

# I Clinometri del Bus de la Genziana (1000VTV)

Barbara Grillo<sup>1,2</sup>, Carla Braitenberg<sup>1</sup>, Ildikò Nagy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi Trieste, Via Weiss, 1, 1 - 34100 Trieste.

<sup>2</sup> Commissione Grotte "E. Boegan" - SAG - Trieste

## Abstract:

With the present work we show and discuss clinometric observations for the geophysical-geodesic hypogeal station in the Bus de la Genziana (1000VTV), installed in the Natural Hypogeal Reserve of Cansiglio (Eastern Veneto). Such cavity is situated in a famous seismic locality, in the Pian Cansiglio in the Fregona area (Treviso), and complete on the West side the network of clinometric stations of the Department of Geosciences of the University of Trieste already existing in Friuli Venezia Giulia (Grotta Gigante in Trieste and Grotta Nuova di Villanova in Tracento, Udine). All the stations are located in cavities belonging to interesting karst areas of particular hydrological interest. As an example, the Friulan scope of the karst massif is where the Livenza river is born. Through a comparison of clinometric signals registered in the Genziana station and the pluviometric series of Cansiglio and hydrometric of Livenza, local hydrological effects have been registered. The slow deformations registered are accompanied in the long time to the deflux curves of the karst aquifer. Moreover, the instruments are very sensitive to rainfalls. The purpose of the present study is, in addition to monitoring the slow crustal movements, to open a new frontier of multidisciplinary studies combining geodetic studies and those on the karst systems, in order to obtain indirect information on the underground hydrodynamic systems.

## Riassunto:

Vengono mostrate e discusse alcune osservazioni clinometriche della stazione geofisico – geodetica ipogea nel Bus de la Genziana (1000VTV), installata nella Riserva Naturale Ipogea del Cansiglio (Veneto Orientale). La localizzazione di questa cavità, situata in una nota zona sismica nel Pian Cansiglio sotto il comune di Fregona (Treviso), completa verso Ovest la rete di stazioni clinometriche del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste già esistenti in Friuli Venezia Giulia (Grotta Gigante in Trieste e Grotta Nuova di Villanova in Tarcento di Udine). Tutte le stazioni sono poste in cavità facenti parte di interessanti aree carsiche di particolare rilievo idrogeologico. Nel caso specifico del Cansiglio alle pendici friulane del massiccio carsico nasce il Fiume Livenza. Mediante un confronto del segnale clinometrico registrato nella stazione Genziana con la serie pluviometrica del Cansiglio e idrometrica del Livenza, sono stati osservati gli effetti idrologici locali. Le deformazioni lente registrate si accompagnano a lungo periodo alle curve di deflusso della falda carsica. Gli strumenti sono inoltre molto sensibili agli eventi piovosi. Lo scopo della ricerca è, oltre al monitoraggio dei movimenti crostali lenti, quello di aprire una nuova frontiera multidisciplinare tra gli studi geodetici e quelli dei sistemi carsici per ottenere informazioni indirette sull'idrodinamica sotterranea.



## Introduzione

L'Altopiano del Cansiglio, oggetto dello studio, è un massiccio carsico situato a cavallo tra il Veneto e il Friuli nel Nord Est dell'Italia (Fig. 1 A). Nell'ambito geologico la presenza dell'estesa copertura quaternaria ha rappresentato un limite al rilevamento geologico in senso stretto. La possibilità di entrare nel sottosuolo grazie alla speleologia ha in parte risolto questo problema, completando e/o rinnovando il quadro scientifico complessivo. L'idrografia superficiale è ridotta al minimo, sostituita da quella sotterranea. L'alimentazione della falda profonda è data dall'infiltrazione delle acque di precipitazione meteorica nel sottosuolo dell'Altopiano del Cansiglio attraverso inghiottitoi, doline e cavità a prevalente sviluppo verticale (Grillo, 2007).

Dal dicembre 2005 il Pian Cansiglio ospita nel Ramo dei Laboratori del Bus de la Genziana (comune di Fregona, Treviso) a 25 m di profondità una coppia di clinometri per lo studio dei movimenti crostali lenti. I dati vanno ad integrarsi con altre due postazioni geodetiche gestite dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste, Grotta Gigante (TS) e Grotta Nuova di Villanova (UD), e an-

che con quelli di altri Enti, quali la rete GPS FREDNET dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale e le linee di livellazione dell'Istituto Geografico Militare.

Con questa ricerca si vuole proporre l'applicazione delle strumentazioni geodetiche allo studio degli acquiferi carsici ponendo a confronto le diverse osservazioni dei segnali con i dati pluviometrici del Cansiglio e idrometrici del Fiume Livenza per ottenere un quadro scientifico più completo della zona. Si ritiene che tali strumenti possano dare un contributo alla conoscenza indiretta della circolazione idrica ipogea, come dimostrano alcuni studi simili in Francia (Longuevergne et al, 2009).

## Breve inquadramento geologico

Il Gruppo del Cansiglio - Cavallo è un massiccio carsico situato nelle Prealpi Carniche, che si protende come uno zoccolo montuoso sulla pianura veneto-friulana ed è diviso tra due Regioni: il Veneto a Ovest e il Friuli a Est, e tre province, Pordenone, Treviso e Belluno. Presenta la quota massima di 2200 metri e due altopiani a quota media di 1000 m, il Pian Cansiglio e il Piancavallo.

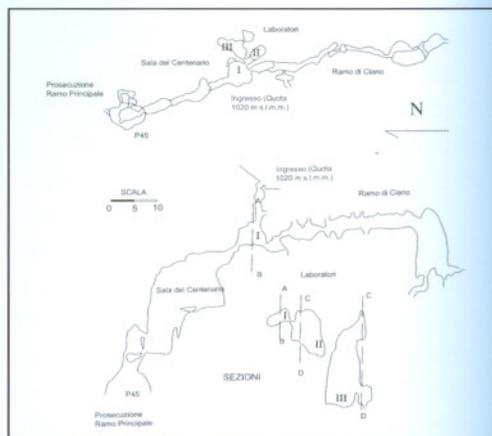


Fig.1 A: localizzazione del Massiccio del Cansiglio - Cavallo; B: rilievo della prima parte del Bus de la Genziana.

L'altopiano del Cansiglio ospita dal dicembre 2005 una stazione clinometrica nel Bus de la Genziana (Fig. 1 B, 2 B), cavità gestita dal Corpo Forestale dello Stato e Riserva Naturale Ipogea secondo il D.M. 1987 (Braitenberg et al, 2007). La zona è notoriamente a medio-alto rischio sismico: nella storia recente si ricorda il forte terremoto del 1936 (Pettenati & Sirovich, 2003) con magnitudo stimata fra  $M_s=5,8$  (Magnitudo dell'onda di superficie) e  $M_m=6,2$  (Magnitudo macrosismica), dato riportato dal Catalogo NT4.1. Tale postazione ipogea completa verso Ovest la rete di stazioni clinometriche del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste già esistenti in Friuli, Grotta Gigante in Trieste (Braitenberg & Zadro, 1999; Braitenberg et al., 2005) e Grotta Nuova di Villanova in Tarcento di Udine (Braitenberg, 1999), che si aprono tutte in interessanti aree carsiche. In particolare, nel versante Sud - orientale del Massiccio carbonatico del Cansiglio - Cavallo, nasce il Fiume Livenza. Viene alimentato da tre sorgenti principali: il Gorgazzo, a cui spetterebbe un bacino di ricarica di 170 km<sup>2</sup>, la Santissima di 500 km<sup>2</sup>, il Molinetto di 230 km<sup>2</sup>. Hanno tutte e tre una portata media dai 5 ai 10 metri cubi al secondo e devono la loro origine al sovrascorrimento della Linea Caneva - Maniago.

Le formazioni geologiche che riguardano il Massiccio del Cansiglio - Cavallo hanno un'età compresa tra il Norico (Triassico Superiore) e la fine del Miocene (Terziario). Per quanto riguarda le rocce interessate dal fenomeno carsico sono la Scaglia e la Formazione del Calcare di Monte Cavallo

Il Massiccio è interessato da un sviluppato carsismo profondo con circa 250 cavità e variegata morfologie di superficie. Si

contano essenzialmente tre cavità degne di nota: il Bus de la Lum profondo 185 m, il Bus de la Genziana che con i suoi 8 km di sviluppo raggiunge i 587 m di profondità, e l'Abisso del Col della Rizza, la cavità più profonda di tutto il gruppo montuoso con 800 m di profondità dalla quota di 1100 metri.

### **Dettagli strumentali sui clinometri**

L'interpretazione di dati geodetici in termini della deformazione crostale e degli sforzi deve opportunamente anche considerare tutti i fattori ambientali, che potrebbero contribuire ad un segnale registrato quali: la pressione barometrica, l'influenza dei corsi d'acqua superficiali e sotterranei, la temperatura, la neve ed il carico delle maree dell'Adriatico.

I pendoli in Genziana consistono in una coppia di clinometri Marussi (Braitenberg, 1999) delle dimensioni verticali di 0.5 m circa all'interno di una campana in ghisa, che poggia su tre piccole piazzole piane in roccia compatta. L'acquisizione dei dati è digitale e si basa su un trasduttore induttivo. Questi pendoli si definiscono orizzontali con sospensione del tipo Zöllner: l'asta del pendolo con la massa è sospesa orizzontalmente da due fili, uno superiore ed uno inferiore (vedi Fig. 2 A, B), in modo che l'asta ruoti nel piano orizzontale. La rotazione dell'asta avviene attorno ad un'asse di rotazione virtuale, che passa per il punto di attacco superiore del filo superiore ed inferiore del filo inferiore.

L'inclinazione dell'asse di rotazione virtuale dovuta a movimenti crostali viene registrata da una escursione dell'asta con un angolo, che è di diversi ordini di grandezza maggiore dell'inclinazione dell'asse.

Le inclinazioni vengono misurate secon-

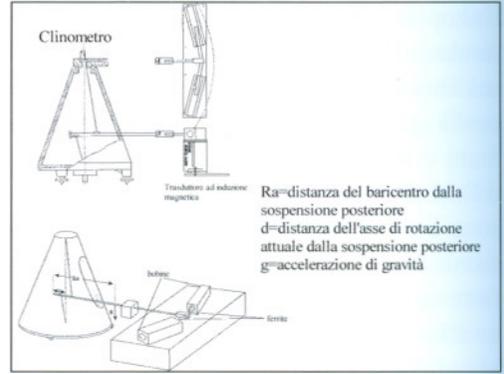


Fig. 2 Disegno schematico del clinometro Marussi. L'acquisizione digitale avviene tramite un trasduttore ad induzione magnetica. A sx la coppia di clinometri nel Bus de la Genziana - Pian Cansiglio posti a 25 metri di profondità.

do due componenti, quella NS ed EW, registrate rispettivamente da due pendoli posti nella stazione di misura.

Nella Tab. 1 sono elencate le principali caratteristiche strumentali. Il fattore di amplificazione trova un'espressione in funzione del periodo di oscillazione del pendolo nel piano orizzontale e verticale. L'amplificazione del segnale registrato dipende dalla distanza fra il punto di registrazione e l'asse di rotazione attuale del pendolo orizzontale. Per i clinometri la distanza ammonta a 51,66 cm.

### Discussioni delle osservazioni clinometriche

Il movimento lento registrato dai clinometri è la somma del movimento tettonico, della deformazione di marea e dell'effetto di fattori ambientali quali la temperatura,

le acque sotterranee e di superficie e la neve (Zadro & Braitenberg, 1999). I primi dati della stazione del Cansiglio, raccolti a partire da dicembre 2005, costituiscono un periodo di prove tecniche e di adeguamento della strumentazione. Le registrazioni utili ai fini della rappresentazione del movimento tettonico partono dal 13 febbraio 2006. Fino a oggi la direzione di inclinazione tettonica media si mantiene principalmente in direzione Sud (Fig. 3), anche se tale movimento è rallentato dagli inizi del 2009. Questa corrisponde all'orientamento Z sugli assi cartesiani e si ottiene mettendo insieme le registrazioni dei due clinometri. La stazione in poche parole "si muove". Un caso eccezionale si è registrato il 3 settembre 2006, quando la stazione ha subito un movimento improvviso (durata minore di 1 ora) verso SE, precedu-

QUANTITY	SYMBOL	VALUE
Distance between upper and lower mountings		50 cm
Weight of housing case		45 kg
Total weight of the pendulum, including the wires	m	679 gr.
Distance of the centre of gravity from the rear suspension	Ra	32.0 cm
Distance of the actual axis of rotation from the rear suspension	d	3.9 cm
Moment of inertia with respect to the actual axis of rotation	Jo	5,500 gr cm <sup>2</sup>
Period of oscillation in the vertical plane, determined experimentally	Ta	1.3 sec
Period of oscillation in the horizontal plane	To	maintained to 90 sec

Tab. 1 Caratteristiche tecniche dei pendoli Marussi.

to da un movimento accelerato verso Sud nei 14 giorni antecedenti. Questo segnale è attribuibile ad un movimento tettonico, che è avvenuto asismicamente, cioè in assenza di un evento sismico apprezzabile. È da escludere che tale movimento sia un artefatto strumentale, in quanto è stato osservato con due strumenti indipendenti. Si è osservata una prima deriva verso Sud, con inizio il 20 agosto, ed un'inclinazione permanente brusca verso Sud e verso Est il giorno 3 settembre. Complessivamente il movimento era di 4.75 microrad verso Sud e 2.75 microrad verso Est per il periodo fra 20 agosto e 3 settembre. Successivamente il movimento ha continuato verso Sud fino al novembre del 2008. Dall'inizio del 2009 la deriva verso Sud pare essersi arrestata e il movimento complessivo annuale si è ridotto notevolmente.

Normalmente il ciclo annuale delle altre due stazioni gestite dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste, Grotta Gigante (Trieste) e Grotta Nuova di Villanova (Udine), compie un percorso chiuso, tendenzialmente ellittico (Braitenberg, 1999 (b); (c); Braitenberg et alii, 2005 (a); (b)). Nel caso del Bus de la Genziana si continua ad accennare solo un semiellisse stagionale, soprattutto in occasione di abbondanti eventi piovosi, e la deriva verso Sud è preponderante sul ciclo. La stazione registra normalmente un segnale tettonico, ma questo viene particolarmente perturbato durante le precipitazioni atmosferiche. La deformazione che ne deriva è interpretabile quindi come effetto idrologico.

Per avvalorare questa considerazione, le registrazioni sono state sovrapposte ai dati pluviometrici del Cansiglio (stazione Tremedere A.R.P.A. Veneto) ed ai dati idrometrici del Fiume Livenza (Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia Rete di Monitoraggio Idrometrico), dimostrando

in modo molto evidente le inclinazioni causate dal run-off sotterraneo delle acque piovane (Fig. 4, 5).

Osservando le direzioni di tilt (Fig. 3) si notano dei picchi o semicicli con asse NNW-SSE o NS ed essendo segnali idrologici se ne deduce che la direzione di scarico delle acque è mediamente impostata lungo quella direzione. A volte si registrano orientamenti differenti e si pensa che tale variazione sia dovuta ad una idrologia del massiccio non omogenea. In particolare analizzando dicembre 2008 si osserva dopo le intense precipitazioni un brusco spostamento del tilting verso Est mantenu-

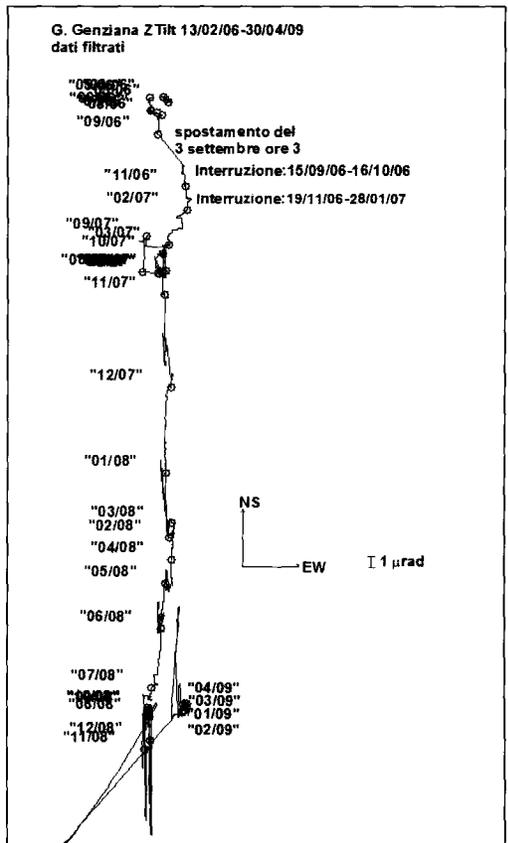


Fig. 3. Il movimento tettonico registrato dai clinometri in Grotta Genziana: il tilting (inclinazione) è diretto a Sud dal novembre 2006 al dicembre 2008, mentre è quasi fermo dall'inizio dell'anno 2009. I movimenti quasi lineari sono attribuibili a scarico sotterraneo di acqua nei pressi della grotta e vengono discussi di seguito.

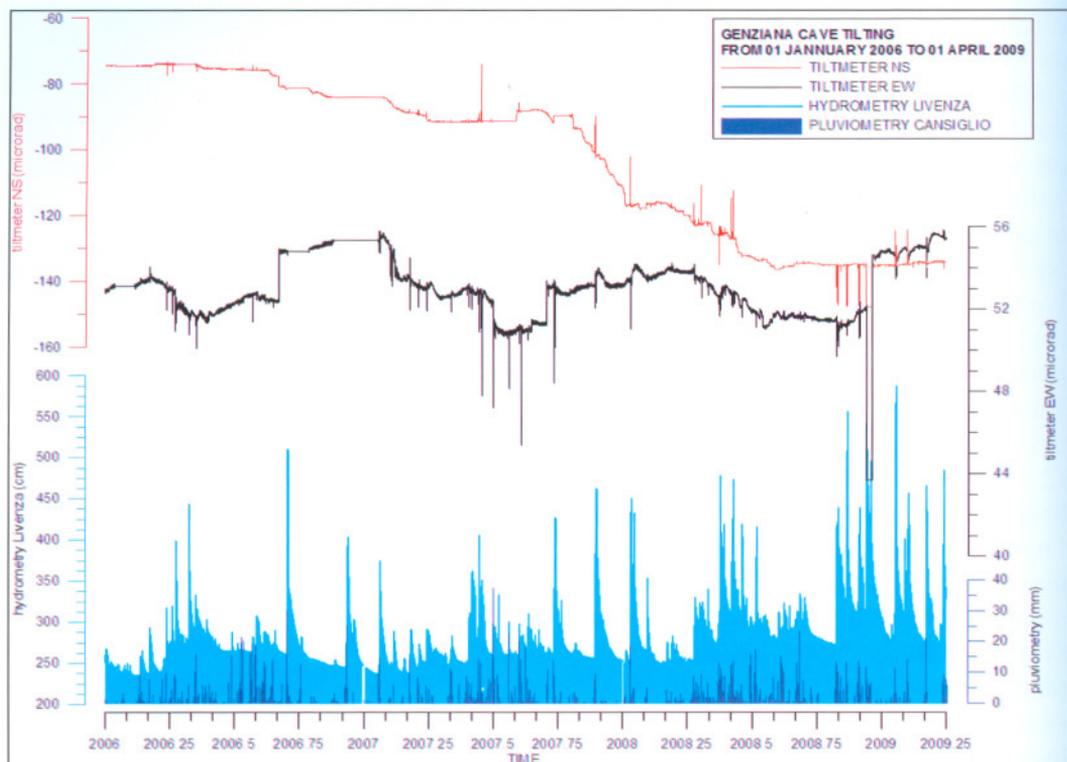


Fig. 4. Il segnale clinometrico delle due componenti dei clinometri comparato con l'idrometria del Livenza e la pluviometria del Cansiglio. Si nota un andamento periodico nella componente EW e la deriva tettonica verso Sud nella componente NS. E' evidente nei picchi e "uncini" in corrispondenza degli eventi piovosi il segnale idrologico, che spesso rappresenta una lenta deriva in correlazione con le curve di deflusso della falda carsica.

to poi nei mesi successivi. La quantità di acqua caduta nell'autunno 2008 è decisamente superiore agli anni precedenti (Fig. 3, 4, 5). Il cambiamento della posizione del clinometro EW è in connessione con il fatto che il carico idraulico è nettamente spostato verso la fascia delle emergenze idriche principali del massiccio.

Osservando la Fig. 4 si nota che il livello del Fiume Livenza segue un innalzamento impulsivo, seguito da un abbassamento che segue un decadimento esponenziale. L'innalzamento è strettamente legato alla piovosità. Dal punto di vista idrogeologico si osserva quindi che il massiccio si carica velocemente per poi scaricarsi lentamente (A.R.P.A. F.V.G., 2006). Le caratteristiche evoluzioni temporali di carico e scarico

dipendono dalla velocità di spostamento dell'acqua, che a sua volta dipende dalle dimensioni delle fratture e dalla porosità della roccia. Nella Fig. 4 si nota che le due componenti clinometriche mostrano un segnale a lungo periodo, che è una oscillazione pressoché annuale della componente EW, ed un alternanza di deriva verso Sud della componente NS. Inoltre si osservano movimenti rapidi verso Ovest correlati con gli incrementi impulsivi del Livenza. La componente NS invece mostra tali movimenti impulsivi durante il 2006 e la fine del 2008 orientati verso Sud, mentre durante il 2007 e gran parte del 2008 essi sono orientati verso Nord. I segnali impulsivi sono perfettamente correlati nelle due componenti NS ed EW.

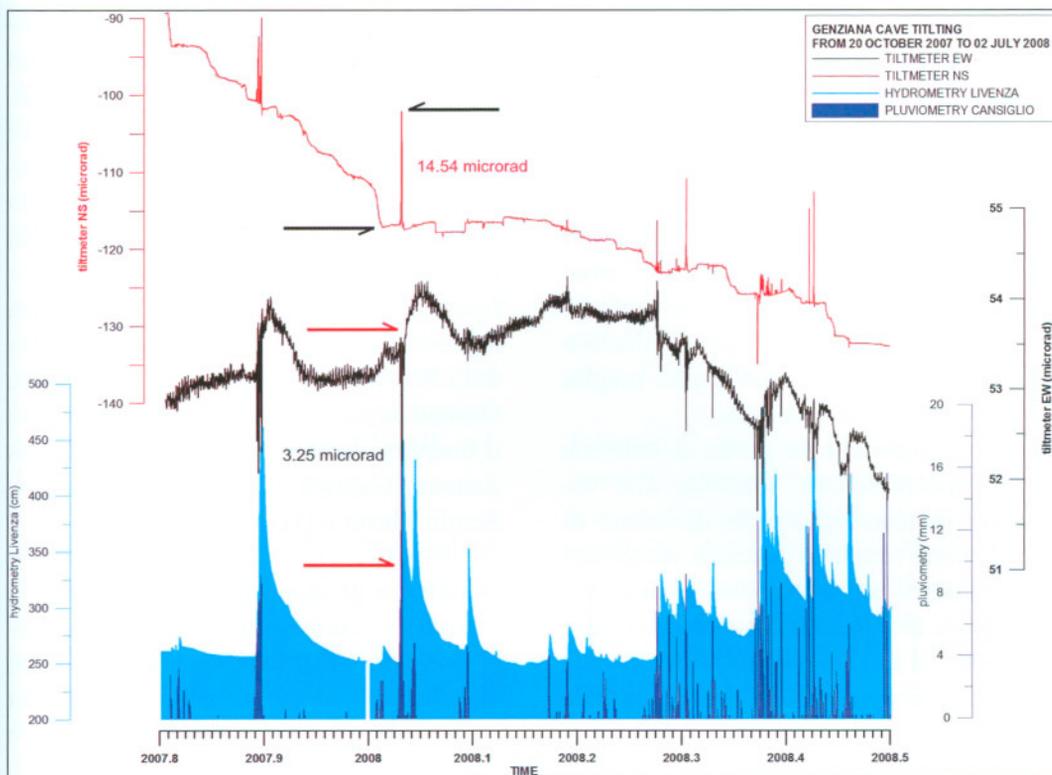


Fig. 5. Il segnale clinometrico delle due componenti dei clinometri comparato con l'idrometria del Livenza e la pluviometria del Cansiglio dal 20 luglio 2007 al 2 luglio 2008. E' evidente nei picchi e "uncini" in corrispondenza degli eventi piovosi il segnale idrologico, che a volte si manifesta come una lenta deriva al pari delle curve di deflusso della falda carsica. Non è un segnale tettonico ma un effetto idrologico. La direzione corrisponde a quella delle sorgenti del Livenza. Per esempio nel caso segnato, superati i 8-10 mm/orari di pioggia i clinometri rispondono sempre in modo simultaneo, ma con diversa ampiezza; il picco è maggiore sulla componente NS con uno spostamento di 14,54 microrad rispetto 3,25 microrad della EW per lo stesso evento.

La ricerca non si è fermata qui. Per avvalorare le osservazioni clinometriche e verificare se i segnali individuati fossero proprio informazioni idrauliche è stata eseguita una comparazione tra segnale clinometrico e quello satellitare della stazione GPS posizionata a Caneva (gestita dall'OGS). E' stata constatata la contemporanea registrazione degli eventi atmosferici. Questa correlazione ci ha permesso di affermare che entrambi gli strumenti quindi funzionano correttamente. Sia i clinometri sia il GPS di Caneva registrano deformazioni lente in seguito agli eventi piovosi in connessione con l'idrometria della falda carsica (curve di deflusso del Livenza). Entrambe le postazioni geodetiche registrano in modo

istantaneo il carico idraulico, il cui segnale corrisponde al flusso idrico nei condotti ipogei durante la fase di piena. La risposta lenta a lungo termine è una deformazione che potrebbe essere il deflusso dell'acqua dalla matrice rocciosa verso i condotti nella fase di morbida.

Riassumendo si può affermare che le registrazioni sono estremamente sensibili alle precipitazioni atmosferiche (sia neve che pioggia) e, soprattutto sulla componente NS, hanno una forte ampiezza. Tendenzialmente l'inclinazione recupera quasi sempre l'inclinazione imposta dall'effetto idrologico.

## Conclusioni

La stazione clinometrica nel Bus de la Genziana si trova in una posizione logistica strategica dal punto di vista geofisico e idrogeologico, in quanto il Massiccio del Cansiglio - Cavallo rappresenta una delle più interessanti aree carsiche del Nord - Est. Nella nostra ricerca è ormai confermato che la stazione funziona correttamente e ci fornisce delle preziose informazioni che ci fanno capire meglio l'idrodinamica del massiccio.

Si è constatato che la grotta si deforma ed è particolarmente sensibile alle variazioni meteorologiche; la direzione di inclinazione tettonica è decisa verso Sud con semicicli che si verificano in corrispondenza di forti eventi piovosi. Il tilting rispecchia il quadro geofisico attuale del Nord Est, che vede la convergenza della placca Adria con quella Euroasiatica. Inoltre il segnale clinometrico permette di dare informazioni riguardo alle caratteristiche ed alla posizione del deflusso delle acque sotterranee (a canali diretti).

Le prospettive future sono quelle di intensificare la rete di monitoraggio comparato GPS - clinometri con più postazioni per valutare le deformazioni indotte dal carico idraulico. Considerati gli evidenti effetti idrologici indotti sul segnale tettonico, si ritiene che le strumentazioni geodetiche possono aprire una nuova frontiera allo studio degli acquiferi carsici e permettere di comprendere meglio la circolazione idrica ipogea.

## Ringraziamenti

Si ringraziano Alberto Casagrande per l'impegno costante e la preziosa collaborazione, l'A.R.P.A. Veneto - Centro Meteorologico di Teolo per la concessione dei dati meteorologici, il dott. Giorgio dalla Chiesa (Direzione Centrale Ambiente e

Lavori Pubblici - Servizio Idraulica - Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia) per i dati idrometrici del Livenza, il dott. Roberto Devoti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia per la collaborazione, il dott. Carlo Dilena ed il Comando Forestale di Pian Cansiglio per l'ospitalità e cortesia.

I pendoli non sarebbero dove sono senza il prezioso aiuto di alcuni amici e tecnici del CNSAS, nonché soci del G.S.Sacile, che con delicate manovre hanno permesso il trasporto ipogeo: Alberto Gattel, Denis Zanette, Gabriele Zanin, Carlo Urbanet, Sergio Masut e Davide Gasparotto.

Grazie a tutti, dopo quasi cinque anni la stazione continua a funzionare e a darci preziose informazioni per certi versi inaspettate. L'impegno e i lavori che ha richiesto ci permettono di dire che ne è valsa la pena!

## Bibliografia

A.R.P.A. F.V.G. (2006) - *Rilevamento dello stato dei corpi idrici sotterranei della Regione Friuli Venezia Giulia, Relazione finale*, 68-71, [http://www.regione.fvg.it/rafvfg/export/sites/default/RAFVFG/AT9/ARG1/FOGLIA5/modulistica/relazione\\_totale.pdf](http://www.regione.fvg.it/rafvfg/export/sites/default/RAFVFG/AT9/ARG1/FOGLIA5/modulistica/relazione_totale.pdf)

Braitenberg C. (1999b) *Estimating the hydrologic induced signal in geodetic measurements with predictive filtering methods*. Geophys. Res. Letters, 26, 775-778.

Braitenberg C. (1999c) *The hydrologic induced strain - a review*. Marees Terrestres Bulletin D'Informations, 131, 1071-1081.

Braitenberg C., Grillo B., Nagy I., Zidarich S., Piccin A. (2007) - *La stazione*

geodetico - geofisica ipogea del Bus de la Genziana (1000VTV) - Pian Cansiglio, Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan", Società Alpina della Giulie CAI, Trieste, Italia, Vol. 41:105-120.

Braitenberg C., Grillo B., Nagy I., (2005) (a) - *Alcune informazioni sulla stazione geofisica ipogea della Grotta Gigante (Carso Triestino)*. Progressione 52, Attività e riflessioni della Commissione grotte "E. Boegan", Supplemento semestrale ad "Atti e Memorie"- Anno XXVIII, n.1-2, genn.-dic. 2005, 60-69.

Braitenberg C., Romeo G., Taccetti Q., Nagy I. (2005) (b) - *The very-broad-band long-base tiltmeters of Grotta Gigante (Trieste, Italy): secular term tilting and the great Sumatra-Andaman Islands earthquake of December 26, 2004*, J. of Geodynamics, 41, 164-174.

Braitenberg C., Zadro M. (1999) - *The Grotta Gigante horizontal pendulums - instrumentation and observations*. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 40, N°. 3/4, 577-582.

Cancian G., Ghetti S., 1989 - *Stratigrafia del Bus de la Genziana (Cansiglio, Prealpi Venete)*. Studi Trentini Sc. Nat. Acta Geol., Trento, 65: 125-140.

Cucchi F., Forti P., Giaconi M., Giorgetti F., (1999) - *Note idrogeologiche sulle sorgenti del Fiume Livenza*. Ricerca eseguita dall'Unità 4.7 e dall'Unità 4.9 del Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R., Pubblicazione n° 1831.

Grillo B., 2007 - *Contributo alle conoscenze idrogeologiche dell'Altopiano del Cansiglio*, Atti e Memorie della Commis-

sione Grotte "E. Boegan", Società Alpina della Giulie CAI, Trieste, Vol. 41: 5-15, Trieste, 15 giugno 2007

Longuevergne L., Florsch N., Boudin F., Oudin L., Camerlynck C., 2009 - *Tilt and strain deformation induced by hydrologically active natural fractures: application to the tiltmeters installed in Sainte-Croix-aux-Mines observatory (France)*. Geophys. J. Int. (2009) 178, 667-677.

Pettenati F., Sirovich L., (2003) - *Source inversion of intensity patterns of earthquakes: a destructive shock in 1936 in the northeast Italy*. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale. Borgo Grotta Gigante. Trieste. Journal of Geophysical Research, Vol. 109 B10309, pubbl 21 ottobre 2004

Zadro M. & Braitenberg C. (1999) *Measurements and interpretations of tilt-strain gauges in seismically active areas*. Earth Science Reviews, 47, 151-187.

Zuliani D., 2003 - *Frednet: rete di ricevitori GPS per la valutazione del potenziale sismico nelle Alpi sudorientali italiane*. GNGTS, Atti del 22° Convegno Nazionale, Roma 18-20 November 2003.