

LE VARIAZIONI DI LIVELLO DEL SUOLO NELLA STRETTOIA DI RIPAFRATTA TRA MONTUOLO-LUCCA E RIGOLI-PISA (confronto con livellazioni precedenti)

*Brunetto Palla **

1. *Premessa*

Nel bimestre luglio-agosto 1972, tramite il Prof. Ezio Tongiorgi Direttore dell'Istituto Internazionale per le ricerche geotermiche del C.N.R. e per conto delle amministrazioni comunali di Pisa e Livorno, è stata eseguita una livellazione geometrica di precisione nei pressi delle località di Ripafratta e Filettole (prov. di Pisa) dove esistono pozzi di emungimento delle acque sotterranee per l'approvvigionamento idrico delle due città (1). La zona è al centro della strettoia di Ripafratta limitata ad est dai Monti Pisani e ad ovest dai Monti dell'Oltre Serchio; essa inizia dalla pianura lucchese, termina nella pianura pisana ed è percorsa interamente dal fiume Serchio.

Sfruttando la percorrenza di vecchie linee di livellazione (2), (3) rintracciate dopo accurate ricerche di archivio, il primitivo rilevamento altimetrico è stato esteso prima a tutta la strettoia di Ripafratta ed infine alla pianura pisana verso la costa, allo scopo di:

— avere un unico caposaldo di riferimento sulla rete fondamentale dell'Istituto Geografico Militare del 1951 (4);

— quotare: i vecchi pozzi di emungimento o piezometrici già esistenti nella zona; i nuovi pozzi analoghi entrati in esercizio (Filettole e S. Giuliano Terme - Pisa) per le aumentate necessità delle due città di Pisa e Livorno; i nuovi pozzi la cui entrata in funzione era prevista entro breve tempo (Vecchiano-Pisa - autunno 1972); le sorgenti di acqua calda (S. Giuliano Terme) e quelle di acqua fredda, e l'ingresso dei pozzi o grotte dove si presentano acque affioranti e mancano gli opportuni apparati di registrazione (Vecchiano-Avane-S. Giuliano Terme).

Il lavoro svolto ha avuto quindi anche lo scopo di integrare gli studi idrogeologici già fatti nella zona (5). A questo proposito si fa notare che sono ora in corso rilevamenti periodici dei peli liberi delle acque affioranti là dove mancano gli apparati registratori ed i risultati vengono messi a confronto, di volta in volta, con quelli forniti dagli apparati stessi piazzati in altre località.

Nel corso della campagna altri due elementi fornirono però la giustificazione per l'ampliamento della primitiva livellazione: le discordanze andata-ritorno nei primi tratti livellati lasciavano intravedere una « precisione » che andava ben oltre i limiti inizialmente imposti; le differenze di quota registrate

* Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria - Fac. di Ingegneria - Pisa.

nelle passate livellazioni tra i vecchi caposaldi rintracciati, e quelle ottenute tra gli stessi caposaldi con la nuova livellazione, presentavano variazioni degne di interesse.

I risultati della livellazione dell'estate 1972, le quote e le monografie di tutti i caposaldi battuti ed alcune considerazioni di carattere generale sono riportati nella nota citata. In questa si fermerà l'attenzione sul secondo fine che ha guidato il lavoro di campagna: le variazioni di livello del suolo lungo la strettoia di Ripafratta ottenute battendo nuovamente i caposaldi esistenti delle vecchie linee di livellazione dell'Istituto Geografico Militare (sigla I.G.M.) del 1920 (2) e dell'Ente Maremma (sigla E.M.) del 1969 (3).

In particolare, poi, si prenderanno in considerazione le variazioni periodiche di quota lungo la strettoia stessa, osservando che:

— le vecchie linee di livellazione I.G.M. 1920 ed E.M. 1969 in riva sinistra del Serchio, sono state integrate con caposaldi messi in loco dall'Istituto di Geodesia, Topografia e Fotogrammetria dell'Università di Pisa (sigla I.T.G.) nel 1972;

— nello stesso anno e dallo stesso Istituto, è stato creato un nuovo ramo in riva destra del Serchio da Pontasserchio (Pisa) a Filettole (Pisa) a Ponte S. Pietro (Lucca).

Le menzionate variazioni sono state messe in luce nel corso delle livellazioni periodiche semestrali effettuate, dopo quella del luglio 1972, rispettivamente nel dicembre 1972, nel luglio 1973 e, infine, nel dicembre 1973.

Nel corso di quest'ultima campagna, inoltre, sono stati battuti nuovi caposaldi I.T.G. fissati sui fianchi dei Monti Pisani e dei Monti dell'Oltre Serchio, utilizzando rocce affioranti, possibilmente della stessa specie sui due fianchi secondo quanto appare dalla Carta Geologica della zona redatta alla scala 1:25 000 (6). I nuovi caposaldi hanno indicazione numerica superiore al 43, od inferiore ma seguita da lettera in stampatello.

2. Caratteristiche del rilevamento - Strumenti - Riferimento

La rete si sviluppa in riva sinistra e destra del Serchio lungo la strettoia di Ripafratta e, all'uscita di essa nella pianura pisana, con un ramo ancora in riva destra del fiume, con l'altro circa a metà strada tra Serchio ed Arno; la rete si articola (vedere planimetria allegata):

— su tre poligoni: I - da Migliarino Pisano al ponte tra Pontasserchio e Vecchiano; II - da questo al ponte di Ripafratta; III - da questo a Ponte S. Pietro;

— su tre diramazioni principali: I - da Ponte alle Carte (Rigoli - Pisa) a S. Giuliano Terme secondo la vecchia percorrenza I.G.M. del 1920 (2); II - da Vecchiano, lungo il fianco occidentale dei Monti dell'Oltre Serchio, ai nuovi pozzi di emungimento esistenti a circa 2.2 km dall'abitato; III - da Migliarino Pisano a Madonna dell'Acqua verso Pisa ed all'Immaginetta verso Torre del Lago seguendo la percorrenza I.G.M. del 1951 (4) lungo la statale Aurelia;

— su altre diramazioni di carattere locale sviluppate per raggiungere pozzi e grotte con acqua affiorante.

La livellazione è stata condotta seguendo in ogni fase i criteri suggeriti dall'Associazione Internazionale di Geodesia in lavori similari. In partico-

lare: la distanza stadia strumento è stata misurata direttamente ammettendo uno scarto battuta contro battuta non superiore ai 20 cm; durante il ritorno lo strumento e la stadia hanno occupato le stesse posizioni dell'andata, preventivamente segnalizzate a terra con minio o con picchetti in legno; tra caposaldi successivi, si è spesso provveduto ad inserire punti obbligati intermedi (ogni quattro o cinque stazioni secondo la natura del terreno) materializzati con chiodi in acciaio, di tre centimetri, a testa emisferica murati su manufatti.

Sono state adoperate stadie Zeiss in invar, graduate a 0.5 cm, munite di livella sferica e due livelli Zeiss Ni 004, a lastra pian parallela, controllati nella rettifica all'inizio ed alla fine della campagna e, settimanalmente, durante la campagna stessa. I livelli hanno manifestato una buona stabilità: per il primo ed il secondo di essi la convergenza tra tangente centrale ed asse di collimazione è sempre risultata inferiore rispettivamente ad 1.0×10^{-3} mm ed 1.2×10^{-3} mm al metro di decentramento della stazione.

Per ogni tratto tra caposaldi successivi la discordanza ρ è risultata sempre inferiore alla quantità

$$\rho = \pm 2.5 \sqrt{r} \text{ mm} \quad (\text{U.G.G.I.}) \quad (7)$$

con r distanza espressa in km.

$$\text{Notando che } \Delta_{\text{medio}} = \frac{\Delta_{\text{andata}} - \Delta_{\text{ritorno}}}{2} \text{ tra caposaldi successivi;}$$

L = lunghezza del poligono o della diramazione in km; $\lambda = \sum \rho$ = somma delle discordanze per ogni poligono o diramazione; $\omega = \sum \Delta_{\text{medio}}$ = errore di chiusura per ogni poligono; $\Lambda = \pm 1.50 \times L^{3/4}$ km = valore della tolleranza in mm, secondo la formula internazionale (7), le caratteristiche della rete sono risultate

Poligono	S km	ω mm	λ mm	Λ mm
I	19.847	+ 7.11	+ 0.74	\pm 14.10
II	12.707	+ 6.91	- 1.83	\pm 10.10
III	12.108	+ 2.63	- 3.10	\pm 9.74

Diramazione	S km		λ mm	Λ mm
I	4.813		- 4.12	\pm 4.87
II	2.193		+ 0.82	\pm 2.29
III	3.044		- 1.84	\pm 3.46

La rete formata dai tre poligoni è stata compensata rigorosamente utilizzando i Δ_{medio} ed il procedimento delle osservazioni condizionate.

Il sistema normale è risultato

$$\begin{array}{rcll} S_I \cdot K_I & + & r_{14} \cdot K_{II} & - \omega_I = 0 \\ r_{14} \cdot K_I & + & S_{II} \cdot K_{II} - r_{27} \cdot K_{II} - \omega_{II} & = 0 \\ & - & r_{27} \cdot K_{II} + S_{III} \cdot K_{III} - \omega_{III} & = 0 \end{array}$$

con $r_{14} = 0.895$ km lato comune al I e II poligono ed $r_{27} = 0.434$ km lato comune al II e III poligono. I valori dei correlativi sono risultati:

$$K_I = + 0.33442 \frac{\text{mm}}{\text{km}}; K_{II} = + 0.52831 \frac{\text{mm}}{\text{km}}; K_{III} = + 0.23775 \frac{\text{mm}}{\text{km}}.$$

Si è preferito questo metodo di compensazione a quello delle osservazioni indirette (8) in conseguenza del numero limitato di equazioni di condizione e la semplicità dei calcoli.

Per la scelta del caposaldo di riferimento, chiuso il primo poligono sull'I.G.M. 8-1951 (4), si è estesa la livellazione a sud verso Pisa fino all'I.G.M. 3'-1951 (4); la variazione di -2.74 cm constatata nella differenza di quota tra il 1951 ed il 1972, ha indotto ad estendere la linea a nord verso Torre del Lago Puccini fino al caposaldo I.G.M. 11-C-1951 (4) de « l'Immaginetta » distante dall'I.G.M. 8-1951 circa 3 km. Poiché, in questo caso, la variazione della differenza di quota è risultata di -0.26 cm si è scelto come riferimento dell'intero rilievo il caposaldo I.G.M. 8-1951 (Chiesa Cappella Borghese Salviati in Migliarino Pisano) assumendo per esso la quota che appare nella nota citata (4).

Nei vecchi caposaldi I.G.M. del 1920, come appoggio della stadia è stata utilizzata una semisfera in acciaio, con raggio di 0.955 cm, campionata a 2.10^{-2} mm, fatta costruire appositamente presso l'officina del Laboratorio di Geologia Nucleare dell'Università di Pisa; per i collegamenti tra caposaldi orizzontali e verticali sono stati utilizzati nastri in acciaio invar di circa 1.50 m, graduati in mm, campionati al 10^{-2} mm, fatti costruire appositamente dall'Istituto Geografico Militare.

3. Le livellazioni periodiche lungo la strettoia di Ripafratta - Estensione della zona controllata

Il caposaldo I.G.M. della Chiesa Cappella Borghese Salviati in Migliarino Pisano, preso come riferimento per la livellazione dell'estate 1972, battuto dall'I.G.M. durante la ricostruzione della rete fondamentale nel 1951, apparteneva già alla rete fondamentale di livellazione del 1886 (9). L'abbassamento di -11.5 cm in esso riscontrato (10) corrisponde al valore medio dei cedimenti verificatisi nella zona di pianura compresa tra Viareggio, le colline livornesi e Pontedera nell'arco medio di tempo dal 1890 al 1951.

Tale valore denuncia indubbiamente la presenza di un fenomeno a carattere regionale e secolare, confermato dagli ulteriori cedimenti dei caposaldi I.G.M. VII-6-1951 « La Bucaccia », I.G.M. VI-5-1951 « Il Puntale », I.G.M. 3' e V-3'-1951 « Madonna dell'Acqua » (vedere colonna I della tabella) riscontrati con la livellazione dell'estate 1972; a questo si debbono aggiungere gli effetti del fenomeno a carattere locale dedotti dalla stessa livellazione per

confronto con quelle I.G.M. 1920 ed E.M. 1969. Per questi ultimi effetti si può parlare di due componenti: l'una ancora di carattere secolare ma locale; l'altra, pure locale, ma a carattere preminentemente stagionale che può essere separata dal resto effettuando livellazioni periodiche. E' quanto si è cercato di fare con le operazioni di campagna ripetute lungo la strettoia di Ripafratta nel dicembre 1972, luglio 1973, dicembre 1973, operazioni che si ha in animo di ripetere ancora tra alcuni anni anche per osservare il comportamento dei caposaldi della pianura (terreno alluvionale recente del quaternario (6)) e quello dei caposaldi fissati in roccia, nel dicembre 1973, sui fianchi dei monti che guardano verso il Serchio.

In tal modo si potrà procedere con una certa sicurezza nella separazione tra gli effetti secolari e quelli stagionali e nella correlazione degli uni e degli altri con la natura geologica del terreno illustrata da studi antichi e recenti dei quali esiste una ricca bibliografia (vedere per esempio le note 5 e 6 già citate). Basta infatti richiamare alla mente la notevole capacità di assorbimento del terreno ed osservare che sui movimenti stagionali hanno notevole influenza le condizioni meteorologiche della zona.

Nella ripetizione dei rami della linea di livellazione interessanti la strettoia di Ripafratta, si è sempre assunto come caposaldo il riferimento l'E.M. 40 dando ad esso la quota determinata nel luglio 1972 dopo il collegamento con la rete altimetrica fondamentale.

In vista dei programmati lavori futuri, si fa osservare che nel dicembre 1973 la parte controllata è stata estesa, verso Pisa, all'E.M. 41 ed all'I.G.M. 13 - 1920 (Chiesa di Pontasserchio): distanza E.M. 40 — I.G.M. 13 = 0.36 km circa; distanza I.G.M. 13 — E.M. 41 = 1.1 km circa. I due caposaldi, attraverso i risultati ottenuti nel luglio 1972, hanno manifestato una discreta stabilità nei confronti di quelli di riferimento delle rispettive linee di livellazione di appartenenza (vedere tabella - colonne III e II); inoltre la variazione del dislivello Δ (E.M. 41 - I.G.M. 13) tra il dicembre 1973 ed il luglio 1972 è risultata di — 1.8 mm.

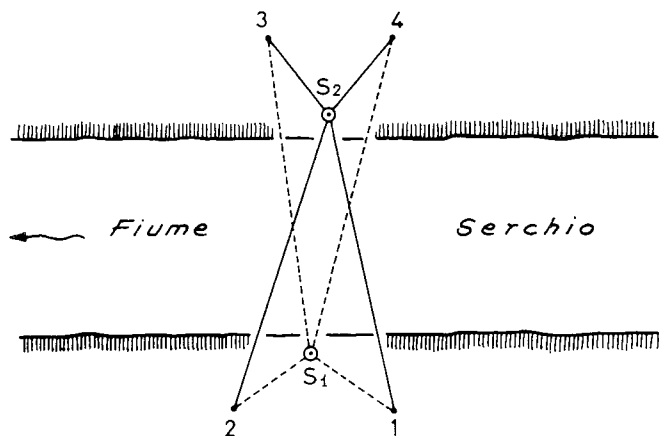
Verso Lucca l'ultimo controllo è stato esteso fino all'E.M. 31 (Montuolo) in riva sinistra del Serchio e fino all'I.T.G. 27 (Nozzano Vecchio) in riva destra.

Durante le varie ripetizioni, sono state seguite le stesse percorrenze della primitiva livellazione; lo strumento e la stadia hanno occupato le stesse posizioni perché è stato possibile rintracciare la segnalazione che ha preceduto la livellazione del luglio 1972.

4. *Gli attraversamenti del fiume Serchio*

Purtroppo durante i lavori di campagna del dicembre 1973, non si è potuto usufruire del ponte tra Pontasserchio e Vecchiano seriamente danneggiato da una piena del Serchio ed in via di ricostruzione; ciò ha reso necessario l'attraversamento del fiume tra I.T.G. 16 (La Cantinaccia-Baccanella) ed I.T.G. 15 (scala idrometrica di Pontasserchio), entrambi nei pressi del suddetto ponte, per poter chiudere il primo poligono controllato. Per chiudere il secondo poligono da Ripafratta verso Lucca e per non estendere eccessivamente la livellazione, altro attraversamento è stato effettuato tra I.T.G. 26 (Nozzano Castello) ed E.M. 32 (Villa Orsini).

Durante le operazioni di attraversamento si è seguito quanto altri autori hanno raccomandato in proposito (11). Lo schema seguito è stato il seguente (vedere figura):



- strumenti utilizzati i due Zeiss Ni 004 già menzionati;
- stadie in invar, già menzionate, bloccate nella loro posizione con treppiede;
- osservazioni a bolla centrata;
- da S₁ osservazioni a 3, 4 e, contemporaneamente, da S₂ ad 1, 2 con ripetizione delle osservazioni (quattro serie di quattro osservazioni ciascuna);
- da S₁ osservazioni ad 1,2 e, contemporaneamente, da S₂ a 3, 4 con ripetizione delle osservazioni prima e dopo le precedenti serie;
- durante le osservazioni ai punti lontani, per ogni serie di osservazioni, è stata determinata la temperatura all'altezza degli strumenti ed al pelo libero dell'acqua;
- scambio degli strumenti e ripetizione di tutte le operazioni;
- la quota dell'asse di collimazione rispetto al pelo libero dell'acqua del Serchio è risultata di poco superiore ai 10 m.

Al termine delle operazioni di attraversamento, dopo aver cambiato i punti di stazione, sono state determinate, due volte, le differenze di quota Δ_{12} e Δ_{34} con livellazione geometrica dal mezzo.

Durante le operazioni di attraversamento la differenza di temperatura tra lo strumento e l'acqua non ha superato il valore di 0.6 °C, ciò che ha portato alla esclusione di un eventuale errore sistematico di rifrazione (11-II). Di conseguenza, dopo aver depurato le letture dell'errore dovuto alla convergenza tra asse di collimazione e tangente centrale alla livella diverso nei due strumenti, le differenze di quota pertinenti agli attraversamenti sono state determinate con le medie dei risultati ottenuti agli strumenti contrapposti ed infine con la media delle medie.

Gli errori di chiusura dei quadrilateri, utilizzando i Δ degli attraversamenti ed i Δ_{12} e Δ_{34} ottenuti con livellazione diretta, sono risultati rispettiva-

mente — 0.53 mm per il primo e + 0.29 mm per il secondo su uno sviluppo poligonale di circa 400 m.

Infine l'insieme dei due poligoni è stato compensato rigorosamente ancora col metodo delle osservazioni condizionate.

Le caratteristiche dei due poligoni, dando ai simboli il significato precedentemente indicato, sono risultate le seguenti:

<i>Poligono</i>	<i>S km</i>	ω <i>mm</i>	λ <i>mm</i>	Λ <i>mm</i>
A Pontasserchio Ripafratta	11.868	— 4.39	+ 1.50	± 9.59
B Ripafratta Nozzano Cast.	6.142	+ 4.16	+ 1.05	± 5.85

5. Considerazioni

Nella tabella sono riportate, nelle colonne I, II, III, caposaldo per caposaldo, le variazioni delle differenze di quota ottenute per confronto tra la livellazione I.T.G. 1972 e le precedenti I.G.M. 1920 e 1951 ed E.M. 1969 tenendo fermi i caposaldi di partenza di queste ultime.

A parte i cedimenti registrati (riferimento I.G.M. 8-1951) nella I colonna che confermano i risultati della livellazione I.G.M. 1951 (10), i valori della II e III colonna non sono direttamente confrontabili tra loro in quanto le livellazioni I.G.M. 1920 ed E.M. 1969 sono partite da caposaldi diversi. Tuttavia l'andamento dei valori lungo la strettoia di Ripafratta, in riva sinistra del Serchio, presenta analogie rimarchevoli: per entrambe le livellazioni, infatti, i valori dei cedimenti all'inizio della strettoia (E.M. 40) tendono ad aumentare con l'inoltrarsi in essa fino a raggiungere un massimo nella zona centrale là dove la strettoia assume la maggiore ampiezza; procedendo verso nord l'abbassamento diminuisce gradatamente e, all'uscita dalla strettoia, il fenomeno si inverte rivelando un graduale innalzamento. Queste analogie assumono un aspetto ancora più consistente e concreto se si considerano i valori in corrispondenza di quattro caposaldi I.G.M. ed altrettanti E.M. fissati, a coppie, sullo stesso manufatto ad una distanza di non più di tre metri l'uno dall'altro (purtroppo la livellazione E.M. 1969 ha ignorato l'esistenza della precedente I.G.M.); le coppie sono: I.G.M. 15 - E.M. 39; I.G.M. 16 - E.M. 38; ex I.G.M. 19 - E.M. 35; ex I.G.M. 24 - E.M. 31.

Una certa eccezione a questa linea generale si potrebbe riscontrare nel comportamento di I.G.M. 19 A ed I.G.M. 20 (verticale) che presentano rispettivamente il massimo innalzamento (+ 38.3 mm) ed il massimo cedimento (— 233.0 mm) rispetto al caposaldo di partenza della linea del 1920. L'eccezionalità rientra però in limiti di regolarità ove si osservi: che la Chiesa di Ripafratta (I.G.M. 19 A) è costruita a ridosso della collina, come le case sovrastanti, su basamento roccioso (macigno (6)) del quale si notano affio-

ramenti a circa 80 m dalla stessa; che la stazione F.S. di Ripafratta (I.G.M. 20) è costruita su terreno alluvionale, nelle vicinanze del canale Ozzeri e del Serchio e che sui cedimenti hanno grossa influenza i carichi dinamici dovuti al passaggio dei convogli ferroviari della linea Pisa-Lucca.

Si fa notare, per inciso, che analogo comportamento hanno manifestato rispettivamente i caposaldi I.G.M. 15 III C all'ingresso del fabbricato delle Terme di S. Giuliano ed I.G.M. 15 II A alla stazione F.S. di S. Giuliano Terme della stessa linea Pisa-Lucca (1).

Questo andamento generale del fenomeno riscontrato sui caposaldi delle vecchie linee in riva sinistra del Serchio è stato confermato (vedere colonne V, VI) dalle livellazioni periodiche semestrali eseguite nel dicembre 1972 e luglio 1973 e dalla colonna VII che contiene i risultati del confronto tra il terzo controllo semestrale del dicembre 1973 e la livellazione del luglio 1972. La conferma è facilmente rilevabile anche dai grafici delle variazioni delle differenze di quota.

Con la ripetizione delle livellazioni, fatta negli stessi periodi, sui nuovi caposaldi I.T.G. 1972 messi in loco a nord ed a sud di Ripafratta, si sono potuti rilevare i movimenti stagionali anche in riva destra del Serchio; i valori ottenuti confermano, nelle linee generali, quanto già osservato per i caposaldi posti in riva sinistra del fiume.

Da un esame globale dei risultati, pur tenendo presente il numero limitato di valori a disposizione riferentisi soltanto al terreno alluvionale delle rive del Serchio, si possono ricavare utili indicazioni di massima (vedere la colonna VII) rispetto al caposaldo E.M. 40 che, si ricorda, è stato preso come riferimento:

I - il minimo abbassamento sembra aversi sulla linea Chiesa di Ripafratta (I.G.M. 19 A) - Casolare Laiano (I.T.G. 24);

II - il massimo abbassamento sembra aversi sulla linea Colognole (E.M. 36) - Draga sul Serchio (I.T.G. 18) come asse della striscia che ha i suoi limiti a nord ed a sud rispettivamente a Villa Sassina (E.M. 35) e Patrignone (E.M. 37) in riva sinistra, e il Colle (I.T.G. 19) e la Chiesa-Avane (I.T.G. 17) in riva destra;

III - i cedimenti in riva destra sembrano avere maggiore consistenza che non quelli in riva sinistra fatto questo che, se confermato dalle programmate livellazioni future, sarebbe della massima importanza per lo studio del comportamento della lente alluvionale che ricopre il basamento roccioso posto sotto l'alveo del Serchio lungo tutta la strettoia di Ripafratta (6). In proposito si è costruito un diagramma delle variazioni di quota (confronto tra il dicembre 1973 ed il luglio 1972 - riferimento E.M. 40) avvenute in riva sinistra del Serchio ed in riva destra, considerando punti corrispondenti sulle due rive quelli che si trovano approssimativamente sulla stessa perpendicolare rispetto al fiume. Nel diagramma è stata condotta, in tratteggio, la congiungente E.M. 34 - E.M. 33 per isolare I.G.M. 20 della stazione F.S. dato il suo comportamento particolare.

Appare evidente quindi l'interesse che avranno i risultati delle future livellazioni, ed in particolare il confronto tra il comportamento dei caposaldi della pianura con quello dei caposaldi fissati, come già detto, in roccia sui fianchi dei Monti Pisani e dei Monti dell'Oltre Serchio nel corso della campagna del dicembre 1973.