

LORENZO BALESTRI (*), GAETANO MAGNONI (*), GIUSEPPE MOZZI (**),
RENATO SANTANGELO (*) & GIUSEPPE ZAMBON (**)

MOVIMENTI RECENTI NELL'ITALIA NORD-ORIENTALE DA RIPETIZIONI DI LIVELLAZIONI DI PRECISIONE (1952-1985) (***)

Abstract: BALESTRI L., MAGNONI G., MOZZI G., SANTANGELO R. & ZAMBON G., *Recent tectonic movements in North-Eastern Italy by a time series of precision levellings (1952-1985).*

A time series of precision levellings along the line Venice-Cortina, measured in the period 1952-1985, have been analyzed. The differences of heights between pairs of marks within a same bench mark have been distributed in order to estimate the errors in a single measuring step. The error of a difference of heights between distant bench marks has been obtained by propagation of previous errors considered as independent.

All the heights have been referred to a bench mark in Treviso, which was measured in all levellings. Treviso has been chosen because it is rather close to the Adriatic sea and because its lithological ground prevents short trend movements as due to anthropogenic subsidence.

The time evolution of each bench mark referred to Treviso has been considered as linear. Within the quoted errors this linear fit is consistent everywhere except near Venice where anthropogenic subsidence occurred before 1970.

The slope of a linear fit of the bench mark evolution versus distances is consistent with no movement from Preganziol (Venice) to Spresiano, and with a rotational movement increasing the height of the Alps around a fault, running NE-SW, passing through Spresiano. The rotation is consistent with constant angular velocity; precisely $3,6E-02$ mm/year km.

KEY WORDS: Geodesy, Neotectonics, Levellings, NE Italy.

Riassunto: BALESTRI L., MAGNONI G., MOZZI G., SANTANGELO R. & ZAMBON G., *Movimenti recenti nell'Italia nord-orientale da ripetizioni di livellazioni di precisione (1952-1985).*

Sono stati analizzati i risultati di una serie di livellazioni di precisione effettuate sul tratto Cortina-Venezia.

Dallo studio dei dislivelli fra coppie di segnali di uno stesso caposaldo si è ricavata una stima della precisione. L'evoluzione temporale delle quote dei singoli caposaldi, riferite ad un caposaldo di Treviso, è stata approssimata con una regressione lineare.

L'andamento delle pendenze delle rette di regressione, riportate in funzione della distanza Nord da un asse Est-Ovest di riferimento passante per Spresiano, indica, per la zona a Nord di Treviso, un presumibile sollevamento con moto rotatorio di velocità angolare costan-

te attorno a detto asse. L'esistenza di una discontinuità passante per Spresiano è compatibile con una faglia sepolta, orientata NE-SW, sulla verticale per Spresiano.

TERMINI CHIAVE: Geodesia, Neotettonica, Livellazioni, NE Italia.

INTRODUZIONE

Nel periodo compreso tra il 1952 ed il 1985 è stata effettuata una serie di livellazioni nella zona compresa tra Venezia e Cortina, lungo un percorso così suddiviso:

- linea CDV da Venezia (P.ta della Salute) a Marghera - 12,7 km, n. 27 caposaldi;
- linea 35 da Marghera a Ponte nelle Alpi - 98,6 km, n. 129 caposaldi;
- linea 38 da Ponte nelle Alpi a Tai di Cadore - 35,4 km, n. 45 caposaldi;
- linea 39 da Tai di Cadore a Cortina d'Ampezzo - 30,7 km, n. 35 caposaldi, (C.N.R., 1986; ZAMBON, 1986).

Il numero di livellazioni eseguite nel periodo di tempo citato varia da due a dieci: le linee maggiormente battute sono la linea 35 e la linea CDV nelle quali le quote di alcuni caposaldi sono state battute dieci volte.

Il lavoro qui presentato si propone di rilevare eventuali moti verticali del suolo per mezzo di una analisi statistica dei dati di livellazione sopra citati, prescindendo da interpretazioni di carattere geologico dei risultati ottenuti.

METODOLOGIA

Il lavoro è strutturato su diverse fasi: 1) scelta di un caposaldo di riferimento, 2) stima della precisione delle misure, 3) evoluzione temporale dei caposaldi e 4) determinazione della velocità di sollevamento dei caposaldi stessi in funzione della loro distanza da un asse.

Per quanto riguarda la scelta del riferimento, è bene precisare che i dati forniti dalle diverse livellazioni non sono

(*) Osservatorio Geofisico dell'Università, Modena.

(**) Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del C.N.R., Venezia.

(***) Lavoro realizzato nell'ambito del Progetto di Ricerca del M.P.I. «Morfoneotettonica» (Fondi 40%).

confrontabili poiché ogni livellazione ha un suo riferimento che può essere variato rispetto al livello medio mare.

Per omogeneizzare questi dati si è resa necessaria la scelta di un riferimento comune a tutte le livellazioni.

La stima della precisione delle misure è ottenuta da una analisi statistica di scarti i cui valori seguono una distribuzione Gaussiana.

La varianza sulla quota di un caposaldo è proporzionale al numero di battute contate a partire dal caposaldo di riferimento.

1) Scelta del riferimento

Come caposaldo di riferimento è stato scelto un caposaldo di Treviso che assomma diverse caratteristiche favorevoli: è stato misurato in tutte le dieci livellazioni effettuate tra il 1952 ed il 1985, non è soggetto a fenomeni di subsidenza antropica a causa dell'assenza di strati di argilla nel sottosuolo, non è troppo lontano dal mare, il che rende più facile e più preciso riferire poi eventualmente i dati al livello medio mare. In questa fase non è stato possibile utilizzare il livello medio mare perché Venezia, nei tempi considerati, è stata soggetta a subsidenza antropica. Comunque il caposaldo di Treviso non pare muoversi molto rispetto al livello medio mare, pur nell'ampia fluttuazione delle misure del livello stesso.

Le quote usate nell'elaborazione non sono pertanto assolute, ma riferite ad un certo caposaldo (Treviso) scelto arbitrariamente; quindi gli eventuali movimenti del suolo delle località esaminate sono intesi come movimenti rispetto al caposaldo citato (BALESTRI & *alii*, 1987).

2) Stima della precisione

Nelle linee di livellazione considerate ogni caposaldo è in generale materializzato da diversi segnali (in numero da uno a sei) sempre tra loro molto vicini cioè a distanze che raggiungono al massimo una decina di metri: la stima della precisione delle misure è stata ottenuta analizzando le differenze di quota nei diversi anni fra tutte le coppie di segnali di ogni caposaldo (BALESTRI & *alii*, 1986).

Per un dato caposaldo sia $Q(j, k)$ la quota del segnale j -esimo della livellazione k -esima. Pertanto l'indice k varia da 1 a 10, numero massimo di livellazioni eseguite sul segnale.

Il dislivello relativo ad una coppia di segnali nello stesso anno è

$$D(j, j+m, k) = Q(j, k) - Q(j+m, k);$$

$$m = 1, 2, \dots, h-1$$

dove h è il numero di segnali del caposaldo r -esimo.

La media dei dislivelli fra coppie omologhe (stessa j e stessa m) e gli scarti dei dislivelli dalla media sono rispettivamente

$$\bar{D}(j, j+m) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n D(j, j+m, k)$$

$$S(j, j+m, k) = D(j, j+m, k) - \bar{D}(j, j+m)$$

per il caposaldo r -esimo la somma dei quadrati degli scarti è

$$S^2(r) = \sum_{m=1}^{h-1} \sum_{j=1}^{h-m} \sum_{k=1}^m S(j, j+m, k)^2$$

quindi la varianza, per l'intera linea costituita da N caposaldi, sarà

$$\sigma^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{r=1}^N S^2(r)$$

ove L è il numero di coppie di segnali utilizzate.

La tabella 1 riporta i valori di σ così calcolati, mentre in fig. 1 è riportata, a titolo di esempio, la distribuzione degli scarti per la linea 35 ($\sigma = 0,54$ mm).

Tabella 1

Linea	39	38	35	CVD
σ (mm)	1,28	1,06	0,54	0,81

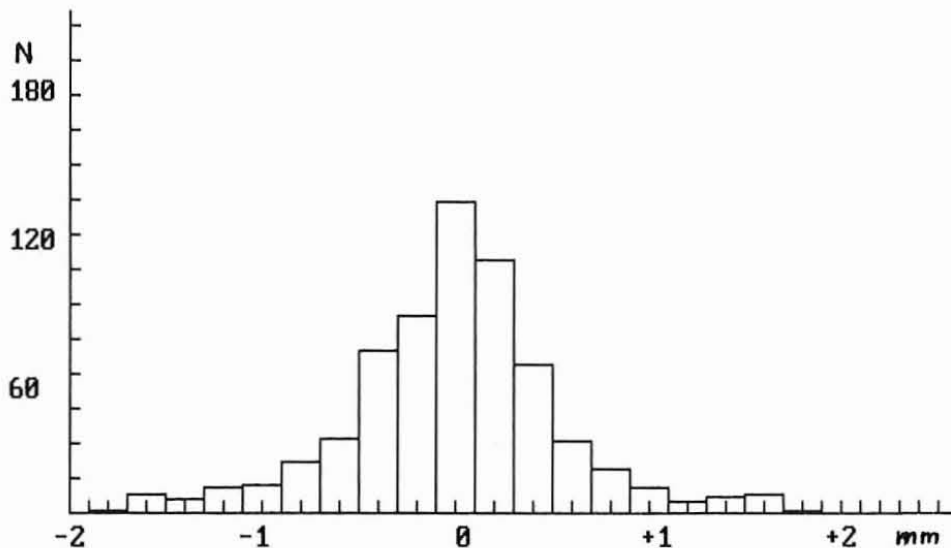
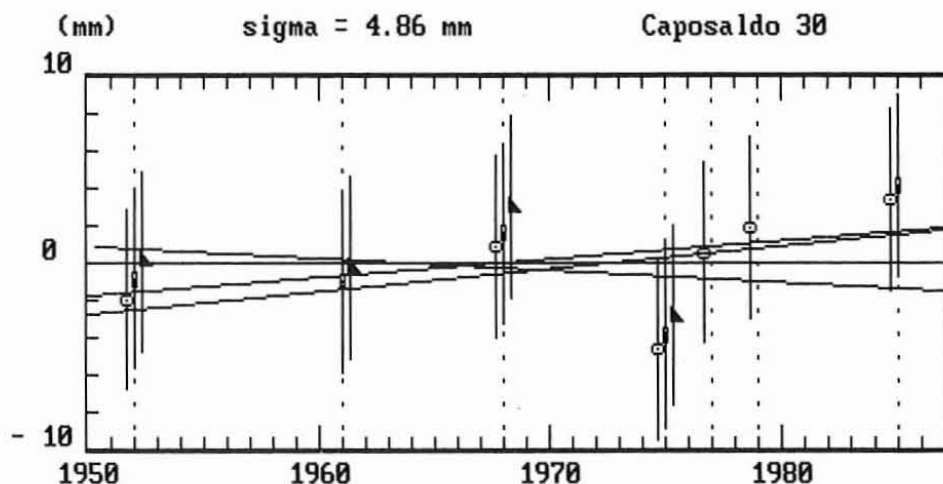


FIG. 1 - Distribuzione degli scarti $S(j, j+m, k)$ per la linea 35 (Ponte nelle Alpi-Marghera). Numero totale dati = 577, $\sigma = 0,54$ mm.

Fig. 2 - Rette di regressione calcolate per i diversi segnali appartenenti al caposaldo n. 30, linea 35.



Supposto che σ^2 , varianza relativa a dislivelli fra copie di segnali di uno stesso caposaldo, sia indipendente dalla posizione del caposaldo stesso, si ha che la varianza su dislivelli fra due caposaldi distanti b battute è espressa, propagando gli errori, da

$$\sigma(b) = \sigma * \sqrt{b}$$

3) Evoluzione temporale delle quote

Le valutazioni conclusive sono basate sulla ipotesi che l'evoluzione temporale delle quote di ciascun caposaldo sia lineare e continua nel tempo, il che equivale a mediare eventuali variazioni di quota prodotte da eventi di natura stocastica, quali i terremoti.

È stata pertanto rappresentata con una regressione lineare l'evoluzione temporale delle quote dei segnali limitandosi ai casi per i quali il dato di livellazione più antico ed il più recente distino di almeno dieci anni.

Un esame preliminare dei dati ha mostrato che nella zona compresa tra Preganziol e Venezia si sono verificate, nel periodo 52/73, variazioni temporali delle quote ampie

e non rappresentabili da un'evoluzione lineare, presumibilmente dovute a subsidenza di origine antropica (GELMINI, 1986, p. 757, ff 8-10; CARBOGNIN & *alii*, 1981; MARAFFI & *alii*, 1984). La presenza di questi movimenti, per i quali la velocità di spostamento può essere dell'ordine di qualche cm/anno, può nascondere eventuali moti di carattere tettonico che sono normalmente più lenti, cioè dell'ordine di qualche mm/anno. Per questo motivo i dati fino a Preganziol sono stati esclusi e verranno studiati a parte.

In base ad un test χ^2 sono stati escluse dalle successive elaborazioni le quote dei caposaldi le cui regressioni hanno un livello di confidenza < 0.02 .

A titolo di esempio è riportato in fig. 2 il fit delle regressioni dei diversi segnali appartenenti al caposaldo n. 30 della linea 35, situato circa a 6 km a Nord del caposaldo di riferimento (TV).

In ordinate è riportata la quota dei singoli segnali del caposaldo: per ogni regressione è stata scelta come quota zero quella corrispondente alla media delle date di esecuzione delle livellazioni (riportate in ascisse).

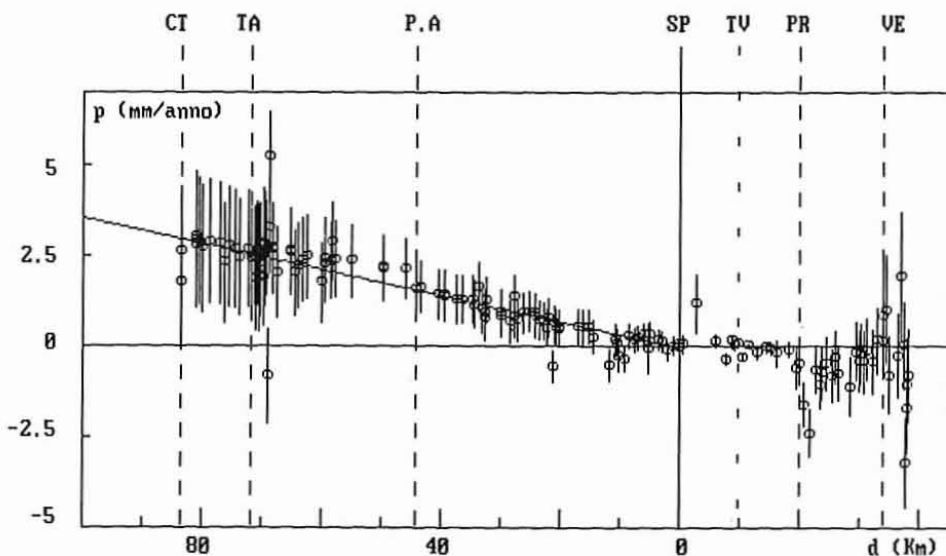


Fig. 3 - Tratto Spresiano-Cortina: velocità di sollevamento dei caposaldi in funzione della distanza da un asse E-W passante per Spresiano.

4) Movimenti del suolo

È stato esaminato l'andamento delle velocità di sollevamento dei singoli caposaldi in funzione della distanza da un asse di riferimento. Per i caposaldi materializzati da più di un segnale è stata scelta come parametro rappresentativo la pendenza della retta di regressione del segnale col maggior numero di livellazioni.

Nella fig. 3 in ordinate compare la velocità di sollevamento in mm/anno e in ascisse la distanza dall'asse di riferimento in km. Dall'esame della figura si rileva la presenza di una zona (Spresiano-Treviso) la cui velocità di sollevamento è nulla, o comunque molto piccola rispetto a quella delle zone circostanti, mentre a Nord di Spresiano detta velocità è sostanzialmente > 0 . Per questo motivo l'asse di riferimento è stato fissato a Spresiano, in corrispondenza del caposaldo 36' della linea 35.

Nella fig. 4, piantina schematica della zona studiata, sono indicate le linee di livellazione esaminate: α è l'angolo tra l'asse di riferimento e la direzione Est-Ovest. Vi è pure indicata una faglia sepolta, orientata NE-SW, sulla verticale di Spresiano (ZANFERRARI, 1982, Carte Neotettoniche allegate; SLEJKO, 1987, Allegato 2).

Come si nota nella fig. 3, nella zona compresa tra Spre-

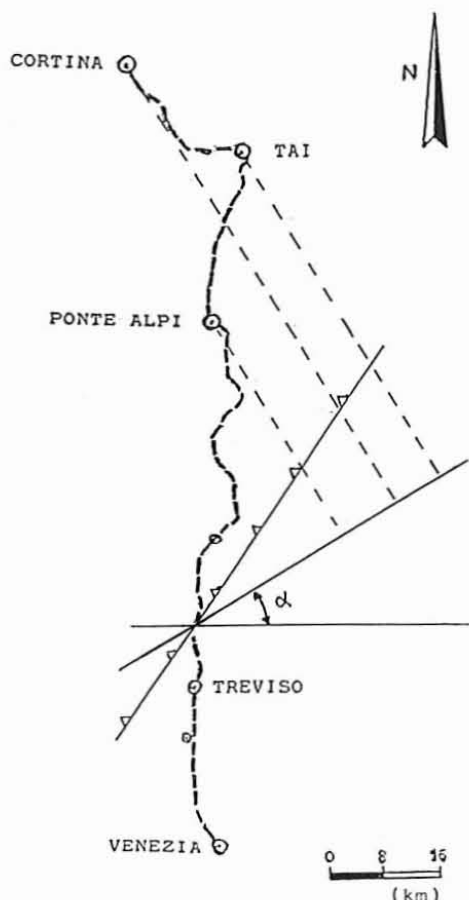


FIG. 4 - Zona sede delle livellazioni esaminate nel presente lavoro.

siano e Cortina il rapporto tra velocità di sollevamento e distanza dall'asse è sostanzialmente costante ed è rappresentabile con buona approssimazione da una regressione lineare. In detta figura è tracciata la retta di regressione calcolata per $\alpha = 0^\circ$, cioè scegliendo come asse di riferimento la direzione Est-Ovest.

I risultati indicano la presenza di un sollevamento di tutta la zona citata, con rotazione attorno all'asse passante per Spresiano. I valori di x^2 corrispondenti a regressioni calcolate per diversi valori di α (tra -60° e $+60^\circ$), differiscono tra loro al massimo del 10%, con un minimo per α compreso tra 0° e $+15^\circ$. Questa incertezza nella determinazione della direzione dell'asse di riferimento è legata presumibilmente alla disposizione dei caposaldi che sono, per la maggior parte, allineati sulla direzione Nord-Sud.

CONCLUSIONI

Dall'esame della fig. 3 si nota che il tratto Venezia-Cortina può essere suddiviso, per quanto riguarda i movimenti recenti del suolo, sostanzialmente in tre parti:

1) nella zona compresa tra Venezia e Preganziol la velocità di sollevamento ha un comportamento non lineare, presumibilmente a causa dei già citati fenomeni di subsidenza seguiti da recupero altimetrico a seguito della cessazione dei prelievi idrici.

L'evoluzione temporale delle quote non obbedisce all'ipotesi di linearità che è alla base di questo studio; un eventuale studio dei movimenti di questa zona dovrà essere affrontato in modo diverso.

2) Il tratto tra Preganziol e Spresiano pare sostanzialmente stabile.

3) Il tratto Spresiano-Cortina ha un comportamento compatibile con una rotazione a velocità costante attorno ad un asse Est-Ovest passante per Spresiano. Pertanto la velocità di innalzamento P in funzione della distanza t da detto asse sarà rappresentata da una espressione lineare:

$$P = P_0 + \Omega \cdot t$$

dove $P = 0$ e Ω è la velocità angolare costante.

Nel caso di $\alpha = 0$, cioè di un asse con direzione E-W, il valore di Ω è

$$\Omega = (3,6 \text{ E} - 02 \pm 1,2 \text{ E} - 03) \text{ mm/anno km}$$

che, per la zona di Cortina, equivale ad una velocità media di sollevamento di circa 2,9 mm/anno.

È da notare che per $\alpha \approx 45^\circ$ l'asse di rotazione andrebbe a coincidere con la già citata faglia sulla verticale di Spresiano (SALVIONI, 1957; ARCA & BERETTA, 1985).

BIBLIOGRAFIA

- ARCA S. & BERETTA G. P. (1985) - *Prima sintesi geodetico-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale*. Boll. Geod. Sc. Aff., 44 (2), 125-156.
- BALESTRI L., MAGNONI G., SANTANGELO R., MOZZI G. & ZAMBON G. (1986) - *Analisi delle serie temporali delle livellazioni di precisione Cortina-Venezia*. Atti del 5° Convegno Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, 2, 773-780, 3 ff.
- BALESTRI L., CECCHI R., MAGNONI G., MOZZI G. & ZAMBON G. (1987) - *Neotettonica dell'Italia Nord-Orientale*. Atti LXXIII Congresso S.I.F., 96-97, 1 f, Napoli.
- CARBOGNIN L., GATTO P., MOZZI G. (1981) - *La riduzione altimetrica del territorio veneziano e le sue cause*. Ist. Veneto Sc. Lett. Arti, 8, 55-83, 14 ff.
- C.N.R. (1986) - *Livellazioni Cortina-Venezia*. Pubblicazione interna dell'Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Venezia.
- GELMINI R. (1986) - *La subsidenza*. In: «Ambiente: Protezione e Risana-mento», 1, 751-768, ff. 1-15, Pitagora Editrice, Bologna.
- MARAFFI C., MOZZI G., POSOCCO F., RUSCONI A., SALZANO E., SANTANGELO R., SORTINO L. & ZANETTI L. (1984) - *Venice today*. Proceedings of the third International Symposium on Land Subsidence, Venice, 329-336, 6 ff.
- SALVIONI G. (1957) - *I movimenti del suolo nell'Italia centro-settentrionale*. Boll. Geod. Sc. Aff., 16 (3), 325-386, ff. 1-12.
- SLEJKO D., CARULLI G.B., CARRARO F., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILCETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987) - *Modello Sismotettonico dell'Italia Nord-Orientale*. C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, U.R.1.4. «Sismotettonica delle Alpi», 82 pp., 3 allegati.
- ZAMBON G. (1986) - *Direzione lavori della livellazione Cortina d'Ampezzo-Venezia. Risultati ed elaborazioni*. Pubblicazione interna dell'Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse. C.N.R. - Venezia.
- ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U. (1982) - *Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale*. Mem. Sc. Geol. 35, 355-376, 9 ff.