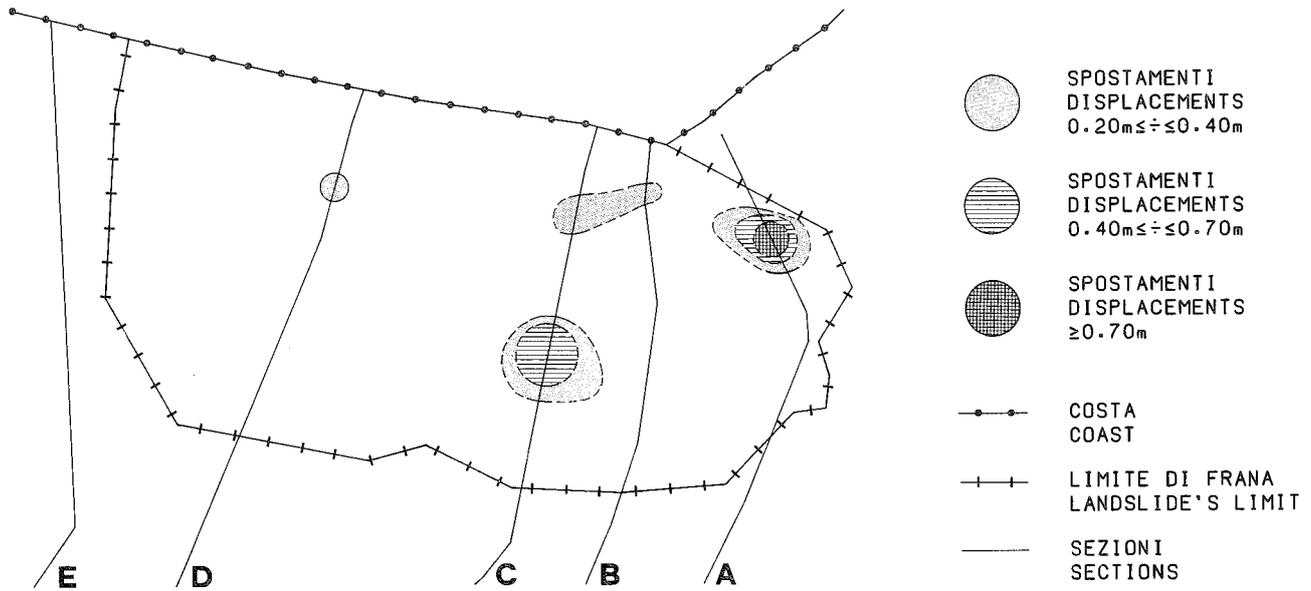


Fig. 5.24 - Rappresentazione degli spostamenti planimetrici di assetamento determinati con le seconde misure eseguite nel marzo 1983, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
Representation of the planimetric settling displacements determined by the second measurements executed in March 1983, compared with the first measurements (January 1983).

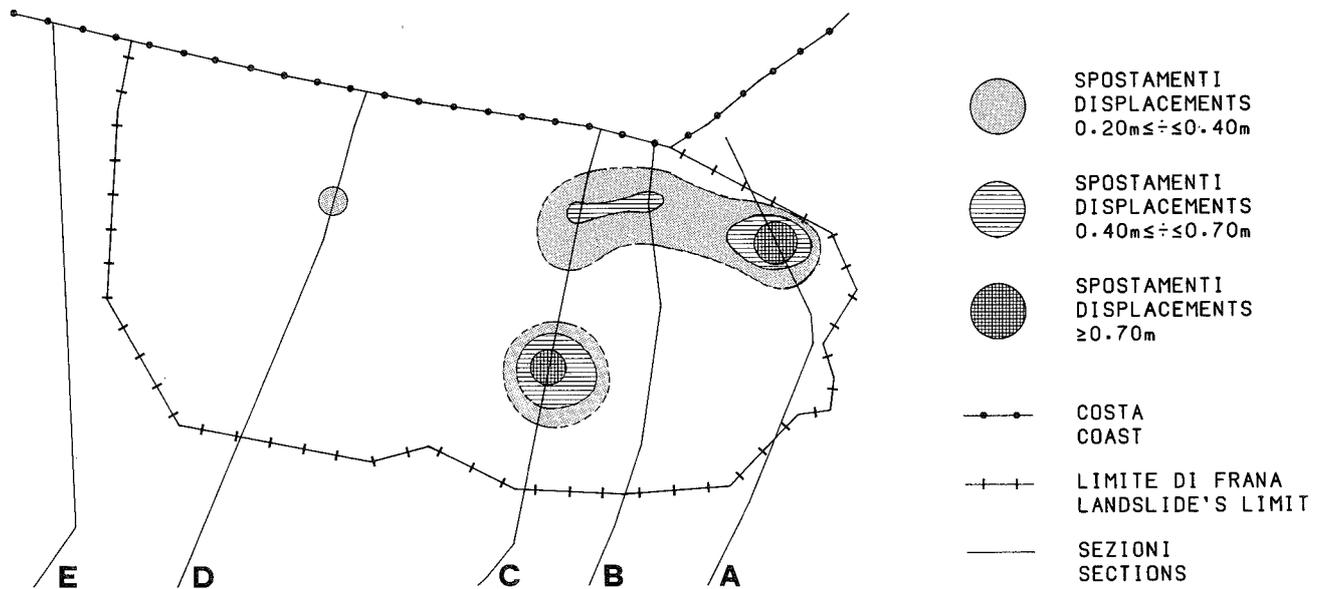


Fig. 5.25 - Rappresentazione degli spostamenti planimetrici di assetamento determinati con le terze misure eseguite nel maggio 1983, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
Representation of the planimetric settling displacements determined by the third measurements executed in May 1983, compared with the first measurements (January 1983).

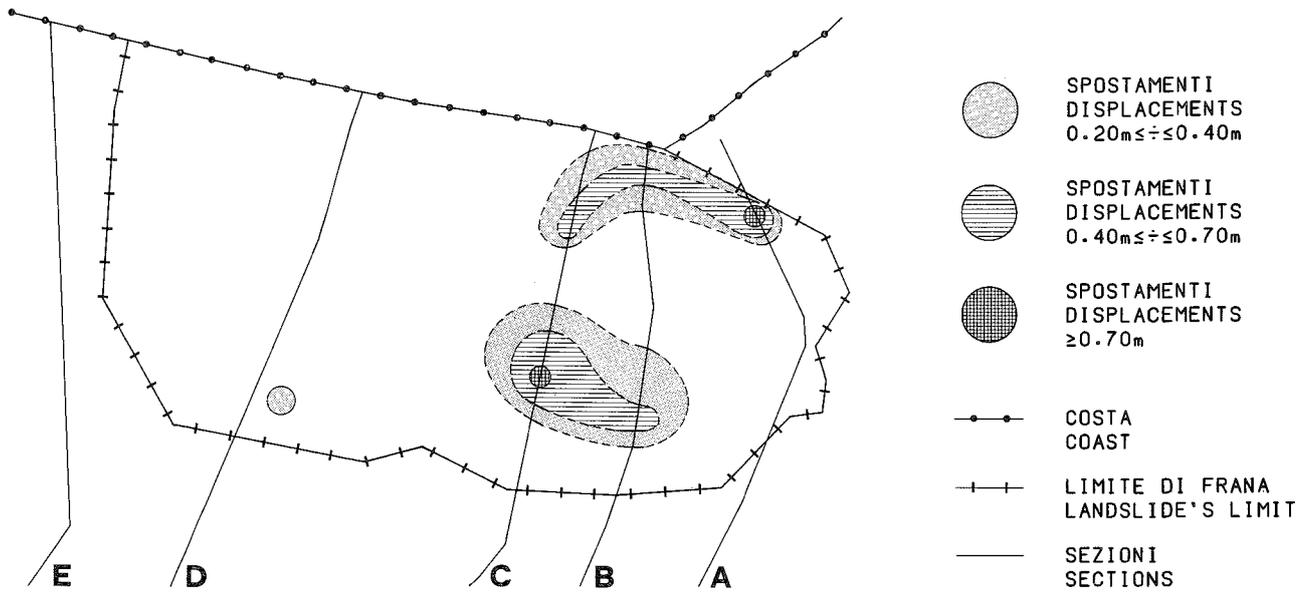


Fig. 5.26 - Rappresentazione degli spostamenti planimetrici di assestamento determinati con le quarte misure eseguite nel novembre 1983, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
 Representation of the planimetric settling displacements determined by the fourth measurements executed in November 1983, compared with the first measurements (January 1983).

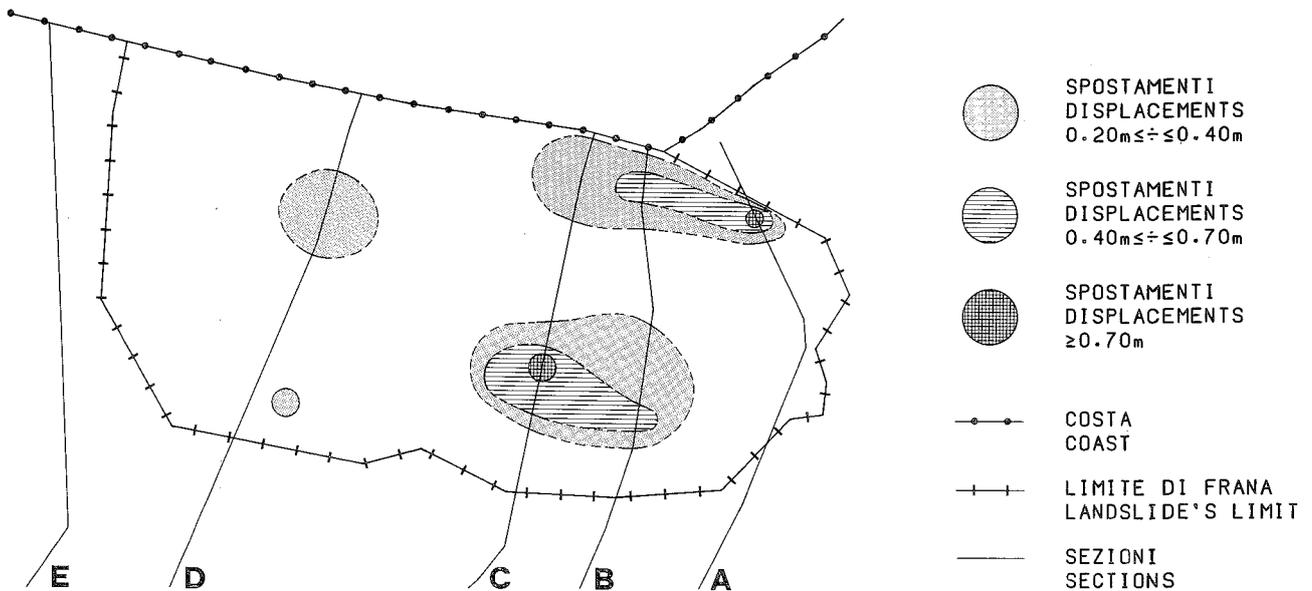


Fig. 5.27 - Rappresentazione degli spostamenti planimetrici di assestamento determinati con le quinte misure eseguite nel marzo 1984, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
 Representation of the planimetric settling displacements determined by the fifth measurements executed in March 1984, compared with the first measurements (January 1983).

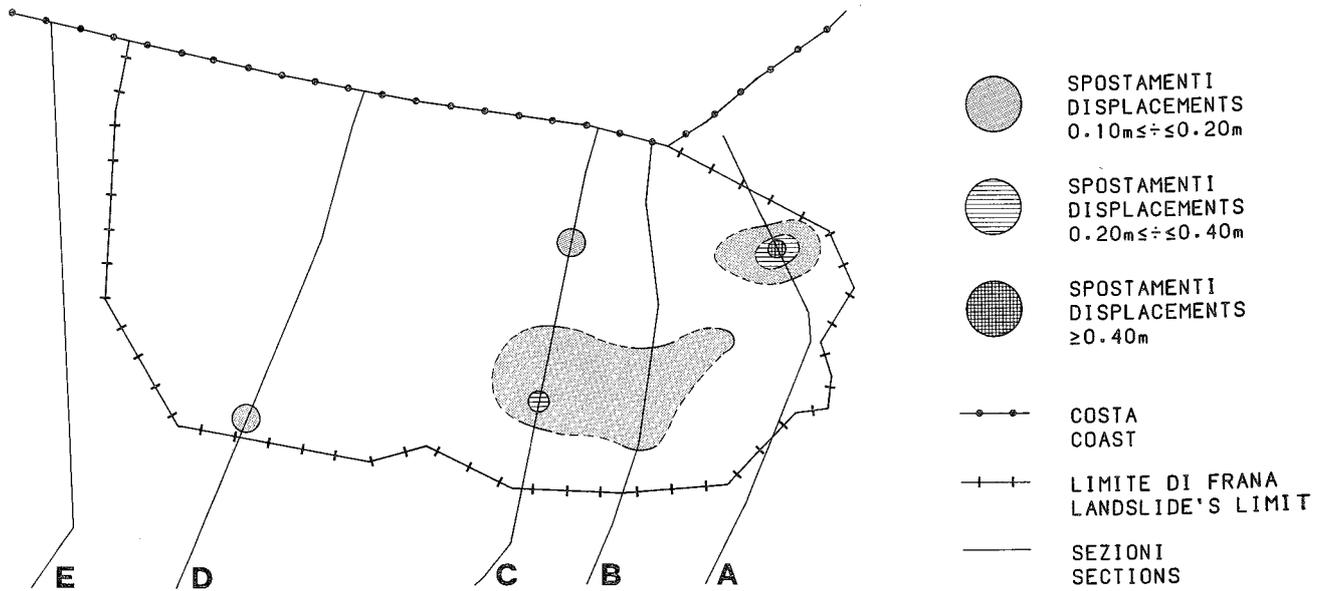


Fig. 5.28 - Rappresentazione degli spostamenti altimetrici di assetamento determinati con le seconde misure eseguite nel marzo 1983, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
Representation of the altimetric settling variations determined by the second measurements executed in March 1983, compared with the first measurements (January 1983).

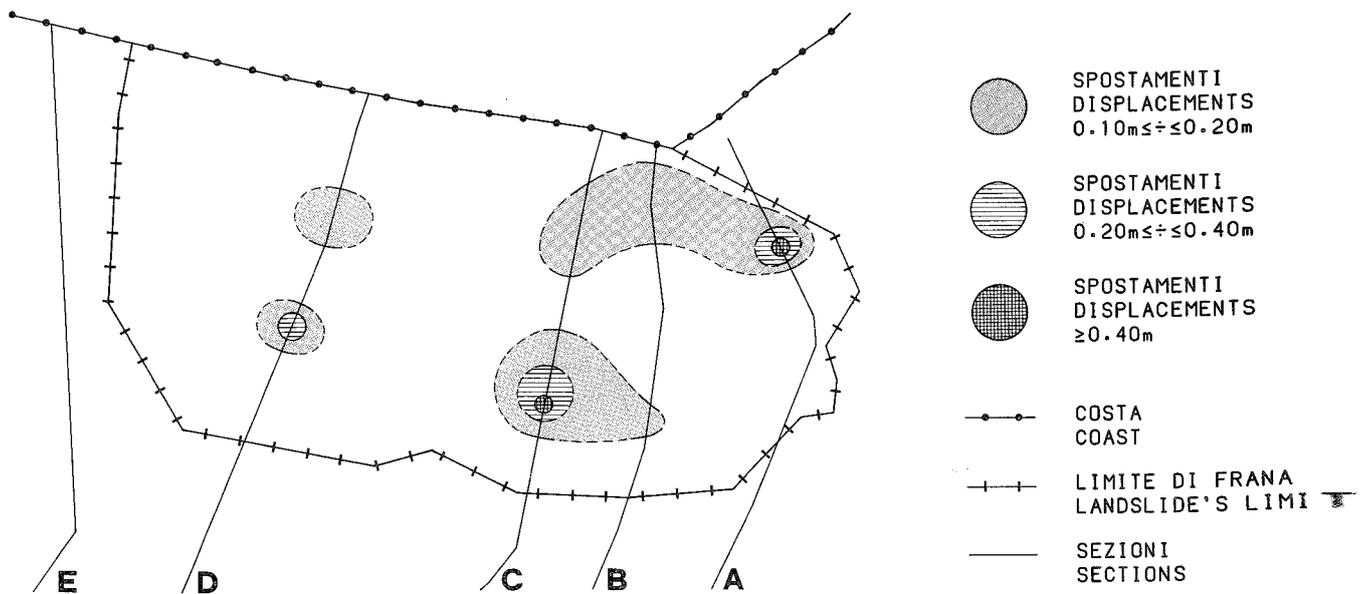


Fig. 5.29 - Rappresentazione degli spostamenti altimetrici di assetamento determinati con le terze misure eseguite nel maggio 1983, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
Representation of the altimetric settling variations determined by the third measurements executed in May 1983, compared with the first measurements (January 1983).

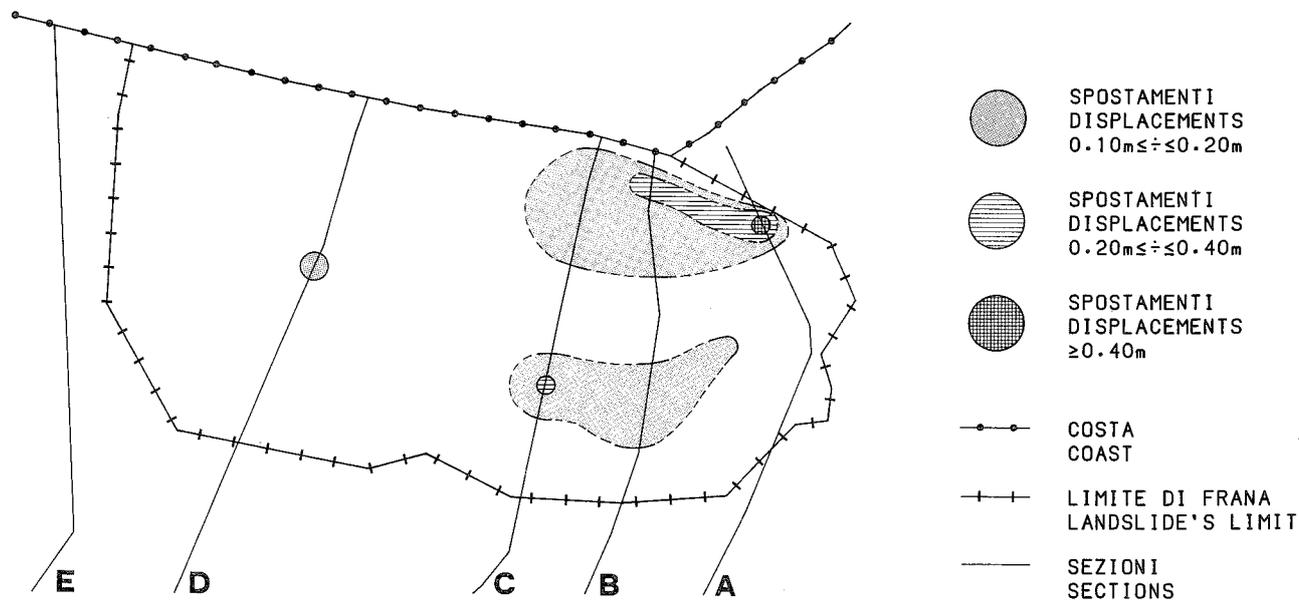


Fig. 5.30 - Rappresentazione degli spostamenti altimetrici di assetamento determinati con le quarte misure eseguite nell'ottobre 1983, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
 Representation of the altimetric settling variations determined by the fourth measurements executed in October 1983, compared with the first measurements (January 1983).

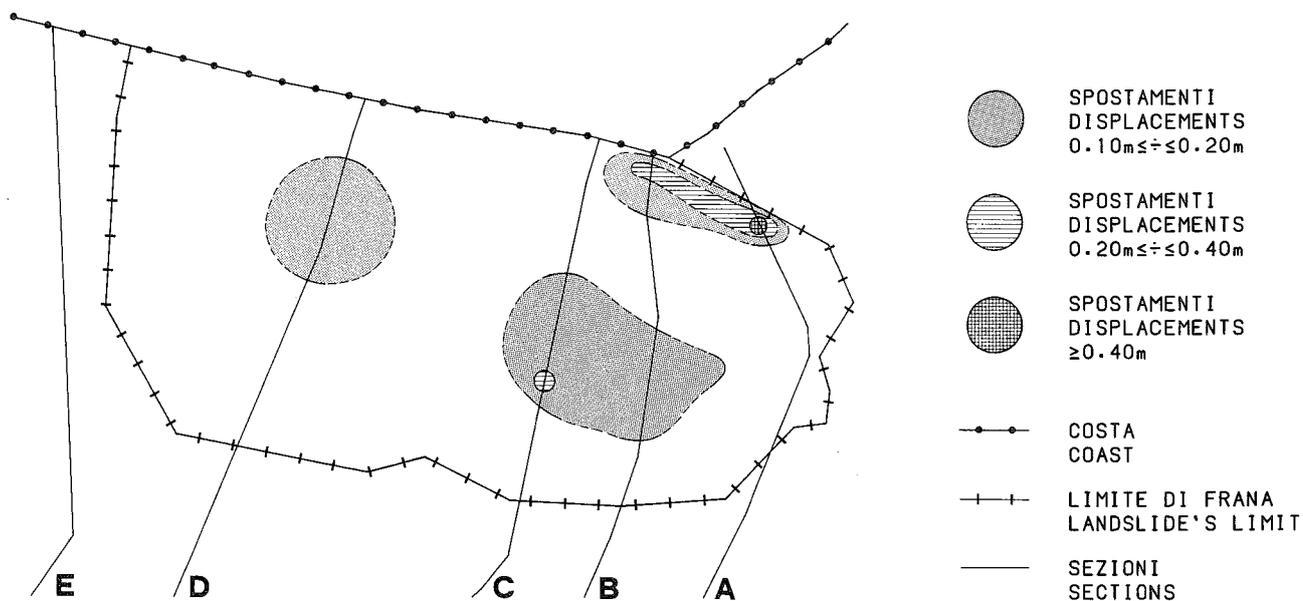


Fig. 5.31 - Rappresentazione degli spostamenti altimetrici di assetamento determinati con le quinte misura eseguite nel marzo 1984, rispetto alle prime misure (gennaio 1983).
 Representation of the altimetric settling variations determined by the fifth measurements executed in March 1984, compared with the first measurements (January 1983).

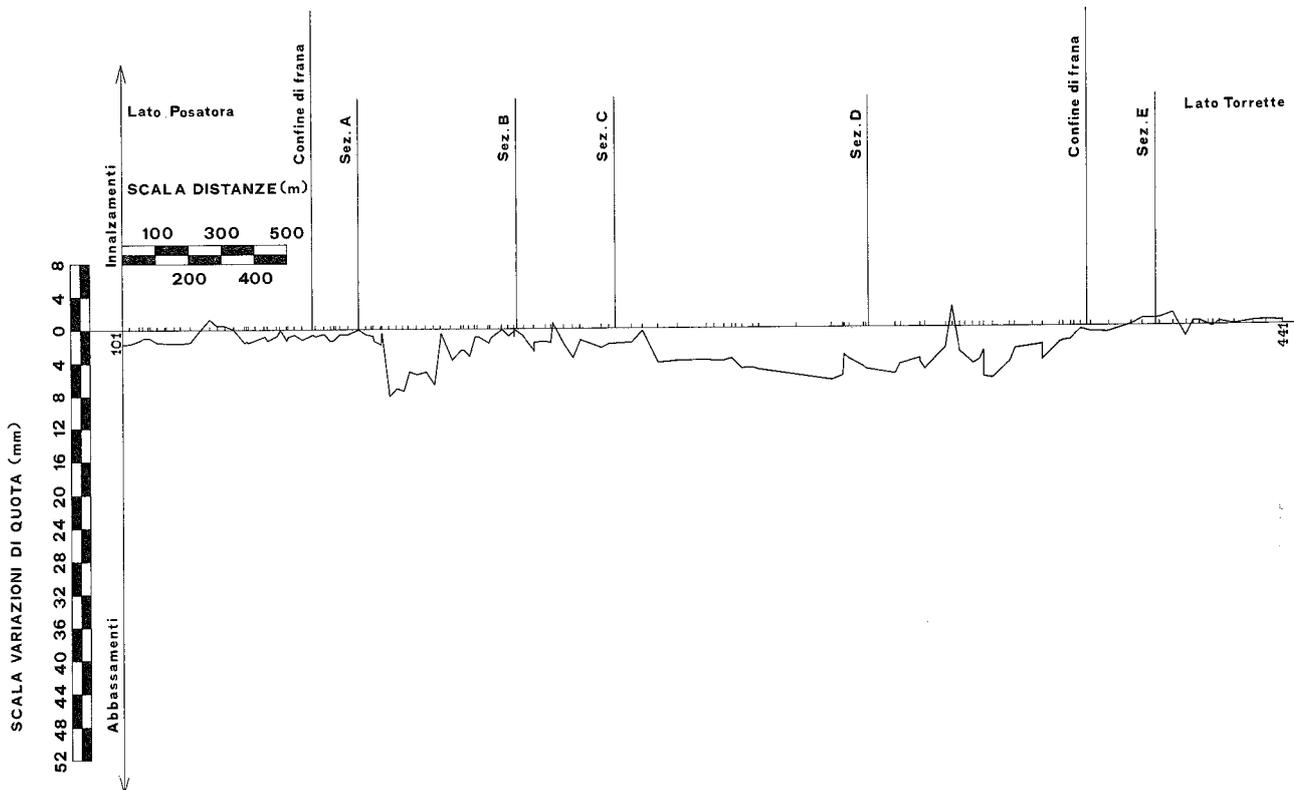


Fig. 5.32 - Variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette nel periodo tra la prima misura (marzo 1983) e la seconda misura (fine aprile 1983).
Elevation's variations of the B.M.s along the road Posatora-Torrette in the period between the first measurement (March 1983) and the second measurement (end of April 1983).

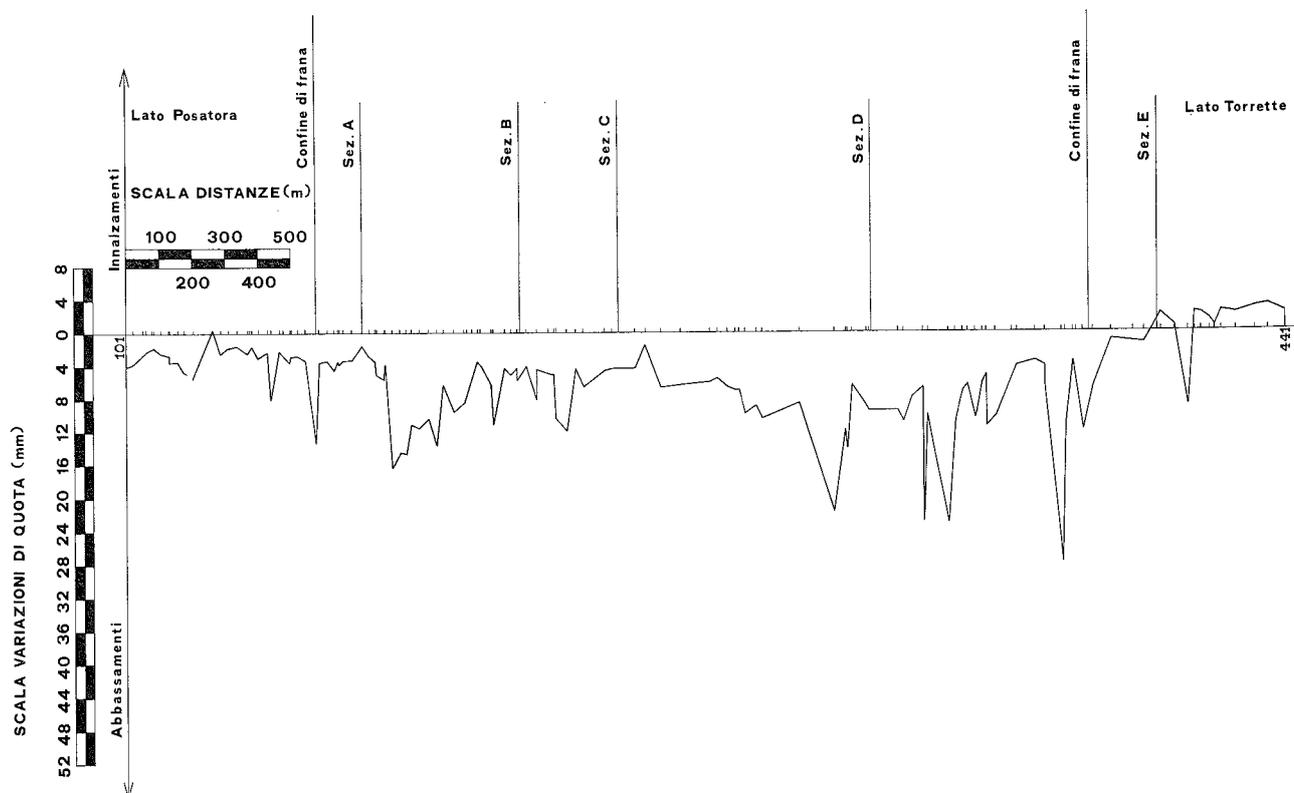


Fig. 5.33 - Variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette nel periodo tra la prima misura (marzo 1983) e la terza misura (luglio 1983).
Elevation's variations of the B.M.s along the road Posatora-Torrette in the period between the first measurement (March 1983) and the third measurement (July 1983).

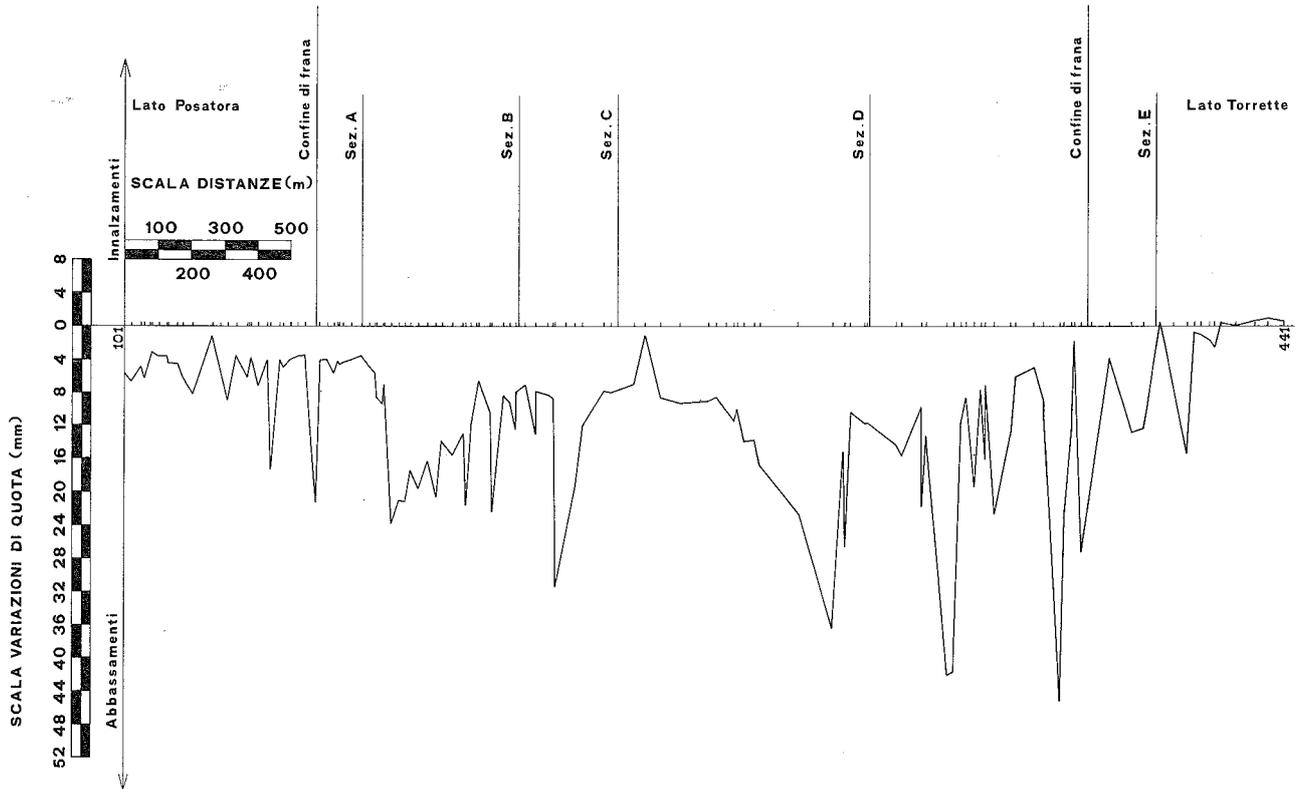


Fig. 5.34 - Variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette nel periodo tra la prima misura (marzo 1983) e la quarta misura (settembre 1983).
Elevation's variations of the B.M.s along the road Posatora-Torrette in the period between the first measurement (March 1983) and the fourth measurement (September 1983).

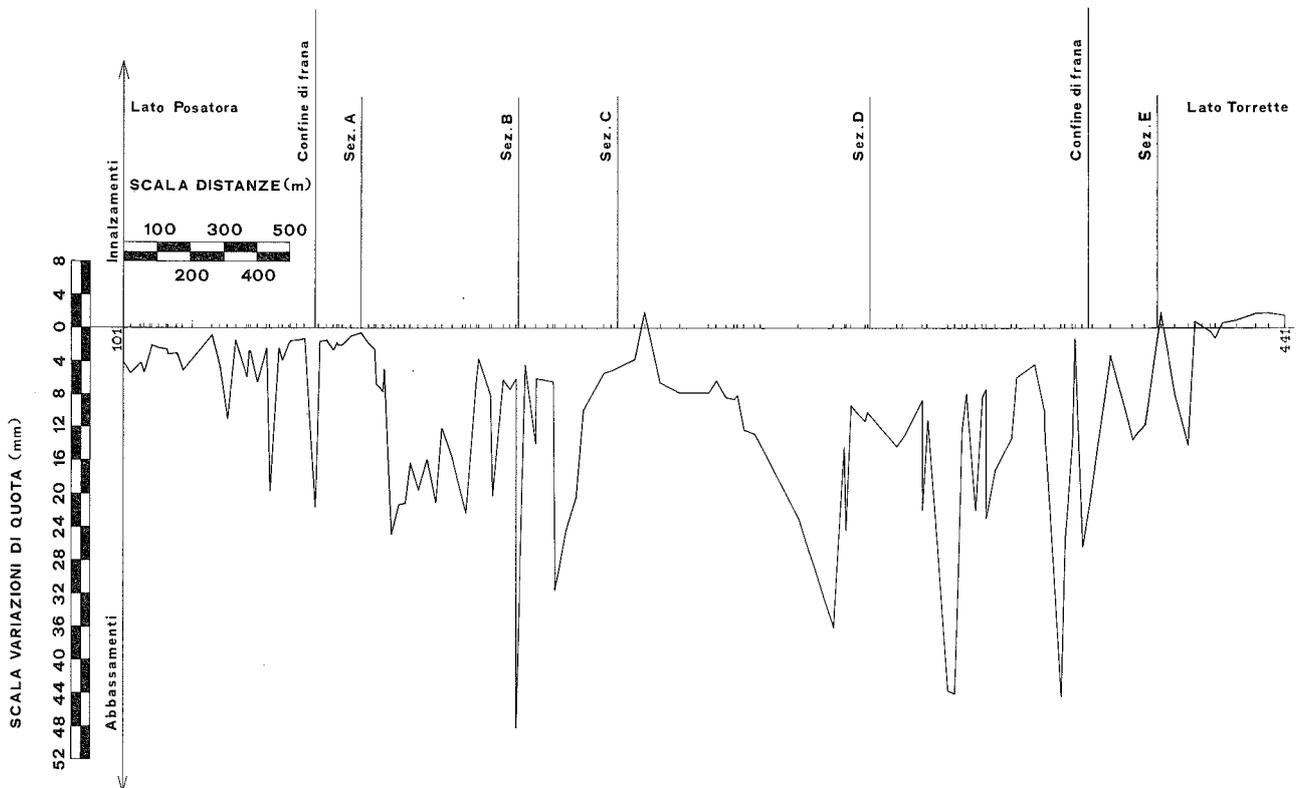


Fig. 5.35 - Variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette nel periodo tra la prima misura (marzo 1983) e la quinta misura (dicembre 1983).
Elevation's variations of the B.M.s along the road Posatora-Torrette in the period between the first measurement (March 1983) and the fifth measurement (December 1983).

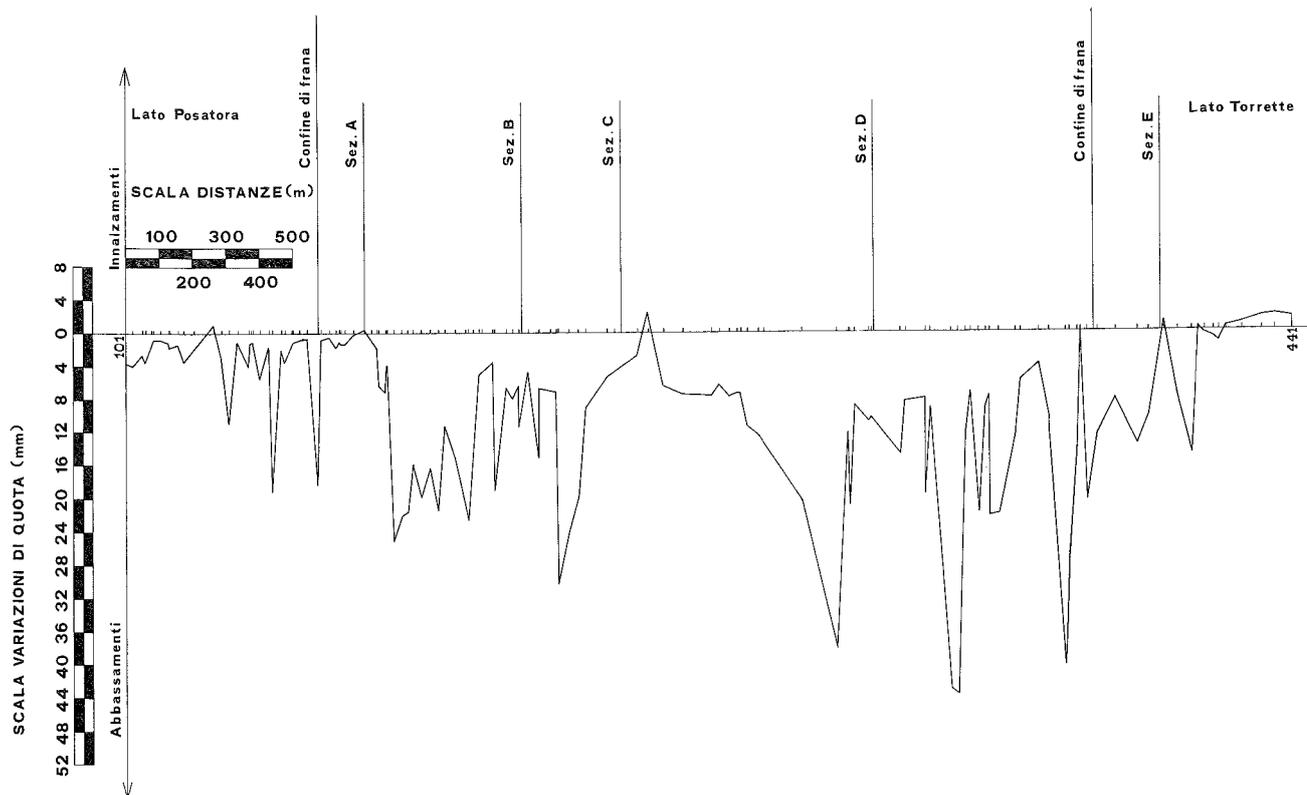


Fig. 5.36 - Variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette nel periodo tra la prima misura (marzo 1983) e la sesta misura (febbraio 1984).
Elevation's variations of the B.M.s along the road Posatora-Torrette in the period between the first measurement (March 1983) and the sixth measurement (February 1984).

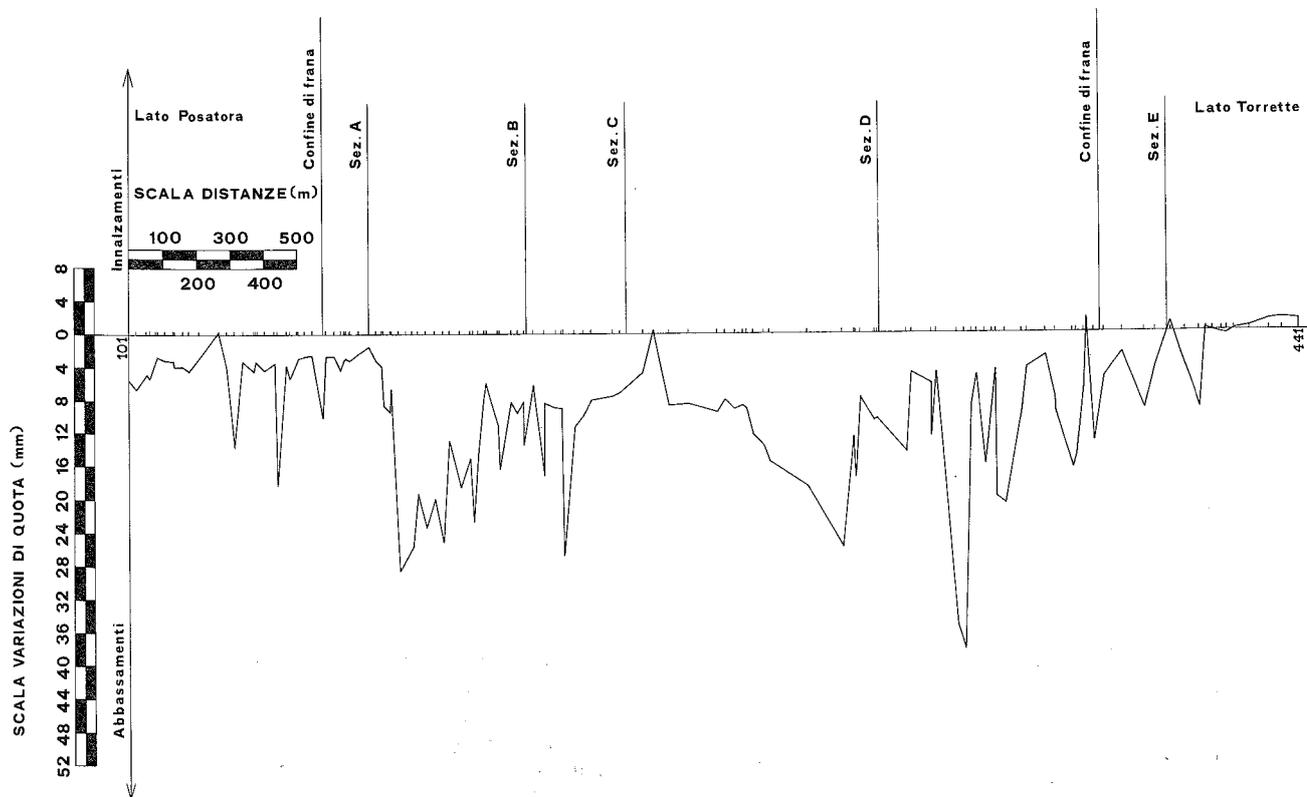


Fig. 5.37 - Variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette nel periodo tra la prima misura (marzo 1983) e la settima misura (aprile 1984).
Elevation's variations of the B.M.s along the road Posatora-Torrette in the period between the first measurement (March 1983) and the seventh measurement (April 1984).

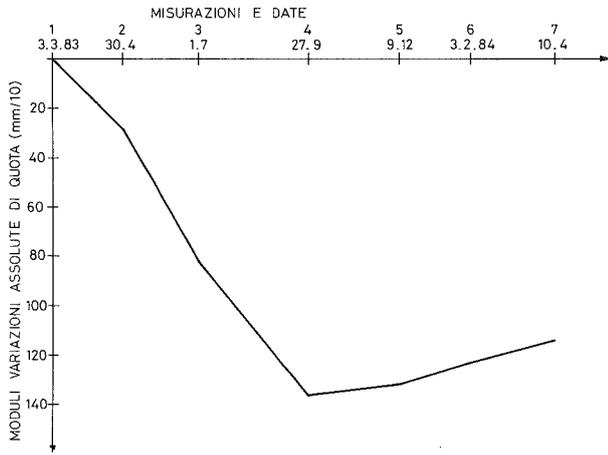


Fig. 5.38 - Andamento della media delle variazioni di quota dei C.S. lungo la strada Posatora-Torrette, in funzione della data di misura.
Behaviour of the average of the elevation's variations of B.M.s along the road Posatora-Torrette, in function of the measurement's date.

Fig. 5.39 - Andamento dello sqm delle variazioni ... della data di misura.
Behaviour of the variation's least squares value ... of measurement's date.

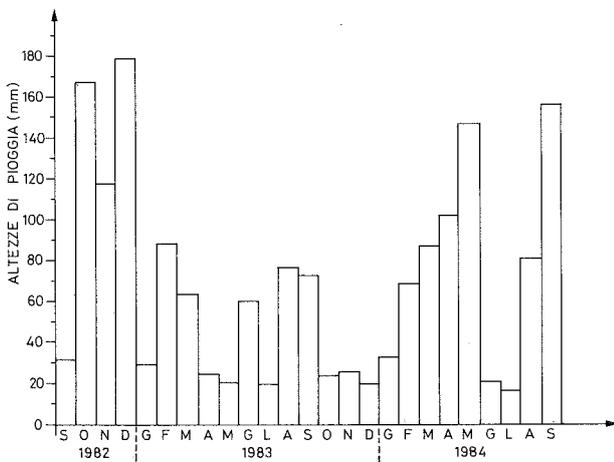
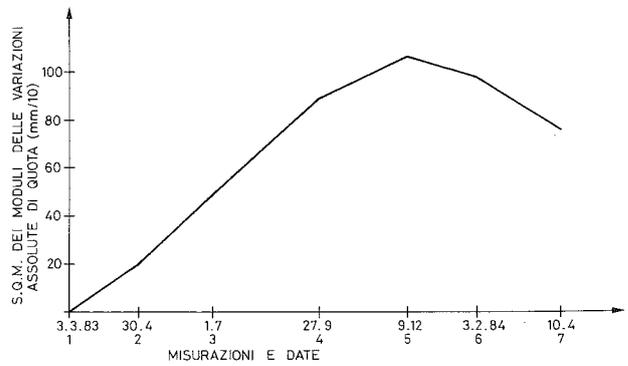


Fig. 5.40 - Altezza media delle precipitazioni piovose in Ancona nel periodo settembre 1982-settembre 1984 (da BERNARDINI et alii 1982).
Mean height of the rainy precipitations in Ancona in the period September 1982-September 1984 (from BERNARDINI et alii 1982).