

LESBOS

A differenza di Creta, Lesbos non presenta un particolare interesse speleologico, trattandosi di un'isola costituita in buona parte da rocce ignee, con limitati affioramenti calcarei.

Le prime grotte conosciute, di dimensioni modeste, sono state esplorate negli anni '60 del secolo scorso nel corso di ricognizioni di membri della Società Speleologica Ellenica provenienti da Atene. Notevole è stata invece l'attività svolta successivamente dai fratelli George e Theodoros Houtzaos di Mytilene, che hanno visitato complessivamente 192 cavità carsiche, per lo più di sviluppo limitato. I risultati del loro lavoro sono sintetizzati in un interessante volumetto (in greco) pubblicato nel 1992, interamente dedicato alle grotte ed ai fenomeni carsici di Lesbos.

Le precise indicazioni del professor George Houtzaos – che ho incontrato a Mytilene – mi hanno consentito di visitare una delle più estese grotte da lui esplorate e di raccogliervi alcune specie troglodile, interessanti, anche perché rappresentano i primi reperti di fauna cavernicola dell'isola.

Spilaio Agiou Ioanni (Fousa). La grotta si apre a circa 150 metri s.l.m., in una fitta macchia di quercia spinosa, sul fianco sinistro di un vallone situato sopra l'abitato di Michos, presso Kato Tritos, una decina di chilometri ad ovest di Mytilene. Si tratta di una galleria orizzontale, con una breve diramazione, lunga complessivamente un centinaio di metri. Nel tratto iniziale, piuttosto basso e con il fondo occupato da pietrame, ho rinvenuto alcuni esemplari del ragno *Tegenaria dalmatica* Kulczyński, mentre nella parte interna, presso chiazze di guano, sono stati raccolti i ragni *Hoplopholcus figulus* Brignoli, sinora noto solamente delle isole di Samos e Ikaria, *Pholcus phalangioides* (Fuesslin), *Harpactea* sp. ed un chilopode.

Fulvio Gasparo

ALCUNE INFORMAZIONI SULLA STAZIONE GEOFISICA IPOGEA DELLA GROTTA GIGANTE (CARSO TRIESTINO)

1 INTRODUZIONE

I pendoli della Grotta Gigante sono sensibilissimi strumenti, atti a rilevare i movimenti della crosta terrestre. La superficie terrestre si presenta normalmente ferma ed immobile all'osservazione umana, mentre in realtà essa si deforma continuamente a causa di molteplici fattori di natura diversa. La teoria della tettonica a zolle prevede che gli spostamenti relativi delle placche provocano corrugamenti e stiramenti della crosta terrestre in corrispondenza dei bordi delle placche, accompagnati da aumenti degli sforzi interni, detti sforzi tettonici. Il materiale roccioso risponde agli sforzi tettonici deformandosi.

Queste deformazioni avvengono molto lentamente e richiedono decine di anni di osservazioni continue per essere rilevate. Quando gli sforzi tettonici superano il valore soglia tipico della roccia, il materiale cede all'improvviso, generando un evento sismico. La rottura stessa può avvenire a diversi chilometri di profondità e provoca una deformazione cosismica irreversibile ed istantanea. In superficie tale deformazione provoca spostamenti permanenti del terreno, che provocano inclinazioni del suolo e stiramenti; i pendoli possono rilevare le inclinazioni. La rottura veloce della crosta genera le onde sismiche, che provocano al loro passaggio deformazioni rapide con periodicità (intervallo di tempo fra un massimo ed il massimo successivo) da frazioni di secondo a decine di secondi. Un ulteriore fenomeno che accompagna un evento sismico è quello delle "oscillazioni libere". Eventi

sismici di magnitudo considerevole agiscono sul globo terrestre come una sollecitazione ad azione impulsiva con effetti analoghi a quelli della percussione su una campana. La terra risuona come lo farebbe la campana ed inizia ad oscillare nel suo insieme. La periodicità più bassa di questo movimento è di 54 minuti e consiste anche in questo caso in una deformazione rilevabile in superficie da strumentazione adatta. Anche cause esterne come le maree marine dell'Adriatico, le piene del fiume sotterraneo Timavo, le variazioni di pressione atmosferica e di temperatura provocano una deformazione della Grotta. Questi movimenti sono generalmente più lenti delle onde sismiche e si estendono su intervalli temporali da qualche minuto a qualche mese. Variazioni di pressione provocano differenti carichi sul terreno, che reagisce a queste sollecitazioni con una risposta elastica. Analogo è l'effetto del carico delle maree marine, la cui escursione nel Golfo di Trieste è di circa 1 m. La terra nel suo insieme risente anch'essa delle forze di marea, alle quali reagisce con un allungamento diretto verso la Luna e il Sole, rispettivamente, con conseguente deformazione che si ripete ogni 12 h circa, detta marea terrestre.

La stazione ipogea della Grotta Gigante è in funzione dal 1959 e fornisce una serie storica di misure continue di deformazione uniche al mondo. I fenomeni elencati sopra possono essere tutti rilevati dai pendoli. Di seguito mostriamo alcuni di questi segnali (vedi anche Braitenberg et al., 2004 e Braitenberg, 2006).

2.1 DESCRIZIONE DEI PENDOLI

Nella Grotta Gigante sono installati due tipi di strumenti che misurano l'inclinazione della verticale, che sono una coppia di clinometri tradizionali delle dimensioni verticali di 0.5 m circa (presenti anche nella Grotta Nuova di Villanova a Tarcento e ora anche

nel Bus de la Genziana in Cansiglio), ed una coppia di pendoli orizzontali, che hanno una lunghezza di 100 m e sfruttano tutta la grandezza della cavità. Nella Figura 2.1 viene illustrata in pianta la disposizione della strumentazione all'interno della casetta posta al fondo della grotta.

Il pendolo orizzontale della Grotta Gigante è in grado di rilevare lo spostamento relativo orizzontale di un punto posto nella volta della grotta rispetto ad un punto posto sul fondo della medesima. I due punti corrispondono all'attacco superiore ed inferiore del pendolo. Grazie alla costruzione caratterizzata dalle sue grandi dimensioni il pendolo amplifica il segnale già per sé di un fattore 40000. Tale fattore di amplificazione viene ulteriormente incrementato con l'aiuto di un dispositivo elettronico, costruito dal Dott. Gianni Romeo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Roma (descrizione sistema digitale, vedi Braitenberg et al., 2005). La collocazione ipogea dei pendoli garantisce eccezionali caratteristiche di stabilità. La sensibilità è tale che il peso dell'innalzamento del mare nel Golfo di Trieste di solo 10 centimetri viene rilevato dallo strumento.

I due tipi di strumenti, i pendoli orizzontali a base lunga ed i clinometri tradizionali, sono pendoli orizzontali con sospensione del tipo Zöllner (vedi oltre), differiscono però in un'importante differenza costruttiva, come illustrato di seguito, che comporta una diversa sensibilità e quindi registrazioni di segnali diversi.

2.2 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL CLINOMETRO DEL TIPO ZÖLLNER

I clinometri tradizionali ed anche i pendoli a base lunga sono pendoli orizzontali a sospensione Zöllner: l'asta del pendolo con la massa è sospesa orizzontalmente da due fili, uno superiore ed uno inferiore (vedi Fig. 2.2 e 2.3), 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 d'attacco superiore del filo superiore ed inferiore del filo inferiore. L'inclinazione dell'asse di rotazione virtuale dovuta a movimenti crostali o ad effetti mareali 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 secondo due componenti, quella NS ed EW, registrate rispettivamente da due pendoli posti nella stazione di misura. I pendoli a base lunga della Grotta Gigante (Marussi, 1960) differiscono dai clinometri tradizionali per un aspetto costruttivo importante: i due fili di sospensione del pendolo orizzontale sono fissati direttamente alla volta ed alla base della cavità, rispettivamente (vedi Fig. 2.2). In questo modo i pendoli della Grotta Gigante sfruttano tutta l'altezza della spettacolare cavità naturale (100 m), e, grazie alle loro eccezionali dimensioni geometriche e meccaniche, permettono di ottenere una grande stabilità, con un periodo proprio di oscillazione di 6 minuti. I clinometri tradizionali hanno un periodo di oscillazione proprio molto inferiore, e pari a 70 secondi.

3. COMPARAZIONE DIRETTA DI DUE MEGA-EVENTI: CILE 1960 E ISOLE ANDAMANE-SUMATRA 2004

L'anno 2004 entrerà nella storia per il catastrofico evento sismico del 26 Dicembre 2004 delle isole Andamane - Sumatra di Magnitudo $m=9.3$. Lo Tsunami generato da esso colpì 10 paesi dell'Asia meridionale e dell'Africa orientale e provocò 283.100 vittime (fonte NEIC, 23 Feb. 2005). È stato il secondo evento in grandezza dal 1900, preceduto dall'evento Cileno del 1960 di magnitudo $M=9.5$ e seguito dagli eventi dell'Alaska del 1957 e del 1964, rispettivamente di magnitudo 9.1 e 9.2.

Eventi sismici di quest'entità attivano vibrazioni della terra nel suo insieme, dette "oscillazioni libere della terra". Le vibrazioni hanno determinate frequenze d'oscillazione, dette frequenze proprie delle oscillazioni libere. Il periodo d'oscillazione più basso è di 54 minuti, e viene attivato soltanto per eventi sismici molto grandi. Maggiore è un evento sismico, in termini dell'estensione della superficie fratturata e della dislocazione, maggiori saranno le ampiezze delle vibrazioni della terra. Le ampiezze delle vibrazioni possono così essere usate per quantificare la grandezza dell'evento sismico. Per i mega-eventi, con magnitudo Richter maggiore di $M=9$, avviene la saturazione dell'ampiezza delle onde sismiche: all'aumentare della superficie di rottura del terremoto, l'ampiezza delle onde sismiche rimane invariata, e raggiunge un'ampiezza limite. Conseguentemente la magnitudo di un mega-evento viene sottostimata, se è basata soltanto sulla registrazione delle onde sismiche. La determinazione delle ampiezze dei modi delle oscillazioni libere può dare la stima corretta della magnitudo del mega-evento. Un esempio è dato dal terremoto delle Isole Sumatra-Andamane, al quale in un primo momento è stata attribuita la magnitudo $M=9.0$, valore poi corretto a $M=9.3$ dopo aver considerato le ampiezze delle oscillazioni libere (Park et al., 2005).

I pendoli orizzontali della Grotta Gigante avevano registrato già l'evento del Cile e le osservazioni hanno permesso di determinare le frequenze delle oscillazioni libere della Terra. Nel 2004 gli stessi strumenti hanno anche registrato l'evento delle Isole Andamane-Sumatra. L'eccezionale dimensione dei pendoli (100 m di altezza) li rende unici al mondo soprattutto per l'osservazione dei modi fondamentali di basso ordine. Segue che abbiamo a nostra disposizione le registrazioni con lo stesso strumento

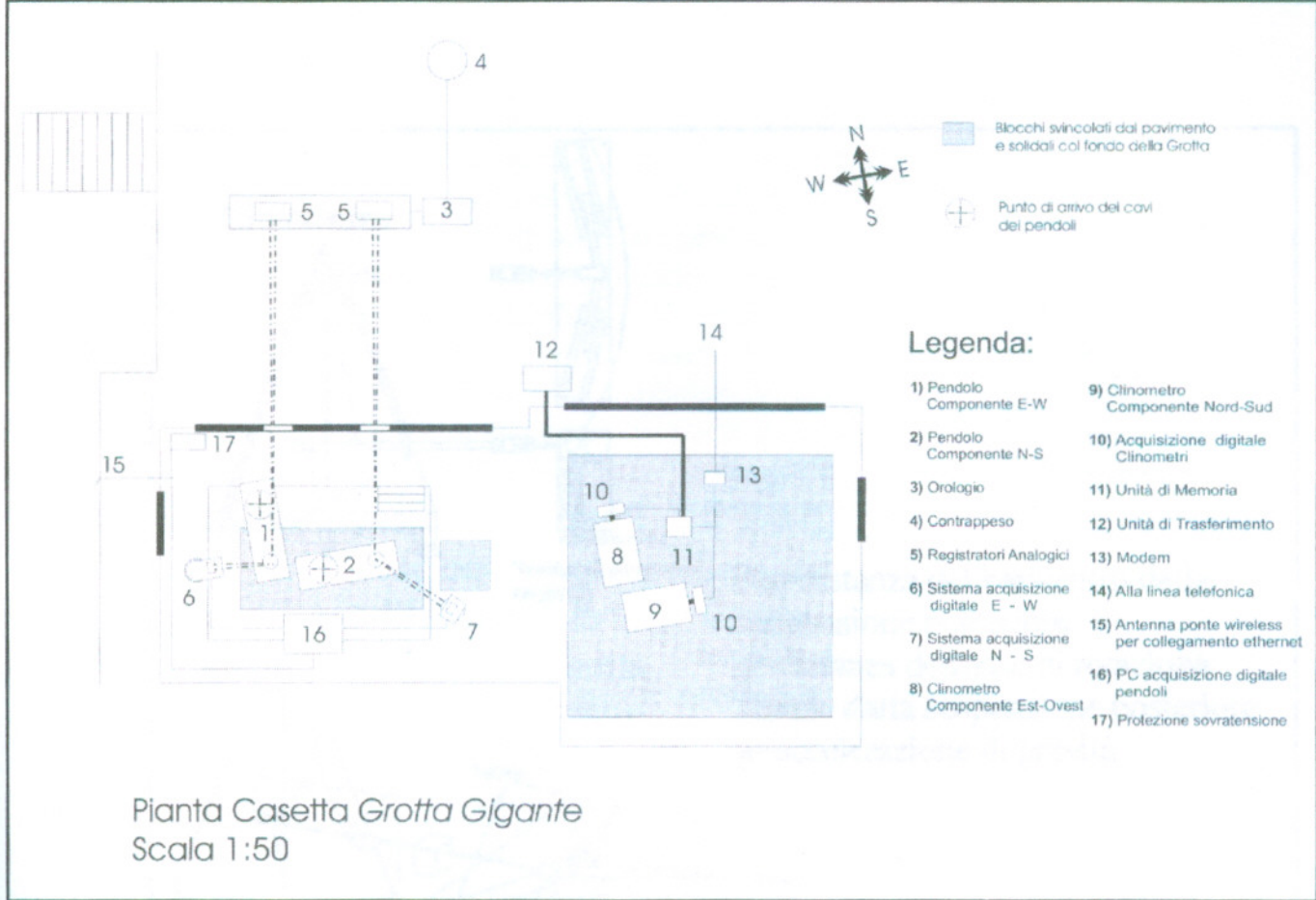


Fig. 2.1 - Pianta schematica della strumentazione presente nell'edificio sito in fondo alla Grotta Gigante.

B) Disegno schematico del pendolo

A) Sezione verticale grotta e pendolo

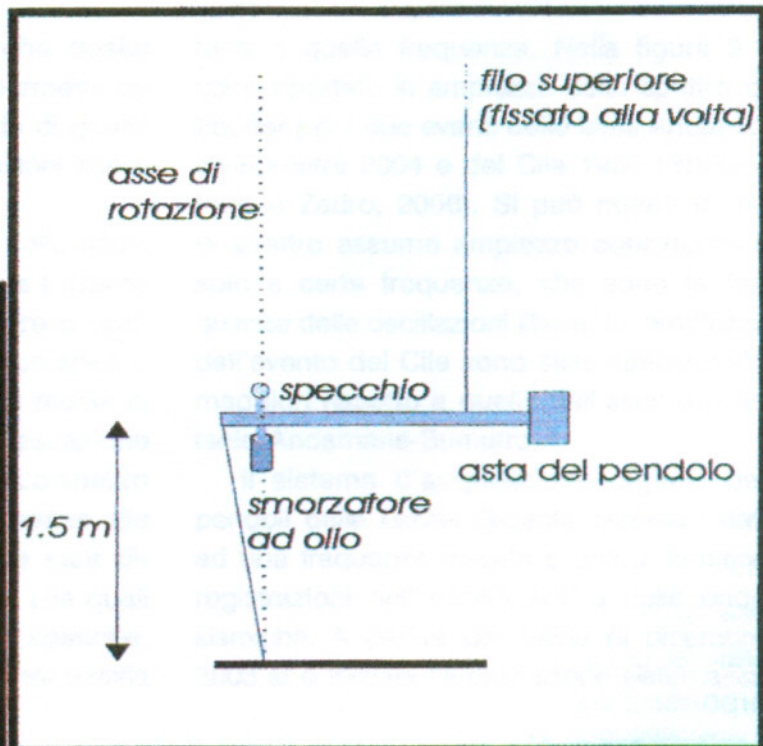
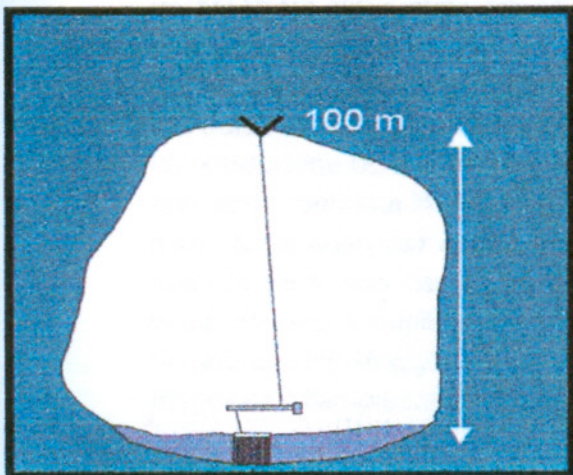


Fig 2.2 - Disegno schematico del pendolo orizzontale a base lunga della Grotta Gigante

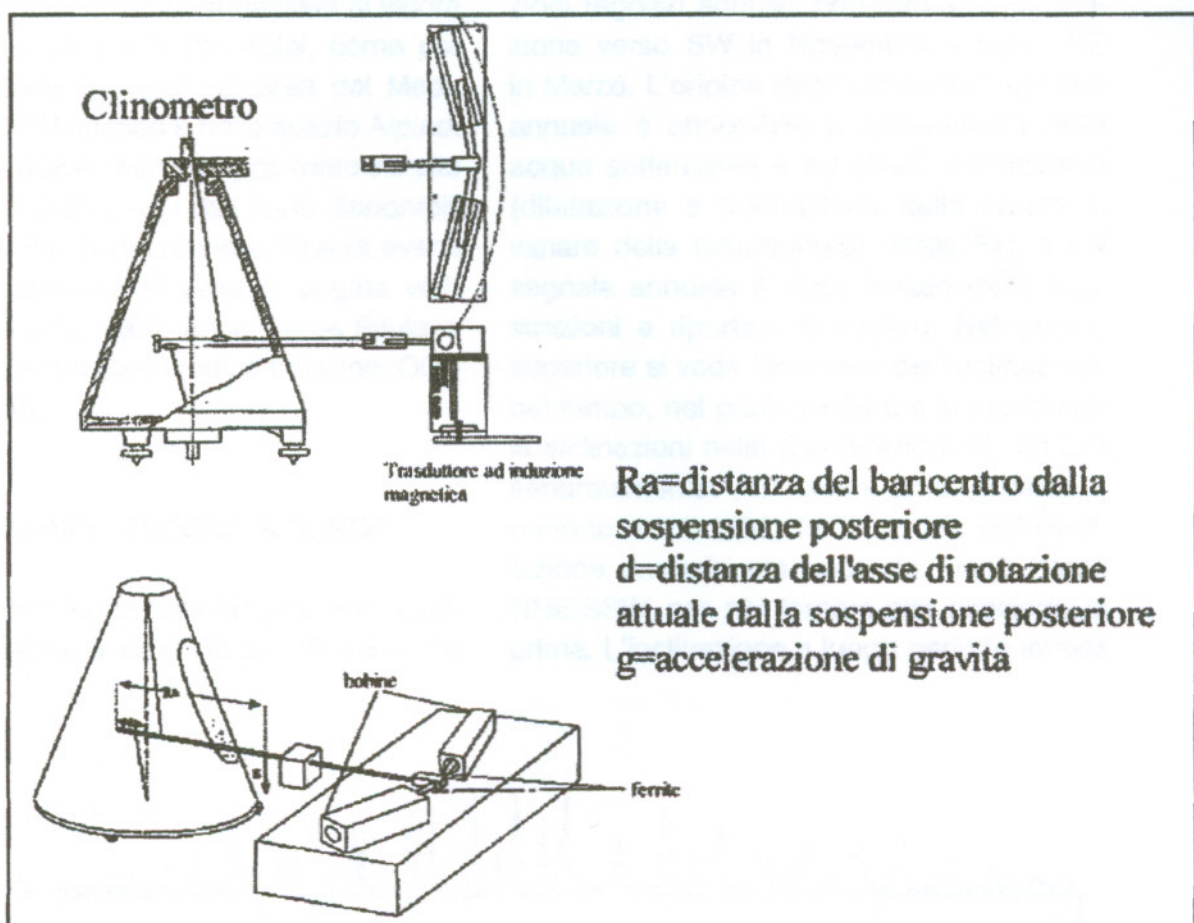


Fig. 2.3 – Disegno schematico del clinometro tradizionale di costruzione del DST. L'acquisizione digitale avviene tramite un trasduttore ad induzione magnetica. Attualmente una coppia di clinometri osserva l'inclinazione nella Grotta Gigante, nella Grotta di Villanova e nella Grotta Genziana (Cansiglio).

sia dell'evento del Cile 1960 che quello Indonesiano del 2004. Questo permette un confronto diretto delle magnitudo di questi due eventi dedotto dalle oscillazioni libere (Park et al., 2005).

Per determinare quali modi delle oscillazioni libere siano state attivate e trovarne anche le ampiezze, si deve calcolare lo spettro di Fourier delle registrazioni. Lo spettro di Fourier rappresenta l'ampiezza media di un'oscillazione durante tutta la registrazione analizzata, ordinata in frequenza. Lo spettro avrà valore nullo per quelle frequenze alle quali la terra non oscilla, mentre sarà diverso da zero a quelle frequenze alle quali la terra oscilla. Maggiore il valore spettrale, maggiore è l'ampiezza dell'oscillazione della

terra a quella frequenza. Nella figura 3.1 sono riportate le ampiezze dello spettro di Fourier per i due eventi delle Isole Andamane-Sumatra 2004 e del Cile 1960 (Braitenberg e Zadro, 2006). Si può notare come lo spettro assume ampiezze considerevoli solo a certe frequenze, che sono le frequenze delle oscillazioni libere. Le ampiezze dell'evento del Cile sono sistematicamente maggiori rispetto a quelle dell'evento delle Isole Andamane-Sumatra.

Il sistema d'acquisizione digitale dei pendoli della Grotta Gigante preleva i dati ad una frequenza elevata e quindi fornisce registrazioni nell'ambito anche delle onde sismiche. A partire dal mese di dicembre 2003 si è iniziata l'archiviazione sistematica

di tutti gli eventi sismici di magnitudo elevata ($M \geq 6$). La soglia è stata abbassata al valore di $M \geq 4$ per gli eventi più vicini, come per esempio quelli generati nell'area del Mediterraneo, dell'Adriatico e nello spazio Alpino. L'elenco di questi eventi è aggiornato sul sito web della stazione, ed i dati sono disponibili a richiesta. Per la documentazione di eventi sismici in generale si veda la pagina web del NEIC (NEIC, 2006) e per l'area Friulana quella del Centro Sismologico di Udine, OGS (OGS, 2006).

4. TASSO D'INCLINAZIONE A LUNGO TERMINE

La registrazione dell'inclinazione della Grotta Gigante si estende su 40 anni, dal

1966 al 2006. L'inclinazione presenta variazioni regolari annuali, con massima inclinazione verso SW in Novembre e verso NE in Marzo. L'origine della variazione regolare annuale è attribuibile a spostamenti delle acque sotterranee e ad effetti termoelastici (dilatazione e contrazione della crosta al variare della temperatura). Nella Fig. 4.1 il segnale annuale è stato isolato dalle registrazioni e riportato in grafico. Nel grafico superiore si vede l'evolversi dell'inclinazione nel tempo, nel grafico inferiore si osservano le inclinazioni nelle due direzioni NS ed EW separatamente. Per alcuni anni, durante il periodo 1977-1983, la direzione dell'oscillazione annuale era spostata lungo l'asse NNE-SSW, per poi tornare alla direzione di prima. L'inclinazione a lungo periodo invece

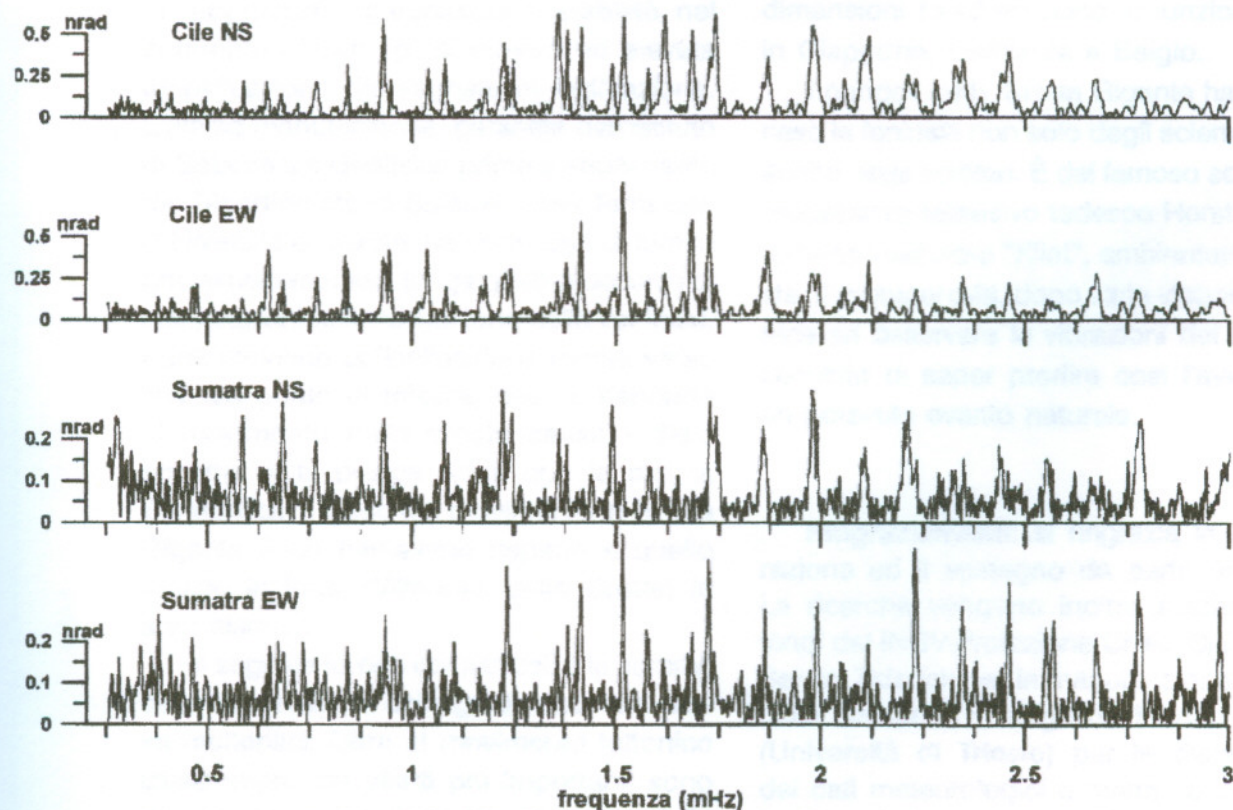


Fig. 3.1 Spettro d'ampiezza secondo l'analisi di Fourier in funzione della frequenza. Le ampiezze spettrali sono notevolmente diverse da zero soltanto per certe frequenze: sono le frequenze delle oscillazioni libere della terra. Le ampiezze osservate per il terremoto del Cile sono sistematicamente maggiori rispetto a quelle del terremoto delle Isole Andamane-Sumatra (da Braitenberg e Zadro, 2006)

è in direzione NW, come si evince dalla figura 4.2, con un tasso di 25 nrad/anno. Questo valore è circa un centesimo del tasso d'inclinazione che osserviamo nella Grotta di Villanova, situata in piena zona sismica. Il valore del tasso della deformazione è un parametro importante nella valutazione del rischio sismico, in quanto è una componente necessaria per il calcolo dell'accumulo degli sforzi sulla faglia sismica. Il terremoto avviene quando gli sforzi sulla faglia superano l'attrito che si oppone ad un movimento della faglia.

CONCLUSIONI

La Grotta Gigante è unica al mondo non solo per le sue dimensioni eccezionali, ma anche per la stazione geodetica ivi installata. Le grandi dimensioni dei pendoli (100 m di lunghezza) garantiscono stabilità nel confronto di vari tipi di rumore ed elevata amplificazione del segnale di inclinazione. L'ottima manutenzione, garantita dall'Istituto di Geodesia e Geofisica prima e attualmente dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Trieste, ha permesso di fornire una serie temporale lunga quattro decenni di osservazioni dell'inclinazione della verticale. I dati indicano un'inclinazione media verso NW del punto di misura, che corrisponde al movimento della crosta causato dallo scontro della placca Adria con la placca Eurasiatrica. Il tasso del movimento in Grotta Gigante è un centesimo rispetto a quello trovato in Friuli (Villanova delle Grotte) in area sismica.

Il segnale fornito dai pendoli è la somma delle deformazioni della grotta dovute a cause molteplici. Oltre al movimento tettonico citato sopra, gli effetti più importanti sono dovuti alla marea terrestre, al carico della marea marina, alle piene del fiume sotterraneo Timavo e agli eventi sismici. L'acquisizione digitale, effettuata grazie ad un

intervento recente dell'INGV, ha consentito di allargare la banda di osservazione degli strumenti, facendoli diventare clinometri a larga banda, in quanto permettono di seguire le inclinazioni della grotta, che vanno dai movimenti secolari a quelli sismici. È da ricordare che per i tre anni precedenti il disastroso sisma Friulano del 6 maggio 1976 i pendoli hanno registrato oscillazioni anomale aventi una periodicità di qualche minuto, che sono cessate in concomitanza con il terremoto. Dopo l'evento queste oscillazioni sono state interpretate come movimenti precursori (Zadro, 1978). Fino ad oggi quei segnali non si sono ripetuti, ma se in futuro si ripetessero potrebbero fornire un campanello d'allarme. Altre stazioni sotterranee per il monitoraggio della deformazione con strumenti di grandi dimensioni (>40 m) sono in funzione oggi in Giappone, California e Belgio.

I pendoli della Grotta Gigante hanno acceso la fantasia non solo degli scienziati, ma anche degli scrittori. È del famoso scrittore e moderatore televisivo tedesco Horst Stern il romanzo intitolato "Klint", ambientato a Trieste. Il protagonista, dopo varie vicissitudini si reca ad osservare le vibrazioni dei pendoli, convinto di saper predire così l'avvento di un notevole evento naturale.

Ringraziamenti: si ringrazia la collaborazione ed il sostegno da parte dell'INGV. Le ricerche vengono inoltre sostenute da fondi del INGV-Protezione Civile. Si ringrazia Sergio Zidarich per la manutenzione tecnica della stazione. Si ringrazia Franco Stravisi (Università di Trieste) per la disponibilità dei dati meteorologici e marini. Si ringrazia la Commissione Grotte "Eugenio Boegan", Soc. Alpina delle Giulie, per la disponibilità dei dati meteorologici della stazione Borgo Grotta Gigante.

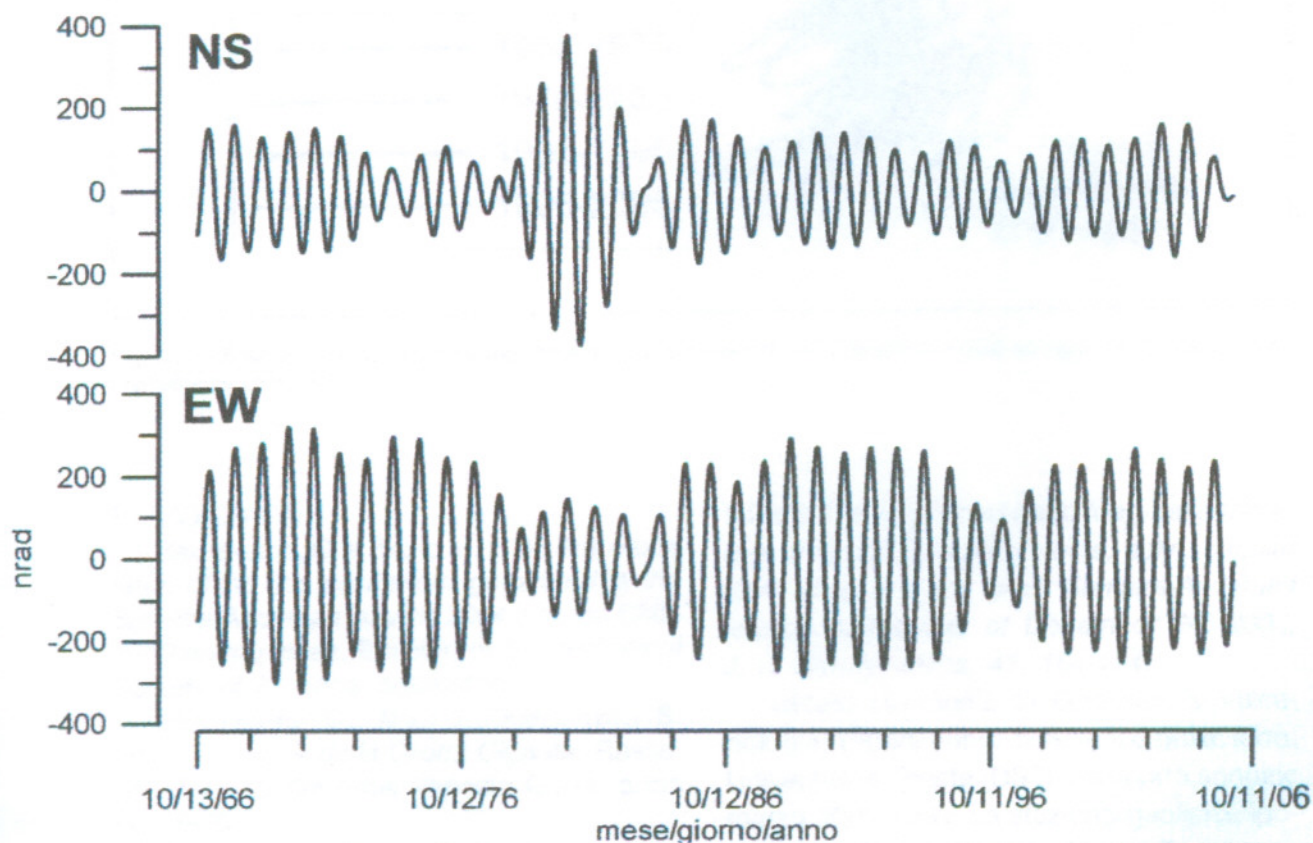
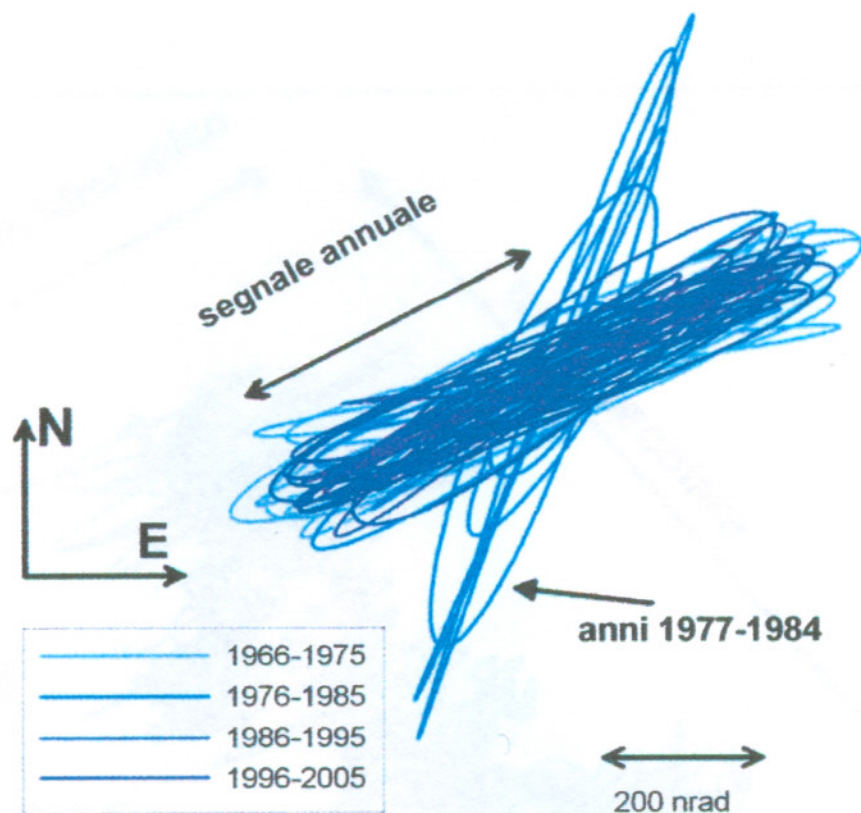


Fig. 4.1 Inclinazione regolare annuale dei pendoli della Grotta Gigante. Tipicamente la Grotta si inclina verso la costa in Novembre (direzione SW) e verso il Carso in Marzo (direzione NE).

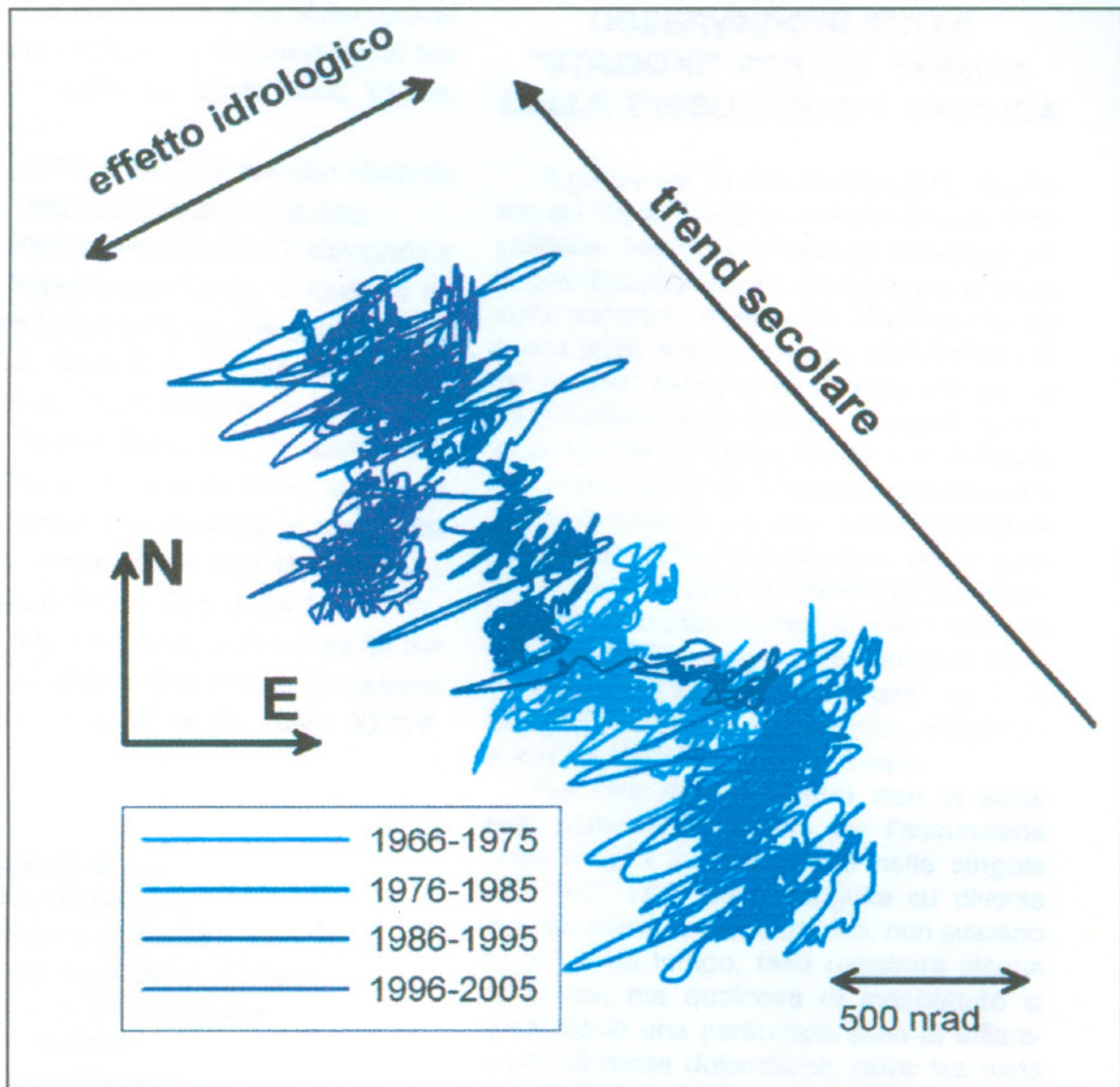


Fig. 4.2 Inclinazione a lungo termine registrata dai pendoli della Grotta Gigante dal 1966 ad oggi. La Grotta si inclina mediamente verso NW.

BIBLIOGRAFIA

BRAITENBERG, C. e ZADRO M. 2006 *Amplitude ratios of the free oscillations generated by the Sumatra-Andaman Islands 2004 and the Chile 1960 earthquakes*, Bulletin of Seismological Society of America, submitted.

BRAITENBERG C., NAGY I., PAPACCHIOLI S. 2004. *I pendoli della Grotta Gigante*, Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia, anno LV, 16-20.

BRAITENBERG C., ROMEO G., TACCETTI Q., NAGY

I. 2005 *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.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Trieste (DST), Rapporto annuale marzo 2005 INGV. La stazione geofisica ipogea della Grotta Gigante (Carso Triestino).

MARUSSI, A.; 1960: *The University of Trieste station for the study of the tides of the vertical in the Grotta Gigante*. In: Proceedings of the III Int. Symposium on Earth Tides, Trieste, 1960, 45-52.

NEIC, 2006. USGS Earthquake Hazards Program, <http://earthquake.usgs.gov/>.

OGS, 2006. Ist. Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Centro di Ricerche Sismologiche, Udine, Italia, <http://www.crs.inogs.it/>

PARK, J., SONG T. A., TROMP J., OKAL E., STEIN S., ROULT G., CLEVEDE E., LASKE G., KANAMORI H., DAVIS P., BERGER J., BRAITENBERG C., VAN CAMP M., LEI X., SUN H., XU H., AND ROSAT S. 2005. *Earth's free oscillations excited by the 26 December 2004 Sumatra-Andaman earthquake*, Science, **308**, 1139-1144.

Zadro, M.; 1978: *Use of tiltmeters for the detection of forerunning events in seismic areas*. Boll. di Geod. e Sc. Affini. XXXVII, 597-618.

Per saperne di più:

Dr. Carla Braitenberg

Dipartimento di Scienze della Terra

Università degli Studi di Trieste

Via Weiss 1, 34100 Trieste

Tel. 040 5582257

e-mail berg@units.it

<http://www.dst.units.it>

Indirizzo della Grotta:

Borgo Grotta Gigante 42/a

Sgonico, Trieste 34100

Tel: 0039 040-327312

<http://www.grottagigante.it>

1) Carla Braitenberg,

1) Ildiko' Nagy,

1) e 2) Barbara Grillo

1) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Trieste, Via Weiss 1, 34100 Trieste

2) Commissione Grotte "E. Boegan"

CONSIDERAZIONI ED OSSERVAZIONI SULLE "STAZIONI" PER LA MISURA DELLA DISSOLUZIONE CARSIKA

A partire dal 1979 si sono iniziate, dapprima sul Carso Triestino e poi in diverse aree carsiche della nostra Regione, le misure per la quantificazione della dissoluzione operata sulle superfici rocciose di affioramento ad opera delle acque piovane. Si è trattato di un grosso impegno di ricerca, sia per la sistemazione delle diverse "stazioni" di misura, sia per le misure stesse che vengono eseguite a cadenza annuale, semestrale ed anche bimestrale, queste ultime solamente nelle "stazioni" che sono state poste sugli affioramenti rocciosi all'interno del comprensorio turistico della Grotta Gigante. La ricerca è il frutto di una lunga collaborazione tra la Commissione Grotte "E. Boegan" ed il Dipartimento di scienze geologiche, ambientali e marine dell'Università di Trieste.

Per una decina d'anni non vi sono stati particolari problemi per l'assunzione delle misure micrometriche nelle singole "stazioni". Le misure, eseguite su diverse litologie calcaree e dolomitiche, non avevano in un primo tempo, fatto registrare alcuna anomalia, ma qualcosa di inaspettato si presentò in una particolare zona di affioramenti di rocce dolomitiche, dove era stata sistemata una "stazione" nella "Val calda" (tra Rupinpiccolo ed il Monte Lanaro). A partire dal 1987, lo strumento micrometrico per l'assunzione delle misure, non indicava più alcun abbassamento di quella superficie rocciosa, anzi per molti anni la misura sembrava essere sempre la stessa ed alla fine la "stazione" venne abbandonata e ripresa solo recentemente. Venne osservato che su quella superficie rocciosa si era formato una specie di copertura di licheni che evidentemente doveva impedire l'attacco delle acque meteoriche chimicamente attive sulla sottostante superficie rocciosa. La caratteristica di tale roccia dolomitica, è di contenere delle impurità argilloso-bituminose ed aveva fatto pensare che si trattasse di un