

## MARIA ZADRO (1933-2018)

*Il Carso classico rappresenta un laboratorio naturale adatto allo studio ed alle osservazioni geodetiche di precisione.*

*La Grotta Gigante, di proprietà della Società Alpina delle Giulie, C.A.I.-Trieste, gestita dalla Commissione Grotte "E. Boegan", costituisce un prezioso esempio di cavità turistica naturale in cui è stato sviluppato un complesso modello di ricerca sotterranea che, per alcune sue caratteristiche, può essere compreso nei progetti scientifici di rilevanza internazionale.*

*Lo scienziato di fama mondiale Antonio Marussi - membro della Commissione Grotte dal 1952 al 1984 - propose nel 1959 l'installazione di una stazione geodetica in collaborazione con l'Istituto di Geodesia che lui stesso dirigeva.*

*Dal progetto iniziale è nata una stazione geodetica con la quale è possibile rilevare ed elaborare tutti i dati utili allo studio delle maree terrestri, dei movimenti crostali (tettonici) e dei sismi più importanti. La strumentazione è costituita da pendoli speciali di 95 metri che sfruttano l'ampiezza della cavità, e da due clinometri tradizionali tipo Zöllner.*

*La particolarità dei pendoli è quella di eliminare o ridurre al minimo tutte le sorgenti di disturbo che caratterizzano invece le strumentazioni più piccole consentendo una elevata amplificazione del segnale di inclinazione. La collocazione ipogea (protetta) dei pendoli garantisce eccezionali caratteristiche di stabilità e quindi di affidabilità.*

*Finalità principale del progetto iniziale era la comprensione delle relazioni tra le acque sotterranee del Carso triestino ed i segnali clinometrici registrati dai pendoli.*

*Dati importanti ottenuti dalla Stazione riguardano l'effetto del carico delle maree marine nell'alto Adriatico, le deformazioni terrestri che avvengono in conseguenza delle grandi piene sotterranee del fiume Timavo ed i movimenti sismici.*

*Sotto questo punto di vista, la Grotta Gigante è unica al mondo non solamente per le dimensioni eccezionali ma anche per tipologia di Stazione Geodetica sotterranea.*

*A Marussi subentrò la triestina Maria Zadro (1933-2018), professoressa di Fisica della Terra, che acquisì la cattedra di Geodesia presso l'Università di Trieste ed il coordinamento del Dottorato di Ricerca in Geofisica della Litosfera e Geodinamica.*

*Maria Zadro ha rappresentato, dopo Marussi, la continuità e la tradizione della Ricerca Scientifica di Trieste, oggi riconosciuta nel mondo.*



Fig. 1 - a) Clinometro Marussi durante la fase di messa in opera (sinistra); b) Visione della Grotta Gigante dall'alto con i pendoli della Grotta Gigante costruiti e progettati da Antonio Marussi.

Autrice di oltre un centinaio di articoli specifici su riviste internazionali, la Zadro si occupò della strumentazione della cavità attivando le ricerche in campo gravitazionale.

Attualmente il ruolo di coordinatrice del Corso di Studi in Scienze Geologiche e docente di Geofisica della Terra Solida è svolto da Carla Braitenberg.

Per iniziativa della stessa professoressa Carla Braitenberg, amica e collaboratrice della Commissione Grotte, si è svolto nell'ambito dell'Università degli Studi di Trieste un Simposio Internazionale in memoria di Maria Zadro intitolato "Karst-Carso-Kras, a dynamic borderland. Presentation of the Karst continuous gravity monitoring network".



Fig. 2 - Annuncio del Simposio su Idrogeologia del Carso e Geodesia pubblicato sul sito web dell'Università.

*Il simposio tenutosi nei giorni 16-17 novembre 2018, presso il Dipartimento di Matematica e Geoscienze, presso le Grotte di San Canziano e conclusosi presso la Grotta Gigante, ha trattato i temi della idrogeologia del Carso e della Geodesia, per inaugurare una rete di tre stazioni gravimetriche che misureranno il campo di gravità in continuo. Durante il Simposio è stata ricordata la Prof.ssa Maria Zadro, che ha fatto un cospicuo lascito per borse di Dottorato in campo Geodetico.*

*Al simposio hanno partecipato Geologi e Geofisico-Geodeti italiani e stranieri, specialisti del Carso e di misure geodetiche. I flussi idrici sotterranei in ambiente carsico sono cospicui, tali da costituire una importante fonte di approvvigionamento idrico. Un tema verteva sull'utilizzo delle osservazioni geodetiche di alta precisione per misurare minimi spostamenti del terreno e le variazioni di massa generate dalle piene idriche nei canali sotterranei.*

*Il Carso a cavallo dell'Italia e della Slovenia è un laboratorio naturale per studiare tali fenomeni, data la presenza del fiume sotterraneo Timavo: esso è ben sviluppato, con portate rilevanti, può essere monitorato in più punti a partire dalle Grotte di San Canziano in Slovenia, percorre una rete di canali sotterranei, e riversa infine le sue acque nell'Adriatico nei pressi di Duino. Al Simposio è stata inaugurata la rete di stazioni gravimetriche, installata di recente nella Grotta di San Canziano, nella Grotta Gigante, e presso l'Università di Trieste. I gravimetri misurano l'accelerazione di gravità in continuo, e sono sensibili alle variazioni di massa. Lo scopo è di identificare la variazione dell'accelerazione gravitazionale al passaggio della piena del Timavo. Le misure gravimetriche arricchiscono le osservazioni geodetiche in Carso già esistenti con clinometri, GPS e interferometria SAR, oggetto di studio del Gruppo di Tettonofisica e Geodinamica del Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste.*

*La manifestazione ha acceso l'interesse di molti scienziati e ricercatori ed è con piacere che la Commissione Grotte "E. Boegan" presenta in questo volume di Atti e Memorie l'articolo di Carla Braitenberg in memoria di Maria Zadro.*

**La Redazione**

Atti e Memorie della Commissione Grotte “E. Boegan”	Vol. 48 (2018)	pp. 109-116	Trieste 2019
--	----------------	-------------	--------------

CARLA VON BRAITENBERG\*

## MARIA ZADRO

### SUMMARY

*Maria Zadro was an influential Professor teaching Physics of the Earth at the Geology and Physics curriculum of the University of Trieste. For many years she was Director of the Institute of Geodesy and Geophysics of the same university, and coordinated from its beginning the PhD program in Geophysics of the Lithosphere and Geodynamics. The horizontal pendulums of the Grotta Gigante cave have been examined by Maria Zadro from the very beginning, starting with the records of tidal phenomena, the study of the free oscillations generated by the world greatest earthquake ever recorded, the Chile earthquake of 1960, and the premonitory signals of the 1976 Friuli earthquake. In 1977 she installed the Friuli tilt-strainmeter network, consisting of 5 geodetic stations located in Barcis, Gemona, Villanova delle Grotte, Invillino, Cesclans, of which the station Villanova delle Grotte is still active. She analyzed the spectral properties of the gravity potential field, recognizing the advantages in modeling the underground structures in spectral domain with respect to the space domain. She had many international and national cooperations, and held long standing contacts with colleagues in China, Russia, South America, Austria and Germany. She has made a generous donation to the University of Trieste, for the institution of PhD grants which will allow to fully support PhD students of the field of geodesy.*

### RIASSUNTO

*Maria Zadro è stata Professore Ordinario di Fisica Terrestre presso l'Università di Trieste, nei due Corsi di Laurea di Geologia e di Fisica. Per molti anni ha investito la carica di Direttore dell'Istituto di Geodesia e Geofisica della medesima Università, ed ha coordinato il Dottorato di Ricerca in Geofisica della Litosfera e Geodinamica dall'anno della sua istituzione. Le registrazioni dei pendoli della Grotta Gigante sono state esaminate da Maria Zadro a partire dalle prime osservazioni, identificando le deformazioni indotte delle maree terrestri e dal carico oceanico, dalle oscillazioni libere della terra generate dal maggior evento sismico mai registrato, il terremoto del Cile 1960, e dai segnali premonitori del terremoto del Friuli del 1976. Nel 1977 ha installato la rete clino-estensimetrica del Friuli, che era dotata di 5 stazioni geodetiche localizzate a Barcis, Gemona, Villanova delle Grotte, Invillino e Cesclans e delle quali è ancora attiva la stazione di Villanova delle Grotte. Altro tema di studio innovativo sono state le proprietà spettrali del potenziale gravitazionale, approccio che porta alcuni vantaggi nella modellazione delle strutture del sottosuolo rispetto alla formulazione nel dominio dello spazio. Maria Zadro ha collaborato con molte istituzioni internazionali e nazionali, ed ha mantenuto contatti duraturi con colleghi dalla Cina, Russia, Sud America, Austria e Germania. Ha fatto una generosa donazione all'Università di*

\* Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università di Trieste. Berg@units.it

*Trieste, per l'istituzione di borse di studio di Dottorato in campo geodetico-geofisico, che permetteranno gli studenti a dedicarsi all'applicazione di metodologie geodetiche per la comprensione di processi fisici che riguardano la terra, continuando l'ambito degli studi intrapreso da Maria Zadro.*

## **Maria Zadro**

La Triestina Prof.ssa Maria Zadro ha dedicato la vita all'Università e agli studi di Geodesia. Nata a Trieste nel 1933, si è spenta all'età di 85 anni in aprile 2018. Gli studenti di Geologia la ricordano per il suo corso fondamentale di Fisica Terrestre, per molti un difficile ostacolo nel cammino verso la sospirata laurea. Laureata in Matematica con l'illustre Geodeta Antonio Marussi, si è dedicata alla soluzione di problemi geodetici applicati alle Scienze della Terra. Nel 1960 è avvenuto il terremoto del Cile, ancora oggi il più grande rilevato da strumentazioni geofisiche. Pochi mesi prima Antonio Marussi aveva installato nella Grotta Gigante i pendoli orizzontali, progettati da lui, che misurano le inclinazioni del terreno con altissima precisione. Il sistema di registrazione era fotografico ed era già allora così sofisticato che il segnale clinometrico veniva amplificato di un fattore talmente elevato (42000), da registrare per la prima volta le oscillazioni proprie della terra. Era una scoperta sensazionale, e solo due strumenti erano in grado di misurare tali oscillazioni, l'estensimetro in California, ed i pendoli della Grotta Gigante.

I primi studi di M. Zadro erano dedicati alla esatta descrizione delle oscillazioni proprie della terra, in particolare lo spettro delle frequenze, o le ampiezze in frequenza generate dal terremoto, e l'attenuazione delle oscillazioni nel tempo. Tutte informazioni con le quali si ottengono le proprietà dell'interno della terra, e la distinzione del suo nucleo in parte solida e guscio liquido. Le oscillazioni libere inoltre danno una misura sull'entità del terremoto complementare alle osservazioni delle onde sismiche, in quanto misurano il movimento a frequenze molto più basse, con periodo fino alla lunghezza di 54 minuti. Mentre il mega terremoto satura le ampiezze delle onde sismiche, la dimensione della faglia viene distinta dalle ampiezze delle vibrazioni della terra. I pendoli mostravano anche molto bene le maree terrestri, il fenomeno dell'allungamento periodico della terra in direzione dell'asse terra-luna e terra-sole. Ad occhio nudo il cedimento non è visibile, mentre è un segnale di disturbo non trascurabile per le osservazioni di precisione come il GPS. Infatti è di 20 cm l'ampiezza del movimento massimo radiale, ben al di sopra della precisione richiesta per un GPS. Anche per i pendoli della Grotta Gigante il segnale è uno dei segnali molto evidenti, e negli anni sessanta lo studio delle maree terrestri era all'avanguardia. La particolare vicinanza al mare Adriatico portava ad un effetto non studiato prima, e che era valso in principio fonte di preoccupazione della giovane Zadro. Marussi le aveva dato il compito di predire le oscillazioni di marea terrestre e confrontarle con le osservazioni dei pendoli. Dopo aver sviluppato la teoria, e sviluppato il programma il calcolo, le osservazioni erano completamente sfasate rispetto alle



Fig. 1 - Maria Zadro in a Photograph taken in 1999.

Fig. 1 - Maria Zadro in una fotografia del 1999.

predizioni; inoltre erano molto diverse le ampiezze delle maree diurne e semidiurne rispetto alle previsioni. La mancata coincidenza di modello e osservazioni veniva prima attribuito ad errato calcolo, ma anche un accurato controllo non aveva migliorato la situazione. L'idea che venne alla giovane Zadro, era di considerare il carico marino dell'Adriatico e la susseguente deformazione della Grotta a seguito del carico e per effetto dello spostamento della massa di acqua. Infatti la marea marina nel golfo di Trieste ha un'escursione di 1 metro fra minima e massima, che agisce da carico variabile, al quale la terra cede deformandosi elasticamente. La giovane Zadro consultò la letteratura, acquisì le formule necessarie per descrivere il fenomeno, e finalmente le osservazioni dei pendoli erano in ottimo accordo con le predizioni di marea terrestre sommate al carico di marea marina. Lo studio necessitò della collaborazione con gli esperti di oceanografia di allora, come il Polli ed il Mosetti, che studiarono le fasi della marea marina in Adriatico, le sesse dell'Adriatico, e l'influenza della bora e dei altri venti sulla variazione del livello del mare. Oggi i risultati degli studi sui carichi di marea vengono utilizzati per correggere le misure di posizione del GPS, e vengono apportati in maniera standard negli software delle case produttrici del GPS. Nelle applicazioni che richiedono elevata precisione della posizione misurata con il GPS, invece è indispensabile sviluppare un modello accurato del carico di marea dell'Adriatico e del Mediterraneo, in quanto i modelli standard non sono sufficientemente dettagliati per gli effetti locali dei bacini minori, sia per l'evoluzione temporale che per gli effetti di amplificazione di sito nella flessione al carico.

L'interesse per i precursori sismici in Regione è stata accentuata dai segnali premonitori rilevati dai pendoli della Grotta Gigante a partire dal 1973, tre anni prima della catastrofica scossa del 6 maggio 1976, che ha portato distruzione in Friuli. Le vibrazioni dei pendoli erano

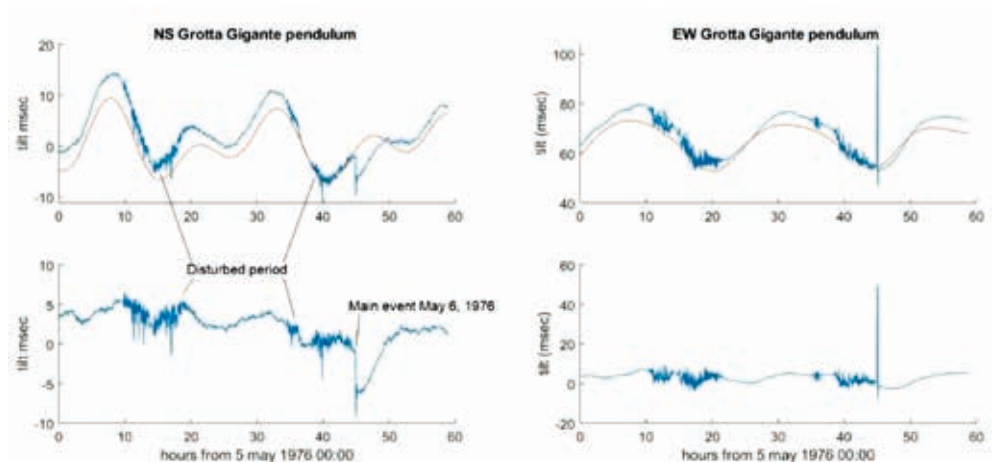


Fig. 2 - The tilting of the Grotta Gigante pendulums during 60 hours in the days 5-6 May 1976. On May 6, 1976 the destructive Friuli Earthquake occurred, which is seen in the record as impulse. The disturbing signals which had appeared starting with the year 1973 occurred also during the 40 hours preceding the main shock. Upper curve: Observations (blue) and synthetic Earth Tide (brown). Lower graph: Residuals, obtained by subtracting the synthetic tide from the observations.

Fig. 2 - Le registrazioni dell'inclinazione della Grotta nell'arco delle 60 ore durante i due giorni 5-6 maggio 1976. Il giorno 6 maggio 1976 il terribile terremoto ha colpito il Friuli, che nella registrazione è visibile con un impulso. I segnali di disturbo che erano apparsi a partire dal 1973, erano evidenti anche nelle 40 ore che precedono la scossa principale. Curva superiore: osservazioni (blu) e marea sintetica (marrone). Grafico inferiore: residui, ottenuti sottraendo la marea sintetica dalle osservazioni.

apparso prima saltuariamente, per intensificarsi in durata, fino ad essere presenti quasi continuamente fino al momento del terremoto. A sei mesi dalla scossa l'ultima apparizione delle vibrazioni, che non si sono verificate più da allora. Sono state interpretate come vibrazioni generate da un movimento di faglia troppo lento da generare le onde sismiche di frequenza più elevata.

I pendoli della Grotta Gigante misurano tuttora la deformazione del suolo, con un sistema di acquisizione dati moderno al laser e vengono gestiti dall'Università di Trieste. Forte dell'esperienza dei pendoli in Carso, la Prof.ssa Maria Zadro ha installato nel 1977 una rete di cinque stazioni clinometriche in Friuli, con lo scopo di osservare con elevate precisioni i movimenti del suolo. Tale strumentazione è complementare alle osservazioni di una rete di punti GPS, in quanto ha una sensibilità molto maggiore, in grado di distinguere piccoli segnali oltre una soglia di rumore molto più bassa. La rete clino-estensimetrica del Friuli Venezia Giulia è stata finanziata dalla Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia fino alla metà degli anni novanta. Attualmente è ancora attiva la stazione di Villanova, alla quale è stata affiancata la stazione della Genziana, sull'Altipiano del Cansiglio nel 2008. Gli studi che la Prof.ssa Zadro compie con i suoi studenti, dottorandi e assistenti sono stati pubblicati su riviste internazionali, ed hanno avuto ampia risonanza fra i gruppi di ricerca impegnati con misure di deformazione del sottosuolo. I temi di interesse sono stati la piena comprensione del segnale di deformazione crostale, la relazione con i movimenti su faglia sismica, l'influenza dei fattori ambientali come idrologia, carico da pressione atmosferica, l'identificazione di movimenti correlati fra le stazioni a decine di chilometri di distanza, l'emanazione del Radon e la deformazione. L'attenzione internazionale ha portato ad inviti della prof.ssa Zadro e dei suoi collaboratori a tenere corsi e collaborare in progetti con centri geodetici specializzati come in Germania, Austria, Polonia, Cina, Russia, Kazakistan. Gli studi in campo geodetico vengono portati avanti oggi con entusiasmo dal gruppo di Tettonofisica e Geodinamica del Dipartimento di Matematica e Geoscienze, coordinato dalla prof.ssa Carla Braitenberg. Il gruppo cura le tre stazioni geodetiche ipogee di Grotta Gigante, Villanova e Genziana e si dedica all'utilizzo delle moderne tecniche di telerilevamento da satellite, sia con immagini multispettrali, che con il Radar Interferometrico, che vedono un immenso ampliamento delle possibilità grazie alla disponibilità dei satelliti Sentinel dell'Agenzia Spaziale Europea.

Il compito del professore comprende oltre alla didattica e alla ricerca scientifica, anche la partecipazione all'organizzazione della didattica universitaria e della direzione dei Dipartimenti e dei gruppi di ricerca. M. Zadro ha occupato per diversi anni con dovizia e rigore il ruolo di Direttore dell'allora Istituto di Geodesia e Geofisica, sito in Via Università 7, con sede distaccata in via Principe di Montfort 10 (Trieste). A partire dall'istituzione del titolo di Dottore di Ricerca nel 1980, è stata coordinatrice del Collegio del Dottorato di Ricerca in Geofisica della Litosfera e Geodinamica.

La Prof.ssa Zadro era un docente severo, che esigeva massima serietà ed impegno da parte dei suoi studenti, e insisteva che il problema scientifico scelto venisse analizzato fino a fondo. L'impegno era la carta vincente, e diversi allievi hanno trovato la strada del successo in enti di ricerca, nell'Università, nel privato, o nell'insegnamento.

L'ultimo volere della Prof.ssa Zadro dimostra grande rispetto per l'Università di Trieste, in quanto nel lascito ha chiesto di dedicare sue proprietà ed una consistente somma di denaro a borse di studio per Dottorandi di ricerca in campo geodetico-geofisico. Le borse di studio da dedicare alla geodesia potranno permettere ad un giovane/una giovane di talento di intraprendere gli studi cari alla Prof.ssa Zadro, come quelli sulla comprensione completa delle deformazioni della crosta osservabili oggi con tecniche di Interferometria Radar da satellite, di GPS, e integrati con i punti di misure clinometriche, oppure sulle variazioni nel tempo del campo di gravità.

## ESTRATTO DELLA BIBLIOGRAFIA DI MARIA ZADRO

- ZADRO M., CHIARUTTINI C., 1975 - *Loading effects of the Mediterranean tides*. Sopron 1973. Akademiai Kiado, Budapest: 495-501.
- CHIARUTTINI C., ZADRO M., 1976 - *Horizontal pendulum observations at Trieste*. Udine Meeting on the Friuli Earthquake, 1976. Boll. di Geof. Teor. ed Appl., Vol. XIX, n.72: 441-455.
- LIVIERATOS E., ZADRO M., 1976 - *Analysis of data from two sea-tidal stations of the Aegean Sea*. Boll. di Geof. Teorica ed Applicata, Vol. XIX, n.71: 172-183.
- LIVIERATOS E., ZADRO M., 1977 - *A study on the hydrodynamical behaviour of the Aegean basin*. Boll. di Geof. Teorica ed Applicata, Vol. XX, n.75-76: 179-198.
- ZADRO M., 1978 - *Use of tiltmeters for the detection of fore-running events in seismic areas*. Boll. di Geod. e Sc. Affini, Vol. XXXVII, n.2/3: 597-618.
- EBBLIN C., ZADRO M., 1978 - *Tilt Observations in Seismically Active Areas*. Terrestrial and space techniques in earthquake prediction research. A. Vogel Ed. F. Vieweg & Sohn, Braunschweig: 215-217.
- EBBLIN C., ZADRO M., 1979 - *On strain and tilt measurements in seismic areas*. Proc. ESA-Council of Europe. Seminar on earthquake prediction, Strasbourg 1979: 33-39.
- EBBLIN C., ZADRO M., 1980 - *Strain determinations with tiltmeters in cavities*. Tectonophysics, Vol. 68: 3-4, T25-T29, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(80\)90172-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(80)90172-9).
- ZADRO M., 1980 - *Point crust deformations: tiltmeter and strainmeter measurements*. Quaterniones Geodesiae, Vol. 3: 103-115.
- EBBLIN C., TEISSEYRE R., ZADRO M., 1980 - *Rheology of a source zone: application to the Friuli seismic area*. Boll. di Geof. Teor. ed Appl., Vol. XXII, n.88: 279-293.
- EBBLIN C., ZADRO M., 1980 - *Feasibility study for the teletransmission of data from a geophysical network installed a seismic area to an operational centre*. Proceedings 2<sup>nd</sup> Workshop jointly organised by ESA & Parliam. Ass. of Council of Europe on European Earthquake Prediction Programme, Strasbourg 31 Jan.-1 Feb. 1980 (ESA SP - 156): 57-66.
- LIVIERATOS E., ZADRO M., 1981 - *The computer program Liza for two-dimensional amplitude spectra and alternative filterings*. Quaterniones Geodesiae, Vol. 2, n.3: 209-216.
- EBBLIN C., SALAHORIS M., ZADRO M., 1982 - *Variations of mechanical properties of rocks as a source of vertical ground displacements*. Tectonophysics, Vol. 88, n.1-2: T17-T23, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(82\)90200-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(82)90200-1).
- SUHADOLC P., ZADRO M., PANZA G. F., 1982 - *Seismic behavior of the Gargano region : A statistical analysis*. Atti II Symp. Int. "Utilizzazione delle aree carsiche", Bari, 1982. Geol. applicata ed Idrogeologia, Vol. XVII, II, 195-200. Boll. di Geof. Teor. ed Appl., 1983, 25, n.98: 97-104.
- ZADRO M., 1984 - *Spectral properties of the Newtonian potential field and their application in the interpretation of the gravity anomalies*. Geophys. J. R. astr. Soc., 79, 489-493, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1984.tb02236.x>.
- LIVIERATOS E., ZADRO M., 1985 - *Multiple-Input Linear Systems in geoprocesses: an analysis of geophysical data across the eastern continental Hellenic margin*. Acta Geophysica Polonica, Vol. XXXIII, 2: 135-146.
- ZADRO M., 1986 - *Spectral Images of the gravitational Field*. Manuscripta Geodetica, Vol. 11: 207-213.
- SANTERO P., MAO W. J., ZADRO M., 1986 - *Effetti a lungo ,medio e breve termine nelle registrazioni dei clinometri e degli estensimetri installati nell'area sismica del Friuli*. Atti del V Congresso del GNGTS, Roma 17-19 Novembre: 357-367.
- MAO W. J., ZADRO M., 1987 - *Response of a stratified viscoelastic half-space under a surface periodic load*. Boll. di Geof. Teorica ed Applicata, Vol. XXIX,114: 165-177.
- ZADRO M., PLENIZIO E., EBBLIN C., CHIARUTTINI C., 1987 - *Influence of groundwater table level variations and of rainfall on tilting in the Friuli area, NE Italy*. Acta Geophysica Polonica, Vol. XXXV, 4: 323-338.

- ZADRO M., SANTERO P., 1987 - *Relazione fra sismicità e variazioni clinometriche nell'area sismica del Friuli*. Atti VI convegno GNGTS, Roma.
- SANTERO P., ZADRO M., BLITZKOW D., DE SA N. C. - 1988. *Gravimetric analysis of the Goiania flexure, Northern Paraná basin*. In: "The Mesozoic Floud Mechanism from the Paraná basin: Petrogenic and Geophysical Aspects". Ed.: Piccirillo E. M., Melfi A. J., Instituto Astronomico e Geofisico, Sao Paulo University, Brazil: 257-269.
- ZADRO M., ERNST T., JANKOWSKI J., MARIANUK J., TEISSEYRE R., SANTERO P. - 1988. *In Search of Magnetotelluric and Resistivity Precursors in the Friuli Seismic Region: Technics and Preliminary Results*. Proceedings of the European Seismological Commission, XXI General Assembly, Sofia, 1988: 10-25.
- ZADRO M., ERNST T., JANKOWSKI J., MARIANUK J., TEISSEYRE R., SANTERO P. - 1988. *A preliminary Note on the Telluric Records in the Friuli Seismic Zone (North-East Italy)*. Proceedings of the Seminar on the Prediction of Earthquakes, CEE, Lisbon, Portugal, November 1988: 10-28.
- MAO W. J., EBLIN C., ZADRO M. - 1989. *Evidence for Variations of Mechanical Properties in the Friuli Seismic Area*. Tectonophysics, 170: 231-242, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(89\)90273-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(89)90273-4).
- MAO W. J., SANTERO P., ZADRO M., 1990 - *Long and middle term behavior of the tilt and strain variations in the decade following the 1976 Friuli earthquake in NE Italy*. Pure and Appl. Geophys., 132: 653-677.
- ZADRO M., ERNST T., JANKOWSKI J., ROZLUSKI C. P., TEISSEYRE R., 1990 - *Magnetotelluric Recordings from Seismic Zone, Friuli, North-East Italy*. Tectonophysics, 180: 303-308, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90065-R](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90065-R).
- ZADRO M., 1990 - *Tilt and Strain Variations in Friuli, NE Italy, after the 1976 Earthquake*. Proceedings of the V Course of the International School of Solid Earth Geophysics: Earthquake Prediction. Ettore Majorana, Centre for Scientific Culture, Erice, July 16-23, 1989.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 1990 - *The Magnetotelluric Campaign in the Eastern Alps, NE Italy. Regional and Local 2-D Responses of the Seismic Zone*. Boll. Geof. Teor. ed Appl., XXXII, 126: 141-153.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 1990 - *Magnetotellurica nel Friuli Sismico -Problemi ed interessi di una campagna in una zona non priva di rumore ambientale*. Atti II Convegno Nazionale di Geo-Elettro-Magnetismo, Palermo, 13-15 Settembre 1990.
- ZADRO M., ROSSI G., 1990 - *Variazioni clinometriche ed estensimetriche rilevate in Friuli dal 1977 al 1990*. IX Convegno Nazionale GNGTS, Roma, 1990, Atti: 281-290.
- ZADRO M., ROSSI G., NAGY I., 1991 - *Effetti secolari rilevati dai pendoli di Grotta Gigante presso Trieste*. X Convegno Nazionale GNGTS, Atti: 1013-1020.
- ERNST T., MARIANUK J., ROZLUSKI C.P., JANKOWSKI J., PALKO A., TEISSEYRE R., BRAITENBERG C., ZADRO M., 1991 - *Analysis of the magneto-telluric recordings from the Friuli seismic zone, NE Italy*. Acta Geoph. Pol., XXXIX, 2: 129-158.
- ZADRO M., 1992 - *Tilt and Strain Variations in Friuli, NE Italy, after the 1976 Earthquake.*, in Boschi E. e Dragoni M. (ed): Earthquake prediction (International School on Earthquake Prediction, Erice, Italy, July 1989), Il Cigno Galileo Galilei, Roma: 295-315.
- ZADRO M., BRAITENBERG C., BARDELLI, M., MAO W. J., 1992 - *13 anni di registrazioni estensimetriche nel Friuli sismico*. CNR, Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Atti del 11° Convegno Nazionale, Roma, 9-11 Dicembre: 141-144.
- ROSSI G., ZADRO M., 1993 - *Caratteristiche geodinamiche del bordo nord-orientale della placca Adriatica desunte da dati di deformazione crostale*. CNR, Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Atti del 11° Convegno Nazionale, Roma, 9-11 Dicembre: 581-584.
- BRAITENBERG C., CAPUANO P., GASPARINI P., ZADRO M., 1994 - *Interpretation of long period MT soundings in Friuli (NE-Italy) and the electrical characteristics of the lithosphere*. International Journ. Geoph., 117: 196-204, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1994.tb03312.x>.



- ZADRO M., 1995 - *Seismicity precursors in the Friuli area: Tilt-strain and water table level variations*, in: V. Spagna and E.Schiavon (ed.): Migration of fluids in the subsoil and seismic events: compared experiences. (Scientific meeting on the seismic protection, Venice, Italy, 12 and 13 July 1993), Nuova Helvetia srl, Venice: 94-99.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., BARDELLI M., MAO W. J., 1995 - *Variations of tidal responses in a seismic region: the Friuli-NE Italy case*. Ed. H.T. Hsu: Proceedings of the 12th International Symposium on Earth Tides. Aug. 4-7, 1993, Beijing. China Science Press, New York: 395-401.
- DAL MORO G., BRAITENBERG C., ZADRO M., 1995 - *Caratteristiche meccaniche crostali nelle alpi sud-orientali tratte da interpretazione gravimetrica sulla base di due profili sismici*. CNR, Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Atti del 13° Convegno Nazionale, Roma, 28-30 Novembre 1994: 85-86.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 1996 - *The iterative signal enhancing method for determining magnetotelluric impedance*, Annali di Geofisica, XXXIX, N.1: 101-107, DOI: <https://doi.org/10.4401/ag-3955>.
- ROSSI G., ZADRO M., 1996 - *Long-term crustal deformations in NE Italy revealed by tilt-strain gauges*, Phys.Earth.Planet.Int., 97: 55-70, [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(96\)03166-4](https://doi.org/10.1016/0031-9201(96)03166-4).
- BRAITENBERG C., PETTENATI F., ZADRO M., 1997 - *Spectral and classical methods in the evaluation of Moho undulations from gravity data: the NE-Italian Alps and isostasy*. Journal of Geodynamics, 23: 5-22, [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(96\)00024-5](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(96)00024-5).
- ZADRO M., BRAITENBERG C., 1997 - *Spectral methods in gravity inversion: the geopotential field and its derivatives*. Annali di Geofisica. Vol. XL, Nr.5: 1433-1443, DOI: <https://doi.org/10.4401/ag-3875>.
- BRAITENBERG C., GARAVAGLIA M., MAGNONI S., ZADRO M., 1997 - *Radon and crustal deformation continuous monitoring in the seismic area of Friuli, North-Eastern Italy*. Proceedings of the 3rd International Colloquium on rare gas geochemistry: predictability of earthquakes, Amritsar (India), Dec. 10-14, 1995: 125-137.
- GARAVAGLIA M., ZADRO M., 1997 - *Il radon come tracciante naturale in Geologia . Alcuni risultati incoraggianti*. Ed. Biancotto R. e Marinario M.: Atti del Convegno Radon tra natura e ambiente costruito, Venezia 24-26 Nov. 1997, Edicom Edizioni Monfalcone: 293-298.
- DAL MORO G., BRAITENBERG C., ZADRO M., 1998 - *Geometry and mechanical and crustal properties in NE Italy based on seismic and gravity data*. Boll. di Geof. Teor. ed Appl., 39, N.1: 37 - 46.
- GARAVAGLIA M., BRAITENBERG C., ZADRO M., 1998 - *Radon monitoring in a cave of North-Eastern Italy*, Phys. Chem. Earth, 23: 949-952, [https://doi.org/10.1016/S0079-1946\(98\)00125-6](https://doi.org/10.1016/S0079-1946(98)00125-6).
- DAL MORO G., ZADRO M., 1998 - *Subsurface deformations induced by rainfall and atmospheric pressure: tilt/strain measurements in the NE-Italy seismic area*, Earth and Planetary Science Letters, 164: 193-203, [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00203-9](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00203-9).
- GARAVAGLIA M., BRAITENBERG C., ZADRO M., QUATTROCCHI F., 1999 - *Radon Measurements in soil and water in the seismic Friuli area*. Il Nuovo Cimento, C: 415-422.
- ZADRO M., BRAITENBERG C., 1999 - *Measurements and interpretations of tilt-strain gauges in seismically active areas*. Earth Science Reviews, 1097: 151-187, [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00028-8).
- DAL MORO G., ZADRO M., 1999 - *Remarkable tilt-strain anomalies preceding two seismic events in Friuli (NE Italy): their interpretation as precursors*, Earth and Planetary Science Letters, 170: 119-129, [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00095-3](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00095-3).
- ROSSI G., ZADRO M., EBBLIN C., 1999 - *Geodynamic processes at the northern boundary of Adria plate: strain-tilt measurements and modelling*, in: Proceedings of Second IAG Symposium "Geodynamics of the Alps-Adria Area by means of Terrestrial and Satellite Methods", Colic K. and Moritz H. (Eds), Zagreb and Graz, 1999: 271-282.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 1999 - *The Grotta Gigante horizontal pendulums – instrumentation and observations*. Boll. di Geof. Teor. ed Appl., 40, N. 3-4: 577-582.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 1999 - *Iterative 3D gravity inversion with integration of seismologic data*. Boll. di Geof. Teor. ed Appl., 40, N. 3-4: 469-475.

- BRAITENBERG C., ZADRO M., FANG J., WANG Y., HSU H.T., 2000 - *Gravity inversion in Quinghai-Tibet plateau. Physics and Chemistry of the Earth*, 25: 381-386, [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(00\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(00)00060-0).
- DAL MORO G., GARAVAGLIA M., ZADRO M., 2000 - *Tilt-strain measurements in the NE Italy seismic area: Precursor analysis and atmospheric noise effects*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25/3: 271-276, [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(00\)00043-0](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(00)00043-0).
- GARAVAGLIA M., DAL MORO G., ZADRO M., 2000 - *Radon and tilt measurements in a seismic area: Temperature effects*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25/3: 233-237.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., FANG J., WANG Y., HSU H. T., 2000 - *The gravity and isostatic Moho undulations in Qinghai - Tibet plateau*. *Journal of Geodynamics*, 30: 489-505, [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(00\)00004-1](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(00)00004-1).
- DAL MORO G., EBBLIN C., ZADRO M., 2001. *The FEM in the interpretation of tilt/strainmeter observations in a cave: Air pressure loading effects*. *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 47/1: 88-94.
- JENTZSCH G., MALISCHEWSKY P., ZADRO M., BRAITENBERG C., LATYNINA L., BOJARSKY E., VERBITZKY T., TIKHOMIROV A. AND KURSKEEV A., 2001 - *Relations between different geodynamic parameters and seismicity in areas of high and low seismic hazards*. *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 47/1: 82-87.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 2001 - *Time series modeling of the hydrologic signal in geodetic measurements*, *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 47/1: 95-100.
- BRAITENBERG C., NAGY I., NEGUSINI M., ROMAGNOLI C., ZADRO M., ZERBINI S., 2001 - *Geodetic measurements at the northern border of the Adria plate*. *Journal of Geodynamics*, 32: 267-286, [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(01\)00025-4](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(01)00025-4).
- ROSSI G., EBBLIN C., ZADRO M. 2005. *3D finite – elements kinematic model of the Adria northern region: stress analysis*. *Boll. di Geof. Teor. ed Appl.*, 46: 23-46.
- BRAITENBERG C., ZADRO M., 2007 - *Comparative analysis of the free oscillations generated by the Sumatra – Andaman Islands 2004 and the Chile 1960 earthquakes*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 1A: S6-S17, doi:10.1785/0120050624.