

Studi interdisciplinari in Scienze della Terra per la fruizione in sicurezza della Riserva Naturale delle Salse di Nirano

a cura di Dorianò Castaldini, Marzia Conventi,
Paola Coratza e Giovanni Tosatti



con il patrocinio di:



Comune di
Fiorano Modenese



PANARIAgroup
CERAMIC SURFACES

Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena è una rivista annuale, fondata nel 1866, che pubblica articoli originali riguardanti discipline scientifiche e ambientali (con particolare riguardo alla Regione Emilia-Romagna e all'Italia) e gli atti sociali. La rivista viene distribuita gratuitamente ai Soci e alle Società e Accademie corrispondenti, italiane e straniere, in tutte le parti del mondo. La rivista è indicizzata da: Bibliography and Index of Geology (USA), Biological Abstracts (USA), Chemical Abstracts (USA), Zoological Record (Gran Bretagna) e Referativnyi Zhurnal (Russia).

Consiglio Direttivo (2017-2019)

Presidente: Prof.ssa Stefania Benvenuti

Consiglieri: Prof.ssa Tiziana Altiero, Dott.ssa Giovanna Barbieri, Dr.ssa Federica Calvi, Prof. Mario Panizza, Dott.ssa Giulia Squadrini, Prof. Giovanni Tosatti.

Revisori dei Conti: Dott. Fabrizio Buldrini, Prof.ssa Franca Cattelani, Prof.ssa Carla Fiori;
membro supplente: Prof. Giampiero Ottaviani.

Norme per l'accettazione degli articoli

Le comunicazioni sottomesse agli Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena per la pubblicazione, dopo che la Redazione abbia verificato la loro pertinenza con gli ambiti disciplinari della rivista, saranno sottoposte al giudizio di uno o due *referee* esterni, che valuteranno i lavori sia sotto l'aspetto dei contenuti sia sotto quello formale ed esprimeranno il loro parere vincolante circa l'accettabilità dei lavori stessi. Gli articoli presentati in inglese e gli *Abstract* saranno inoltre sottoposti a controllo linguistico da parte di docente madrelingua.

Settori disciplinari e relativi revisori scientifici

Meteorologia, Climatologia: Prof. Dino Zardi (Università di Trento), Dr. Paolo Frontero (ARPA Veneto)

Scienze della Terra: Prof. Claudio Tellini (Università di Parma), Dr. Alessandro Pasuto (CNR-IRPI, Padova)

Botanica, Agraria: Prof.ssa Claudia Angiolini (Università di Siena), Prof.ssa Laura Sadori (Sapienza Università di Roma)

Zoologia, Ecologia: Prof.ssa Annamaria Volpi Ghirardini (Ca' Foscari Università di Venezia), Prof. Vincenzo Vomero (Direttore Musei Scientifici di Roma)

Matematica: Prof. Sergio Invernizzi (Università di Trieste)

Fisica: Prof.ssa Marisa Michelini (Università di Udine)

Chimica, Scienze Farmaceutiche: Prof. Gabriele Caviglioli (Università di Genova)

Archeologia, Antropologia: Dr. Marco Bettelli (CNR-ICEVO, Roma), Prof. Alessandro Vanzetti (Sapienza Università di Roma)

Lingua Inglese: Prof.ssa Andrea Mary Lord (già Università di Modena e Reggio Emilia)



Associato alla Unione
Stampa Periodica Italiana

ISSN 0365 - 7027

Autorizzazione del Tribunale di Modena n. 387 del 10 agosto 1962

Direttore Responsabile: Giovanni Tosatti

Redazione: Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena

Via Università 4, 41121 MODENA, Italia

Codice Fiscale: 80016770366

sito web: www.socnatmatmo.unimore.it

e-mail: john.tosatti@gmail.com



Cesare Andrea Papazzoni*

Studio micropaleontologico dei fanghi delle Salse di Nirano

Riassunto

I fanghi estrusi dalle Salse di Nirano sono stati per la prima volta esaminati allo scopo di determinarne il contenuto in microfossili. L'analisi di 14 campioni prelevati da coni, polle e colate, più uno di confronto prelevato nella stessa area ma al di fuori della zona di attività lutivoma, ha permesso di isolare una fauna a foraminiferi (bentonici e planctonici) piuttosto ricca e diversificata, comprendente 97 specie e 50 generi diversi. Le associazioni fossili sono piuttosto omogenee e tutte compatibili con l'età plio-pleistocenica della Formazione delle Argille Azzurre che affiora al margine appenninico. I dati di questa prima analisi sembrano suggerire che la produzione dei fanghi avvenga entro un serbatoio relativamente superficiale.

Abstract

Preliminary micropalaeontological study of the muds of the Nirano mud volcanoes. A micropalaeontological analysis of the muds of the Nirano mud volcanoes was carried out in order to determine their microfossil content. Fourteen samples were taken from cones, level-pool mud vents and mud flows, whereas a fifteenth sample was collected for comparison outside the mud volcano area. Overall, they revealed a rich and diversified foraminiferal fauna (both benthic and planktonic), with 97 species and 50 different genera. The fossil assemblages are fairly homogeneous and all consistent with the Plio-Pleistocene age of the "Argille Azzurre" Formation cropping out at Pede-Appennines. Therefore, these data suggest that mud production takes place within a relatively superficial reservoir.

Parole chiave: *Foraminiferi bentonici, foraminiferi planctonici, Argille Azzurre, Pliocene, Pleistocene.*

Key words: *Benthic foraminifera, planktonic foraminifera, "Argille Azzurre" Formation, Pliocene, Pleistocene.*

* Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, Via G. Campi 103, 41125 MODENA; e-mail: cesareandrea.papazzoni@unimore.it.

1. Introduzione

Le Salse di Nirano rappresentano una delle più importanti manifestazioni del fenomeno dei vulcani di fango in Italia, con la prima documentazione risalente addirittura a Plinio il Vecchio (I secolo d.C.). Attualmente esse sono protette da una Riserva Naturale, istituita nel 1982 dalla Regione Emilia-Romagna.

Il Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Modena e Reggio Emilia, in collaborazione con l'Amministrazione comunale di Fiorano Modenese, ha intrapreso un progetto di studio interdisciplinare del complesso delle Salse di Nirano (Castaldini *et al.*, 2017 nel presente volume). All'interno di questo progetto rientra anche, per la prima volta, un'analisi del contenuto micropaleontologico dei fanghi delle Salse di Nirano.

2. Inquadramento geologico-stratigrafico

Le Salse di Nirano sono interamente contenute in un'area nella quale affiora unicamente la Formazione delle Argille Azzurre (FAA), di età compresa tra il Pliocene inferiore e il Pleistocene inferiore (Gasperi *et al.*, 2005). Poiché però i fluidi in risalita sono alimentati da rocce magazzino a profondità tuttora non identificata e non è esclusa la presenza di più serbatoi a diverse profondità, si deve considerare preliminarmente una possibile provenienza di microfossili anche dalle formazioni sottostanti.

Secondo Oppo *et al.* (cfr. Fig. 3C in Oppo *et al.*, 2013) Nirano si troverebbe su una struttura di sovrascorrimento, con le Unità Liguri e Subliguri (Giurassico-Oligocene) ed Epiliguri (Eocene-Burdigaliano) alla base della FAA; al di sotto delle Liguridi si trovano di nuovo unità mioceniche che Bonini (cfr. Fig. 2E in Bonini, 2008a) ascrive alla Formazione Marnoso-Arenacea (FMA). Secondo lo stesso Autore, i fluidi degli apparati lutivomi di Nirano potrebbero avere un serbatoio profondo (a circa 2 km) proprio entro la FMA, ed uno più superficiale (entro i 200-300 m) nelle formazioni della Successione Epiligure.

Tutte le formazioni sopra citate possono, in linea di principio, contribuire ad "inquinare" i fanghi in risalita con particelle, clasti e microfossili, se il serbatoio principale si trova a profondità significativa. Inoltre, data la sicura migrazione dei fluidi a partire da una ancora più profonda roccia madre, esiste la possibilità che materiali ancora più antichi possano essere contenuti nei fluidi in risalita.

3. Materiali e metodi

L'analisi micropaleontologica dei fanghi delle Salse di Nirano è stata eseguita allo scopo di verificare la presenza e la composizione delle associazioni a microfossili nella parte solida in sospensione entro i fluidi eiettati da coni e polle.

Sono stati prelevati campioni da diversi punti dell'area di studio, sia direttamente dai condotti di risalita dei fanghi, sia dalle colate superficiali. È stato inoltre prelevato un campione di confronto (NIR 03) vicino a Strada Riola, nei pressi di un fronte di cava abbandonato, a circa 1,9 km a nord dell'area delle Salse di Nirano, in Argille Azzurre non interessate da emissioni di fango. In totale sono stati esaminati 15 campioni (Fig. 1).

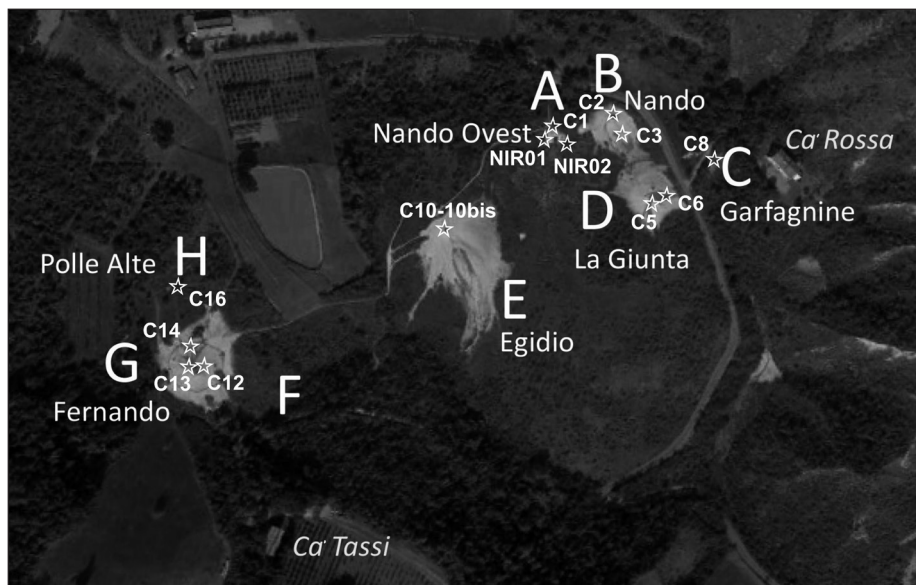


Fig. 1 – Ubicazione dei campioni studiati (base da Google Earth). Per la posizione del campione NIR03 si veda il testo.

Tutti i campioni sono stati trattati con perossido di idrogeno (H_2O_2), lavati e setacciati seguendo le tecniche standard per ottenere frazioni granulometriche utili al riconoscimento e separazione dei microfossili. La separazione e il riconoscimento dei microfossili hanno permesso di ottenere dati utili per l'interpretazione e di supporto alle altre ricerche in corso nell'area delle Salse. In ognuno dei campioni sono stati trovati microfossili in quantità sufficiente per ricostruire un'associazione confrontabile con gli altri campioni.

Per l'identificazione dei foraminiferi si è fatto riferimento principalmente ad Agip (1982).

5. Discussione e conclusioni

Secondo l'interpretazione di Bonini (2008a), le risalite di fluidi (acqua e idrocarburi) alle Salse di Nirano sarebbero da ricondurre a un serbatoio profondo, situato entro la Formazione Marnoso-Arenacea, composta principalmente da arenarie e siltiti di età miocenica. La presenza di sovrascorrimenti delle più antiche Unità Liguri e Subliguri (Giurassico-Oligocene) fungerebbe da copertura, interrotta dalle faglie inverse attraverso le quali i fluidi potrebbero risalire fino alle formazioni della Successione Epiligure (Eocene-Miocene) immediatamente sottostanti la Formazione delle Argille Azzurre, dove si troverebbe il serbatoio più superficiale, delimitato appunto dalle argille plio-pleistoceniche.

L'analisi micropaleontologica era quindi finalizzata a individuare la presenza di elementi estranei al Plio-Pleistocene, per ottenere indizi di eventuale risalita di materiale da profondità significative. Tuttavia, come sopra riportato, non è stato identificato alcun elemento sicuramente riferibile a età più antiche e quindi nessun indizio di mescolanza di materiale proveniente da profondità diverse.

In conclusione, lo studio micropaleontologico dei fanghi delle Salse di Nirano, eseguito per la prima volta in modo sistematico, anche se quantitativamente limitato, ha fornito dati preliminari interessanti che sembrano indicare la produzione di fango da serbatoi prevalentemente superficiali, entro le Argille Azzurre plio-pleistoceniche, cioè la formazione affiorante in loco, confermando le conclusioni preliminari di Accaino *et al.* (2007). Tale indicazione, tuttavia, risulta limitata dalla ridotta quantità di campioni esaminati, nonché dalla possibilità che la parte liquida sia risalita da profondità più elevate senza trascinare materiale solido (e quindi microfossili). Risulta perciò necessaria l'integrazione con i dati ottenuti in modo indipendente dall'analisi delle altre caratteristiche dei fluidi per giungere ad un modello coerente con tutte le osservazioni fin qui svolte.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Dott. Giovanni Ferrarini per il lavoro di separazione dei microfossili eseguito durante lo svolgimento della propria tesi di Laurea triennale in Scienze Geologiche. Un ringraziamento particolare va alla Dott.ssa Claudia Grillenzoni per la determinazione dei foraminiferi planctonici. Ringrazio infine il Prof. Stefano Conti per i preziosi suggerimenti riguardanti la geologia dell'area delle Salse.



Bibliografia generale

(a cura di tutti i partecipanti alla ricerca)

- AA.VV., 2012 – *Nirano, la sua storia*. Incontri Editrice, Sassuolo, 144 pp.
- AA.VV., 2016 – *Accordo per la realizzazione di studi ed indagini finalizzati alla definizione di un quadro conoscitivo utile alla fruizione in sicurezza dell'area integrale delle Salse di Nirano*. Relazione tecnico-scientifica sull'attività svolta (rapporto interno inedito), Comune di Fiorano Modenese, 186 pp.
- ACCAINO F., TINIVELLA U., BARADELLO L., BRATUS A., 2005 – *Risultati dei rilievi geofisici in località Sasso Streghe e Nirano*. Rapporto 79/2005 e 44/2005 GDL.
- ACCAINO F., BRATUS A., CONTI S., FONTANA D., TINIVELLA U., 2007 – *Fluid seepage in mud volcanoes of the northern Apennines: an integrated geophysical and geological study*. Journal of Applied Geophysics, **63**, pp. 90-101.
- A.G.I. (ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA), 1977 – *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*. Tipografia Nicoletti, Roma.
- AGIP, 1982 – *Foraminiferi padani (Terziario e Quaternario)*. 2ª ed., Agip S.p.A., 52 tavv., Milano.
- ALAGNA F., PAVIGNANI R., 2010 – *Nuovi strumenti di programmazione e regolamentazione per la gestione di due riserve naturali in Provincia di Modena: Salse di Nirano e Sassoguidano*. Geologia dell'Ambiente, n. **3**, pp. 22-26.
- ALBARELLO D., 2005 – *Mud volcanoes as natural strain meters: a working hypothesis*. In: G. Martinelli & B. Panahi (eds.) "Mud Volcanoes, geodynamics and seismicity", NATO Science Series IV, vol. **51**, Kluwer, pp. 239-249.
- ALBARELLO D., 2017 – *Misure sismiche nell'area delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- ALBARELLO D., LAPENNA V., MARTINELLI G., TELESCA L., 2003 – *Extracting quantitative dynamics from ²²²Rn gaseous emissions of mud volcanoes*. Environmetrics, **14**, pp. 63-71.
- ALBARELLO D., GULYIEV I., MARTINELLI G., PANAH B., TRAMUTOLI V., 2007 – *Strain field variations from ground-based and remote sensing monitoring of mud volcanoes gaseous emissions: a pilot NATO C.L.G. project*. Proc. International Workshop on "Natural cataclysms and global problems of modern civilization", Baku, September 24-27, 2007, pp. 377-381.
- ALBARELLO D., PALO M., MARTINELLI G., 2012 – *Monitoring methane emission of mud volcanoes by seismic tremor measurements: a pilot study*. Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES), **12**, pp. 3617-3629, doi: 10.5194/nhess-12-1-2012.
- ALLISON L.E., BERNSTEIN L., BOWER C.A., BROWN J.W., FIREMAN M., HATCHER J.T., HAYWARD H.E., PEARSON G.A., REEVE R.C., RICHARDS A., WILCOX L., 1954 – *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils*. In: L.A. Richards (ed.), United States Salinity Laboratory Staff, US Depart. of Agriculture, Washington, D.C.
- ANCEY C., JORROT H., 2001 – *Yield stress for particle suspensions within a clay dispersion*. Journ. of Rheology, **45**, pp. 297-320.
- ANGELONE M., GASPARINI C., GUERRA M., LOMBARDI S., PIZZINO L., QUATTROCCHI F., SACCHI E., ZUPPI G.M., 2004 – *Fluid geochemistry throughout the Sardinian Rift-Campidano Graben: fault segmentation, seismic quiescence of geochemically «active» faults and new constrains for the selection of the CO₂ storage sites*. Applied Geochemistry, **20**, pp. 317-340.
- ANNUNZIATELLIS A., CIOTOLI G., LOMBARDI S., NOLASCO F., 2003 – *Short- and long-term gas hazard: the release of toxic gases in the Alban Hills volcanic area (central Italy)*. Journ. Geoch. Exploration, **77**, pp. 93-108.
- ANNUNZIATELLIS A., BEAUBIEN S.E., BIGI S., CIOTOLI G., COLTELLA M., LOMBARDI S., 2008 – *Gas migration along fault systems and through the vadose zone in the Latera caldera (central Italy): Implications for CO₂ geological storage*. Internat. Journ. Greenhouse Gas Control, **2**(3), pp. 353-372.
- API RP 13-B1, 2014 – *Recommend Practice for Field Testing Water-Based Drilling Fluids*. 5th edition, American Petroleum Industry (API) Washington, D.C.
- ASTM D4373-02, 2002 – *Standard Test Method for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D422-63, 2007 – *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

- BALDOCCHI D.D., MEYERS T.P., 1991 – *Trace gas exchange above the floor of a deciduous forest. Evaporation and CO₂ flux*. Journal of Geophysical Research, **96**, pp. 7271-7285.
- BARBIERI G., 1947 – *Nuove osservazioni sulle salse emiliane*. Riv. Geogr. It., **54**, pp. 172-185.
- BAROZZINI E., BERTOGNA I., CASTALDINI D., DALLAI D., DEL PRETE C., CHIRIAC C., GORGONI C., ILIES D.C., SALA L., VALDATI J., 2004 – *Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano: Carta Turistico-Ambientale*. Comune di Fiorano, Assessorato Ambiente, Eliofofotecnica Barbieri, Parma.
- BAUBRON J.C., RIGO A., TOUTAIN J.P., 2002 – *Soil gas profiles as a tool to characterize active tectonic areas: the Jaut Pass example (Pyrenees, France)*. Earth and Planetary Science Letters, **196**, pp. 69-81.
- BEAUBIEN S., STRUTT M.H., JONES D.G., BAUBRON C., CARDELLINI C., LOMBARDI S., QUATTROCCHI F., PENNER L., 2003a – *D20 Report: soil gas surveys in the Weyburn oil field 2001-2003*. British Geological Survey, Commissioned Report no. CR/04/030.
- BEAUBIEN S.E., CIOTOLI G., LOMBARDI S., 2003b – *Carbon dioxide and radon gas hazard in the Alban Hills area (central Italy)*. Journ. Volcanol. Geotherm. Res., **123**, pp. 63-80.
- BERTACCHINI M. (a cura di), 2009 – *GEO-Benessere. La Geologia tra Salute e Wellness*. Edizioni Artestampa, Modena. 131 pp.
- BERTACCHINI M., GIUSTI C., PELLEGRINI M., TOSATTI G., 1999a – *Le Salse di Puianello*. In: "I Beni Geologici della Provincia di Modena", Dipart. Scienze della Terra, Università di Modena e Reggio E. - Assess. Difesa del Suolo e Tutela dell'Ambiente, Provincia di Modena, Artioli Ed., Modena, **41**, pp. 50-51.
- BERTACCHINI M., GIUSTI C., PELLEGRINI M., 1999b – *La Salsa della Cintora o Centora o di Montardone o di Rocca Santa Maria*. In: "I Beni Geologici della Provincia di Modena", Dipart. Scienze della Terra, Università di Modena e Reggio E. - Assess. Difesa del Suolo e Tutela dell'Ambiente, Provincia di Modena, Artioli Ed., Modena, **44**, p. 52.
- BERTOLANI M., 1980 – *Fiorano e il suo territorio*. Documenti e Ricerche del Comune di Fiorano Modenese, pp. 1-24.
- BERTRAMI R., CECCARELLI A., LOMBARDI S., 1984 – *L'elio dei gas del suolo nella prospezione geotermica*. Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrogr., **39**, pp. 331-342.
- BIANCONI G., 1840 – *Storia naturale dei terreni ardenti, dei vulcani fangosi, delle sorgenti infiammabili, dei pozzi idropinici e di altri fenomeni geologici operati dal gas idrogeno*. Tipografia Jacopo Marsigli, Bologna, 215 pp.
- BIASUTTI R., 1907 – *Le salse dell'Appennino settentrionale*. Mem. Geogr., **2**, pubbl. suppl. Riv. Geogr. It.
- BOCCALETTI M., BONINI M., CORTI G., GASPERINI P., MARTELLI L., PICCARDI L., SEVERI P., VANNUCCI G. con contributi di MORATTI G. & SARTI G., 2004 – *Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000*. SELCA, Firenze.
- BOCCONE P., 1684 – *Osservazioni naturali attorno i fuochi sotterranei osservati nel Modenese*. Bologna.
- BODVARSSON G., 1970 – *Confined fluids as strain meters*. Journ. Geophys. Res., **7**, pp. 2711-2718.
- BONAPOSTA D., DE NARDO M.T., 2017 – *Attivazioni storicamente documentate delle salse del margine appenninico modenese e reggiano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- BONAZZI U., TOSATTI G., 1999 – *Le Salse di Nirano*. In: "I Beni Geologici della Provincia di Modena", Dipart. Scienze della Terra, Università di Modena e Reggio E. - Assess. Difesa del Suolo e Tutela dell'Ambiente, Provincia di Modena, Artioli Ed., Modena, **40**, pp. 48-50.
- BONAZZI U., BERTACCHINI M., GIUSTI C., PELLEGRINI M., 1999 – *La Salsa di Montegibbio*. In: "I Beni Geologici della Provincia di Modena", Dipart. Scienze della Terra, Università di Modena e Reggio E. - Assess. Difesa del Suolo e Tutela dell'Ambiente, Provincia di Modena, Artioli Ed., Modena, **45**, pp. 52-53.
- BONINI M., 2007 – *Interrelations of mud volcanism, fluid venting, and thrust-anticline folding: Examples from the external northern Apennines (Emilia-Romagna, Italy)*. J. Geophys. Res., **112**, B08413, doi: 10.1029/2006JB004859.
- BONINI M., 2008a – *Elliptical mud volcano caldera as stress indicator in an active compressional setting (Nirano, Pede-Apennine margin, northern Italy)*. Geology, **36**, pp. 131-134.
- BONINI M., 2008b – *I vulcani di fango emiliani: retrospettiva e prospettive*. Geotitalia, **22**, pp. 12-21.
- BONINI M., 2009 – *Mud volcano eruptions and earthquakes in the Apennines, Italy*. Tectonophysics, **474**(3), pp. 723-735.
- BONINI M., 2012 – *Mud volcanoes: Indicators of stress orientation and tectonic controls*. Earth-Science Reviews, **115**, pp. 121-152.
- BONINI M., 2013 – *Fluid seepage variability, across the external Northern Apennines (Italy): structural controls with seisomotectonic and geodynamic implications*. Tectonophysics, **590**, pp. 151-174.

- BORELLI C., FANTONI L. 2010 – *Relazione geologica e indagine geognostica in località Ca' Rossa del Comune di Fiorano Modenese*. Relazione tecnica inedita, Servizio Lavori Pubblici del Comune di Fiorano Modenese.
- BOSCHETTI T., TOSCANI L., SHOUAKAR-STASH O., IACUMIN P., VENTURELLI G., MUCCHINO C., FRAPE S.K., 2011 – *Salt Waters of the Northern Apennine Foredeep Basin (Italy): Origin and Evolution*. *Aquat. Geochem.*, **17**, pp. 71-108, doi: 10.1007/s10498-010-9107-y.
- BRADY B.T., RICE R.S., 1977 – *Helium determinations as an exploration technique at the Ambrosia Lake uranium district, McKinley County, New Mexico*. Open-File Report, pp. 77-669.
- BREDEHOEFT J.D., 1967 – *Response of well-aquifer systems to Earth tides*. *J. Geophys. Res.*, **72**, pp. 3075-3087.
- BROMBACH T., HUNZIKER J.C., CHIODINI G., CARDELLINI C., 2001 – *Soil diffuse degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki Plain, Nisyros (Greece)*. *Geophysical Research Letters*, **28**(1), pp. 69-72.
- BROWN A., 2000 – *Evaluation of possible gas micro-seepage mechanism*. *AAPG Bulletin*, **184**(11), pp. 1775-1789.
- CALEGARI M., CANESTRINI G., 1867 – *Storia della salsa di sopra presso Sassuolo, della sorgente della Salvarola e dei pozzi oleiferi di Montegibio*. *Annuario Soc. Nat. in Modena*, **2**, pp. 147-168.
- CAMERANA E., 1926 – *Le manifestazioni di idrocarburi dell'Emilia*. *Mem. Descr. Carta Geol. It.*, **20**, pp. 21-69.
- CANESTRINI G., 1865 – *Il petrolio nel Modenese e in alcune località attigue del Reggiano*. Appendice del giornale "Il Panaro" n. 275, 1° dicembre 1865, Modena.
- CANEVA A., 1958 – *Ricerche geofisiche sulla Salsa di Regnano (Prov. di Reggio Emilia)*. *Geofis. Meteorol.*, **6**, pp. 71-84.
- CANNAROZZO R., CUCCHIARINI L., MESCHIERI W., 2009 – *Misure, rilievo, progetto*. Vol. 2, Zanichelli, Bologna, 576 pp.
- CAPASSO G., INGUAGGIATO S., 1998 – *A simple method for the determination of dissolved gases in natural water: an application to thermal water from Vulcano Island*. *Applied Geochemistry*, **13**, pp. 631-642.
- CAPOZZI R., PICOTTI V., 2002 – *Fluid migration and origin of a mud volcano in the northern Apennines (Italy): the role of deeply rooted normal faults*. *Terra Nova*, **14**, pp. 363-370.
- CARDELLINI C., CHIODINI G., FRONDI F., 2003 – *Application of stochastic simulation to CO₂ flux from soil: mapping and quantification of gas release*. *Journ. Geophys. Research*, **108** (B9), pp. 2425-2438.
- CAROBENE L., GASPERI G., 2008 – *Vulcanetti di fango a Nirano (Modena)*. *Geoitalia*, **25**, pp. 42-43.
- CARPENITO G., 2007 – *Indagini archeometriche di ceramiche "d'impasto" provenienti dalla terramara di Gorzano (Modena)*. Tesi di dottorato di ricerca, Università di Modena e Reggio Emilia, inedita.
- CASOLI S., 2001 – *Su un fenomeno naturale descritto da Plinio (nat. 2, 199) accaduto nel territorio modenese*. In: L. Quilici & S. Quilici "Urbanizzazione delle campagne nell'Italia antica", pp. 63-70, L'Erma di Bretschneider, Roma.
- CASTALDINI D., CHIRIAC C., ILIES D.C. con la collaborazione di BAROZZINI E., 2003 – *Documenti digitali per la conoscenza integrata dei Geositi: l'esempio della Riserva Naturale delle Salse di Nirano*. In: S. Piacente & G. Poli (a cura di) "La Memoria della Terra. La Terra della Memoria", Regione Emilia-Romagna, Ed. L'inchiestroblu, Bologna, pp. 121-127.
- CASTALDINI D., VALDATI J., ILIES D.C., CHIRIAC C. with contributions by BERTOGNA I., 2005 – *Geo-Tourist Map of the Natural Reserve of Salse di Nirano (Modena Apennines), Northern Italy*. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, **18**(1), Special Volume, pp. 245-255.
- CASTALDINI D., CONTI S., CONVENTI M., DALLAI D., DEL PRETE C., FAZZINI M., FONTANA D., GORGONI C., GHINOI A., RUSSO A., SALA L., SERVENTI P., VERRI D., BARBIERI M., 2007 – *Le Salse di Nirano*. CD ROM, Enciclopedia Multimediale, Comune di Fiorano Modenese.
- CASTALDINI D., VALDATI J., ILIES D.C., 2009 – *Geomorphological and Geotourist Maps of the Upper Tagliole Valley (Modena Apennines, Northern Italy)*. *Mem. Descr. Carta Geol. It.*, **86**, pp. 29-38.
- CASTALDINI D., CORATZA P., 2011 – *Accordi per la "Realizzazione di studi e documenti scientifici per la promozione turistico-ambientale della Riserva Naturale delle Salse di Nirano"*. Rapporto Interno, Comune di Fiorano Modenese.
- CASTALDINI D., CONVENTI M., CORATZA P., LIBERATOSCIOLI E., con il contributo di DALLAI D., SALA L., BULDRINI F., 2011a – *La "Nuova" Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Appennino modenese, Italia settentrionale)*. *Bollettino A.I.C.* nr. **143**/2011, ISSN 00449733, pp. 275-289.

- CASTALDINI D., CONVENTI M., CORATZA P., DALLAI D., LIBERATOSCIOLI E., SALA L., BULDRINI F., 2011b – *Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano. Comune di Fiorano Modenese*. Tipolitografia Notizie, Modena, ISBN 978-88-906052-0-8.
- CASTALDINI D., CORATZA P., LIBERATOSCIOLI E., TOSATTI G., 2013 – *Accordo per l'implementazione di studi e documenti scientifici quali indagini conoscitive propedeutiche alla redazione di progetti di sviluppo per la Riserva Naturale delle Salse di Nirano e propedeutiche alla redazione di progetti di risanamento ambientale*. Rapporto Interno, Comune di Fiorano Modenese.
- CASTALDINI D., CORATZA P., 2017 – *Mud volcanoes in the Emilia-Romagna Apennines: small landforms of outstanding scenic and scientific value*. In: M. Soldati & M. Marchetti (eds.) "Landscapes and Landforms of Italy", Springer International Publishing AG, pp. 225-234, doi: 10.1007/978-3-319-26194-2.
- CASTALDINI D., CONVENTI M., 2017 – *Inquadramento geografico e caratteristiche delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- CASTALDINI D., FIORONI C., SOLDATI M., 2017a – *I vulcani di fango più spettacolari d'Italia: visita guidata alle Salse di Nirano (Appennino modenese)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **102** (2014), pp. 7-16, ISSN 0536-0242.
- CASTALDINI D., CORATZA P., DE NARDO M.T., 2017b – *Geologia e geomorfologia del campo delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- CHESTER R., HUGHES M.J., 1967 – *A chemical technique for the separation of ferro-manganese minerals, carbonate minerals and adsorbed trace elements from pelagic sediments*. Chemical Geology, **2**, pp. 249-262.
- CHILINGARIAN G.C., VORABUTR P., 1981 – *Drilling and Drilling Fluids*. Elsevier, Amsterdam.
- CHIODINI G., COMODI P., GIAQUINTO S., 1988 – *Ammonia and boric acid in steam and water. Experimental data from geothermal wells in the Phlegrean Fields, Naples, Italy*. Geothermics, **17**, pp. 711-718.
- CHIODINI G., FRONDIANI F., PONZIANI F., 1995 – *Deep structures and carbon dioxide degassing in Central Italy*. Geothermics, **24**, pp. 81-94.
- CHIODINI G., FRONDIANI F., CARDELLINI C., PARELLO C., PERUZZI L., 2000 – *Rate of diffuse carbon dioxide. Earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of the central Apennines, Italy*. Journal of Geophysical Research, **105** (B4), pp. 8423-8434.
- CHIODINI G., FRONDIANI F., 2001 – *Carbon dioxide degassing from the Albani Hills volcanic region, central Italy*. Chemical Geology, **177**, pp. 67-83.
- CHIODINI G., CALIRO S., CARDELLINI C., FRONDIANI F., INGUAGGIATO S., MATTEUCCI F., 2011 – *Geochemical evidence for and characterization of CO₂ rich gas sources in the epicentral area of the Abruzzo 2009 earthquakes*. Earth Planet. Sci. Lett., **304**, pp. 389-398.
- CIOTOLI G., GUERRA M., LOMBARDI S., VITTORI E., 1998 – *Soil gas survey for tracing seismogenic faults: a case study in the Fucino Basin, Central Italy*. Journal of Geophysical Research, **103**, pp. 23781-23794.
- CIOTOLI G., ETIOPE G., GUERRA M., LOMBARDI S., 1999 – *The detection of concealed faults in the Ofanto Basin using the correlation between soil-gas fracture surveys*. Tectonophysics, **301**, pp. 321-332.
- CIOTOLI G., LOMBARDI S., MORANDI S., ZARLENGA F., 2005 – *A multidisciplinary statistical approach to study the relationships between helium leakage and neo-tectonic activity in a gas province. The Vasto Basin, Abruzzo-Molise (central Italy)*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., **88**, pp. 355-372.
- CIOTOLI G., LOMBARDI S., ANNUNZIATELLIS A., 2007 – *Geostatistical analysis of soil gas data in a high seismic intermontane basin: Fucino Plain, central Italy*. Journ. Geophys. Res., **112**, B05407, doi: 10.1029/2005JB004044.
- CIPRIANI A., LUGLI F., MARTINELLI G., SCIARRA A., 2017 – *Analisi isotopiche (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr; δ¹⁸O, δD e trizio) delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- CONEN F., SMITH K.A., 2000 – *An explanation of linear increases in the gas concentration under closet chambers used to measure gas exchange between soils and the atmosphere*. European Journal of Soil Science, **51**, pp. 111-117.
- CONTI A., SACCHI E., CHIARLE M., MARTINELLI G., ZUPPI G.M., 2000 – *Geochemistry of the formation waters in the Po Plain (Northern Italy): an overview*. Appl. Geoch., **15**, pp. 51-65.
- CONTI S., FONTANA D., GUBERTINI A., BUSSI P., 2003 – *The Modena-Reggio mud volcanoes (northern Italy): an actualistic model for the interpretation of Miocene authigenic carbonates related to fluid expulsion*. GeoActa, vol. **2**, pp. 167-180, Bologna.
- COPPI F., 1875 – *Brevi note sulle Salse modenesi*. Bollettino del R. Comitato Geologico, **6**, n. 7-8, pp. 1-7.
- CRAIG H., 1961 – *Isotopic variations in meteoric waters*. Science, **133**, pp. 1702-1703.

- DE BUOI L., 1937 – *Su alcuni fenomeni eruttivi osservati nelle salse di Nirano Modenese e considerazioni ed ipotesi sul meccanismo eruttivo delle salse emiliane*. Reggio Emilia.
- DE LA GROVE MENARD F.J.B., 1818 – *Description de l'état des salses du Modenais dans l'été de l'année 1814; indications d'effets semblables qui ont été observés dans d'autres contrées; définition générale et rapprochement*. Journal de Physique, Vol. LXXXVI, Paris.
- DELISLE G., TESCHNER M., FABER E., PANAH B., GULIEV I., ALIEV C., 2010 – *First approach in quantifying fluctuating gas emissions of methane and radon from mud volcanoes*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, M 93, pp. 211-224.
- DEL VECCHIO U., DAMIANO N., SANTAGATA T., 2017 – *Rilievo 3D in grotta: comparazione di diverse metodologie*. Atti III Convegno Regionale di Speleologia “Campania Speleologica 2017”, Napoli.
- DI PIETRO P. (a cura di), 1985 – *Lazzaro Spallanzani: viaggi nell'Appennino modenese e reggiano*. Boni, Bologna, 266 pp.
- DURANTE C., BASCHIERI C., BERTACCHINI L., BERTELLI D., COCCHI M., MARCHETTI A., MANZINI D., PAPOTTI G., SIGHINOLFI S., 2015 – *An analytical approach to Sr isotope ratio determination in Lambrusco wines for geographical traceability purposes*. Food Chemistry, **173**, pp. 557-563, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.10.086.
- EHRlich S., BEN-DOR L., HALICZ L., 2004 – *Precise isotope ratio measurement by MCICP-MS without matrix separation*. Canadian Journal of Analytical Sciences and Spectroscopy, **49**, no. 3, pp. 136-147.
- ETIOPE G., 2003 – *A new estimate of global methane flux to the atmosphere from onshore and shallow submarine mud volcanoes*. XVI INQUA Congress, Reno, July 25, 2003, Geological Society of America.
- ETIOPE G., LOMBARDI S., 1995 – *Evidence for radon transport by carrier gas through faulted clays in Italy*. Journ. Radioanalyt. Nucl. Chem., **193**(2), pp. 291-300.
- ETIOPE G., MARTINELLI G., CARACUSI A., ITALIANO F., 2007 – *Methane seeps and mud volcanoes in Italy: gas origin, fractionation and emission to the atmosphere*. Geophysical Research Letters, **34**, doi: 10.1029/2007GL030341.
- ETIOPE G., FEYZULLAYEV A., BACIU C.L., 2009 – *Terrestrial methane seeps and mud volcanoes: a global perspective of gas origin*. Marine and Petroleum Geology, **26**, pp. 333-344.
- FERRARI C., VIANELLO G., 1985 – *Le salse dell'Emilia-Romagna*. In: P. Testoni (a cura di) “Collana naturalistica”, Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo, Regione Emilia-Romagna, Bologna, 148 pp.
- FERRARINI G., 2015 – *Studio micropaleontologico dei prodotti dell'attività dei vulcani di fango delle Salse di Nirano (Fiorano Modenese, MO)*. Tesi di Laurea triennale (inedita) in Scienze Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, a.a. 2014-15, Relatore Dr. Cesare A. Papazzoni, Correlatori Prof. D. Castaldini e Dr. C. Grillenzoni, 110 pp.
- FERRETTI A., 1878 – *Sopra i vulcani di fango e le argille scagliose del Modenese*. Bollettino del R. Comitato Geologico, **5-6**, pp. 174-187.
- FRASSONI A., 1660 – *De thermarum Montis Gibii natura, usu, atque praestantia*. Tractatus, Mutinae.
- FREHNER M., LUPI M., 2014 – *Earthquake-induced seismic tremor explained by Krauklis wave resonance in fractured reservoir rocks: a case study of Salse di Nirano mud volcanic field (Italy)*. EGU General Assembly, April 27 - May 2 2014, Vienna.
- FREHNER M., RITA SHIH P.J., LUPI M., 2014 – *Initiation of Krauklis waves by incident seismic body waves: numerical modeling, laboratory perspectives, and application for fracture-size estimation*. SEG Technical Program Expanded Abstracts, pp. 3422-3427, doi: 10.1190/segam2014-0144.
- FUCHS K., 1876 – *Les volcans et les tremblements de terre*. Paris, p. 168.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M., LABATE D., 1989 – *Evoluzione plio-quadernaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla Carta geologica*. Mem. Soc. Geol. It., **39** (1987), pp. 375-431.
- GASPERI G., BETTELLI G., PANINI F., PIZZIOLLO M., BONAZZI U., FIORONI C., FREGNI P., VAIANI S.C., 2005 – *Note Illustrative e Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 219 Sassuolo*. SELCA, Firenze.
- GEO MEDIA, 2017 – *Via dei Vulcani di Fango. Carta escursionistica (scala 1:25.000)*. Grafiche Sagi, Bagnolo in Piano (RE).
- GNFGF (GRUPPO NAZ. GEOGRAF. FISICA E GEOMORF.), 1987 – *Cartografia della pericolosità connessa ai fenomeni di instabilità dei versanti*. Boll. Soc. Geol. It., **196**, pp. 199-221.
- GORGONI C., 1988 – *La previsione dei terremoti*. In: “Rotary International 207° Distretto”, n. **11**, maggio 1988.
- GORGONI C., 1998 – *Le salse di Nirano e le altre salse emiliane ed acque salate padane. Geochimica, genesi ed importanza per la previsione sismica*. Comune di Fiorano Modenese, 135 pp.

- GORGONI C., 2003 – *Le salse di Nirano e le altre salse emiliane. I segreti di un fenomeno tra mito e realtà*. Comune di Fiorano Modenese, Tip. ABC, Sesto Fiorentino (FI), 128 pp.
- GORGONI C., LOMBARDI S., MARTINELLI G., SIGHINOLFI G.P., 1987 – *Fluidi di origine profonda nelle salse emiliano-romagnole come indicatori di eventi sismici*. Convegno Soc. Geol. It., Modena, 25-28 maggio 1987.
- GORGONI C., BONORI O., LOMBARDI S., MARTINELLI G., SIGHINOLFI G.P., 1988 – *Radon and helium anomalies in mud volcanoes from Northern Apennines (Italy). A tool for earthquake prediction*. *Geochemical Journal*, **22**, pp. 265-273.
- GOVI S., 1906 – *Appunti su alcune salse e fontane ardenti della Provincia di Modena*. *Rivista Geografica Italiana*, **13**, pp. 425-431.
- GOVI S., 1908 – *Di alcune salse delle province di Modena e Reggio*. *Rivista Geografica Italiana*, **15**, pp. 265-280.
- GRASSA F., CAPASSO G., FAVARA R., INGUAGGIATO S., FABER E., VALENZA M., 2004 – *Molecular and isotopic composition of free hydrocarbon gases from Sicily, Italy*. *Geophysical Research Letters*, **31**, L06607, doi: 10.1029/2003GL019362.
- GRUPPO DI LAVORO CPTI, 1999 – *Catalogo parametrico di terremoti italiani*. ING-GNDT-SGA-SSN, Bologna, 88 pp. (versione disponibile sul sito web).
- GUIDOBONI E. (a cura di), 1989 – *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea: storia, archeologia, sismologia*. Istituto Nazionale di Geofisica - Storia Geofisica Ambiente, Bologna, 766 pp.
- HELLER C., BLUMENBERG M., KOKOSCHKA S., WREDE C., HOPPERT M., TAVIANI M., REITNER J., 2011 – *Geomicrobiology of Fluid Venting Structures at the Salse di Nirano Mud Volcano Area in the Northern Apennines (Italy)*. *Earth Sciences*, **131**, pp. 189-200, Springer-Verlag, doi: 10.1007/978-3-642-10415-2_14.
- HELLER C., BLUMENBERG M., HOPPERT M., TAVIANI M., REITNER J., 2012 – *Terrestrial mud volcanoes of the Salse di Nirano (Italy) as a window into deeply buried organic-rich shales of Plio-Pleistocene age*. *Sedimentary Geology*, vol. **263-264**, pp. 202-209.
- HERMANSSON H.P., AKERBLOM G., CHYSSLER J., LINDEN A., 1991 – *Geogas: a Carrier or a Tracer*. SKN Report no. **51**, National Board for Spent Nuclear Fuel, Stockholm, pp. 1-66.
- HIGGINS G.E., SAUNDERS J.B., 1974 – *Mud volcanoes - their nature and origin*. *Verh. Naturforsch. Ges.*, **84**, Basel, pp. 101-152.
- HINKLE M., 1994 – *Environmental conditions affecting concentrations of He, CO₂, O₂ and N₂ in soil gases*. *Appl. Geochem.*, **9**, pp. 53-63.
- HUTCHINSON G.L., LIVINGSTON G.P., HEALY R.W., STRIEGL R.G., 2000 – *Chamber measurement of surface-atmosphere trace gas exchange: numerical evaluation of dependence on soil, interfacial layer and source/sink properties*. *Journal of Geophysical Research*, **105** (D7), pp. 8865-8875.
- INGV (ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA), 2017 – *Terremoti*. Sito web: <http://www.ingv.it/>.
- ITALIANO F., LIOTTA M., MARTELLI G., MARTINELLI M., PETRINI R., RIGGIO A., RIZZO A.L., SLEJKO F., STENNI B., 2012 – *Geochemical features and effects on deep-seated fluids during the May-June 2012 southern Po Valley seismic sequence*. *Ann. Geophys.*, **55**(4), pp. 815-821, doi: 10.4401/ag-6151.
- JONES D.G., BAUBIEN S., STRUTT M.H., BAUBRON C., CARDELLINI C., LOMBARDI S., QUATTROCCHI F., PENNER L., 2003 – *Additional Soil Gas Monitoring at the Weyburn unit 2003*. Task 2.8 Report. British Geological Survey, Commissioned Report CR/ 03/326, EC Project Weyburn, Contract no. ENK5-2000-00304, EC (Sustainable Development and Energy) Brussels, Belgium.
- JONES D.G., BAUBIEN S., BAUBRON C., CINTI D., DAVIS J.R., EMERY C., FASCETTI A., LOMBARDI S., MICHEL K., MORGANTINI N., PENNER L., QUATTROCCHI F., STRUTT M.H., 2005 – *Continued soil gas monitoring at the Weyburn Unit in 2004*. British Geological Survey, Commissioned Report no. CR/05/033, 68 pp.
- JONSTRABIZER P., 1970 – *Determinazione rapida di calcite e dolomite per via gasvolumetrica nei sedimenti*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **89**, pp. 401-413.
- KICKLIGHTER D.W., MELILLO J.M., PETERJOHN W.T., RASTETTER E.B., MCGUIRE A.D., STEUDLER P.A., 1994 – *Aspects of spatial and temporal aggregation in estimating regional carbon dioxide fluxes from temperate forest soils*. *Journal of Geophysical Research*, **99**, pp. 1303-1315.
- KING C.Y., ZHANG W., KING B.S., 1993 – *Radon anomalies on three kind of faults in California*. *Pure and Applied Geophysics*, **141**, pp. 111-124.
- KLUSMAN R.W., 1993 – *Soil gas and related methods for natural resources exploration*. Wiley, New York, 483 pp.
- KOPF A., 2002 – *Significance of mud volcanism*. *Review of Geophysics*, **40**(2), pp. 2-52.

- KOPF A., DELISLE G., FABER E., PANAHİ B., ALIYEV C.S., GULIYEV I., 2010 – *Long-term in situ monitoring at Dashgil mud volcano, Azerbaijan: a link between seismicity, pore pressure transients and methane emission*. Internat. Journ. Earth Sci. (Geol. Rundsch.), **99** (Suppl. 1), pp. 227-240.
- LIBERATOSCIOLI E., CASTALDINI D., CONVENTI M., CORATZA P., 2011 – *Elaborazioni GIS 3D per la lettura del territorio: un esempio per la Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Appennino modenese)*. Atti 15^a Conferenza Nazionale ASITA, Reggio di Colorno (PR), 15-18 novembre 2011, pp. 1409-1417.
- LOMBARDI S., DI FILIPPO M., ZANTEDESCHI L., 1984 – *Helium in the Phlegrean Fields soil gases*. July 20th-26th, September 19th-25th, Bull. Volcanol., **47**, pp. 259-265.
- LOMBARDI S., VOLTATTORNI N., 2010 – *Rn, He and CO₂ soil gas geochemistry for the study of active and inactive faults*. Appl. Geochem., **25**, pp. 1206-1220.
- LONGINELLI A., SELMO E., 2003 – *Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map*. Journ. Hydrology, **270**, pp. 75-88.
- LORENZI A., 1902 – *Intorno ad alcune salse del Modenese*. Rivista Geografica Italiana, **9**, pp. 409-506.
- LUGLI F., CIPRIANI A., PERETTO C., MAZZUCHELLI M., BRUNELLI D., 2017 – *In situ high spatial resolution ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratio determination of two Middle Pleistocene (c.a. 580 ka) Stephanorhinus hundsheimensis teeth by LA-MC-ICP-MS*. International Journal of Mass Spectrometry, **412**, pp. 38-48, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijms.2016.12.012>.
- LUPI M., FUCHS F., PACHECO J.F., 2014 – *Fault reactivation due to the M 7.6 Nicoya earthquake at the Turrialba-Irazú volcanic complex, Costa Rica: effects of dynamic stress triggering*. Geophys. Res. Lett., **41**(12), pp. 4142-4148.
- LUPI M., SUSKI RICCI B., KENKEL J., RICCI T., FUCHS F., MILLER S.A., KEMNA A., 2016 – *Subsurface fluid distribution and possible seismic precursory signal at the Salse di Nirano mud volcanic field, Italy*. Geophys. Journ. Internat., **204**(2), pp. 907-917, doi: 10.1093/gji/ggv454.
- MACCAFERRI A., 2016 – *Relazione geologica inerente un modesto movimento franoso interessante un'area ricompresa nella Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano*. Relazione geologica inedita, Comune di Fiorano Modenese.
- MACINI P., MESINI E., 2017 – *Indagini sperimentali sulle caratteristiche reologiche di alcuni fanghi emergenti dalle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- MALAGOLI M., 1883 – *Bibliografia geologica e paleontologica della Provincia di Modena*. Atti Soc. Nat. di Modena, **17**, pp. 165-218.
- MAMYRIN B.A., TOLSTIKHIN I.N., 1984 – *Helium Isotopes in Nature*. Elsevier, Amsterdam, ISBN 9781483289809.
- MANCINI C., QUATTROCCHI F., GUADONI C., PIZZINO L., PORFIDIA B., 2000 – *²²²Rn study throughout different seismotectonical areas: comparison between different techniques for discrete monitoring*. Annali di Geofisica, **43**, pp. 1-28.
- MANGA M., BRUMM M., RUDOLPH M.L., 2009 – *Earthquake triggering of mud volcanoes*. Marine and Petroleum Geology, **26**, pp. 1785-1798.
- MANGA M., BONINI M., 2012 – *Large historical eruptions at subaerial mud volcanoes, Italy*. Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., **12**, pp. 3377-3386.
- MARTINELLI G., 1999 – *Mud volcanoes of Italy: a review*. G. Geol., **61**, pp. 107-113.
- MARTINELLI G., FERRARI G., 1991 – *Earthquake forerunners in a selected area of Northern Italy: recent developments in automatic geochemical monitoring*. Tectonophysics, **193**, pp. 397-410.
- MARTINELLI G., DADOMO A., 2003 – *Geochemical model of mud volcanoes from reviewed worldwide data*. In: G. Martinelli & B. Panahi (eds.) "Mud Volcanoes, Geodynamics and Seismicity", Proc. NATO Advanced Research Workshop on Mud Volcanism, Geodynamics and Seismicity, Baku, pp. 211-220.
- MARTINELLI G., JUDD A., 2004 – *Mud volcanoes of Italy*. Geological Journal, **39**, pp. 49-61.
- MARTINELLI G., DADOMO A., 2017 – *Misura in continuo di temperatura e livello del fango in una emissione selezionata delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- MARTINELLI G., ALBARELLO D., MUCCIARELLI M., 1995 – *Radon emission from mud volcanoes in Northern Italy: possible connection with local seismicity*. Geophys. Res. Lett., **22**(15), pp. 1989-1992.
- MASOTTI G., 2007 – *Progetto preliminare di ristrutturazione edilizia di fabbricati dismessi siti in Fiorano Modenese, fraz. Spezzano, Loc. Ca' Rossa*. Relazione geologica-geotecnica (inedita), CD rom.
- MAZZINI A., SVENSEN H., ETIOPE G., ONDERDONK N., BANKS D., 2011 – *Fluid origin, gas fluxes and plumbing system in the sediment-hosted Salton Sea Geothermal System (California, USA)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **205**, pp. 67-83.

- McARTHUR J.M., HOWARTH R.J., BAILEY T.R., 2001 – *Strontium isotope stratigraphy: LOWESS version 3, best fit to the marine Sr-isotope curve for 0-509 Ma and accompanying look-up table for deriving numerical age*. *Journ. of Geology*, **109**(2), pp. 155-170.
- MERCALLI G., 1883 – *Vulcani e fenomeni vulcanici in Italia*. Parte terza, Milano.
- MILLER R.O., KISSEL D.E., 2010 – *Comparison of soil pH methods on soils of North America*. *Soils Science Society of American Journal*, **74**, pp. 310-316.
- MINISSALE A., MAGRO G., MARTINELLI G., VASELLI O., TASSI F., 2000 – *A fluid geochemical transect in the northern Apennines (central-northern Italy): fluid genesis and migration and tectonic implications*. *Tectonophysics*, **319**, pp. 199-222.
- MUCCHI A.M., 1966 – *Il fenomeno delle salse e le manifestazioni del Modenese*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **97**, pp. 1-31.
- MUCCHI A.M., 1968 – *Le salse del Modenese e del Reggiano*. *L'Universo*, **48**(3), pp. 421-436.
- NGUYEN Q.D., BOGER D.V., 1992 – *Measuring the fluid properties of yield stress fluids*. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **24**, pp. 47-88.
- NORMAN J.M., GARCIA R., VERMA S.B., 1992 – *Soil surface CO₂ fluxes and the carbon budget of a grassland*. *Journal of Geophysical Research*, **97**, pp. 18845-18853.
- NORMAN J.M., KUCHARIK C.J., GOWER S.T., BALDOCCHI D.D., CRILL P.M., RAYMENT M., SAVAGE K., STRIEGL R.G., 1997 – *A comparison of six methods for measuring soil surface carbon dioxide fluxes*. *Journal of Geophysical Research*, **102**, pp. 28771-28777.
- OPPO D., 2011 – *Studio dei vulcani di fango per la definizione della migrazione dei fluidi profondi*. Dottorato di ricerca in Scienze della Terra, XXIV ciclo, 207 pp.
- OPPO D., CAPOZZI R., PICOTTI V., 2013 – *A new model of the petroleum system in the Northern Apennines, Italy*. *Marine and Petroleum Geology*, **48**, pp. 57-76.
- OPPO D., CAPOZZI R., PICOTTI V., PONZA A., 2015 – *A genetic model of hydrocarbon-derived carbonate chimneys in shelf fine-grained sediments: The Enza River field, Northern Apennines (Italy)*. *Marine and Petroleum Geology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.03.002>.
- OPPO D., VIOLA I., CAPOZZI R., 2017 – *Fluid sources and stable isotope signatures in authigenic carbonates from the Northern Apennines, Italy*. *Marine and Petroleum Geology*, **86**, pp. 606-619.
- PALLASSER R.J., 2000 – *Recognizing biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}C$ compositions of gas components*. *Organic Geochemistry*, **31**, pp. 1363-1373.
- PANIZZA M., 2007 – *Geomorfologia*. Pitagora Ed. (3^a ediz.), Bologna, 368 pp., ISBN 8837116578.
- PANTANELLI D., SANTI V., 1896 – *L'Appennino modenese*. Ed. L. Cappelli, Rocca San Casciano, Ristampa 1996, Ed. Iaccheri, Pavullo nel Frignano.
- PAPAZZONI C.A., 2017 – *Studio micropaleontologico dei fanghi delle Salse di Nirano*. *Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **148** (nel presente volume).
- PAPOTTI D., 2002 – *Riflessioni preliminari ad una standardizzazione della simbologia per l'escursionismo*. *Bollettino dell'A.I.C.*, n. **114-115**, pp. 55-66.
- PELLEGRINI M., BRAZZOROTTO C., FORTI P., FRANCAVILLA F., RABBI E., 1982 – *Idrogeologia del margine pede-appenninico emiliano-romagnolo*. In: G. Cremonini & F. Ricci Lucchi (a cura di) "Guida alla geologia del margine appenninico-padano", Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It., Bologna, pp. 183-189.
- PELLEGRINI G.B., CARTON A., CASTALDINI D., CAVALLIN A., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., GENTILI B., LAURETI L., PRESTININZI A., RODOLFI G., SAURO U., SORRISO VALVO M., SPAGNA V., 1993 – *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, **16**, pp. 129-152, Torino.
- PIACENTINI T., CASTALDINI D., CORATZA P., FARABOLLINI P., MICCADEI E., 2011 – *Geotourism: Some Examples in Northern-Central Italy*. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, IV(2), vol. **8**, pp. 240-262.
- PILO M., 1882 – *Le salse dell'Emilia - saggio geologico*. Reggio Emilia.
- PLINIO IL VECCHIO, 75-79 d.C. (circa) – *Storia naturale (Historia mundi naturalis)*. Libro II-85 (6 Voll. con testo latino a fronte), 1997, "I Millenni", 928 pp., Einaudi, Milano.
- PROVINCIA DI MODENA, 2009 – *PTCP - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, Documenti di Piano*. Approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n° 46 del 18/03/2009, Rischio da frana: carta del dissesto e Atlante delle aree a rischio elevato e molto elevato, Area programmazione e Pianificazione Territoriale, DVD.
- RAMAZZINI B., 1698 – *De petroleo Montis Zibinii*. Mutinae.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2010 – *Cartografia geologica on-line in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna*. Consultabile al sito web: www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/sito_cartografia.htm.

- REIMER G.M., 1980 – *Use of soil-gas helium concentrations for earthquake prediction: limitations imposed by diurnal variation*. Journ. Geophys. Res., **85**, pp. 3107-3114.
- REIMER G.M., 1990 – *Reconnaissance techniques for determining of soil-gas radon concentrations: an example from Prince George County, Maryland*. Geophys. Res. Lett., **17**(6), pp. 809-812.
- ROBERTS A.A., FRIEDMAN I., DONOVAN T.J., DENTON E.H., 1975 – *Helium survey, a possible technique for locating geothermal reservoirs*. Geophys. Res. Letters, **2**, pp. 209-212.
- ROGIE J.D., KERRICK D.M., CHIODINI G., FRONDI F., 2000 – *Flux measurements of non-volcanic CO₂ emission from some vents in central Italy*. Journal of Geophysical Research, **105**, B4, pp. 8435-8445.
- RUTZINGER M., BREMER M., RAGG H., 2013 – *Roughness Estimation from Point Clouds - A Comparison of Terrestrial Laser Scanning and Image Matching by Unmanned Aerial Vehicle Acquisitions*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-9286, 2013 EGU General Assembly.
- SANTAGATA T., CAMORANI M., 2017 – *Rilevamento topografico delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- SCHOELL M., 1980 – *The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins*. Geochimica et Cosmochimica Acta, **44**, pp. 649-661.
- SCIARRA A., CANTUCCI B., BUTTINELLI M., GALLI G., NAZZARI M., PIZZINO L., QUATTROCCHI F., 2012 – *Soil-gas survey of liquefaction and collapsed caves during the Emilia seismic sequence*. Annals of Geophysics, **55**(4), doi: 10.4401/ag-6122.
- SCIARRA A., CINTI D., PIZZINO L., PROCESI M., VOLTATTORNI N., MECOZZI S., QUATTROCCHI F., 2013 – *Geochemistry of shallow aquifers and soil gas surveys in a feasibility study at the Rivara natural gas storage site (Po Plain, Northern Italy)*. Applied Geochemistry, **34**, pp. 3-22.
- SCIARRA A., CANTUCCI B., CASTALDINI D., PROCESI M., CONVENTI M., 2015a – *Between history, work and passion: medieval castle, mud volcanoes and Ferrari*. GFT - Geological Field Trips, Goldschmidt Conference, Florence, 2013, Fiorano Modenese, 31 August - 1 September 2013, doi: 10.3301/GFT.2015.01, ISSN 2038-4947, 42 pp.
- SCIARRA A., FASCETTI A., MORETTI A., CANTUCCI B., PIZZINO L., LOMBARDI S., GUERRA I., 2015b – *Geochemical and radiometric profiles through an active fault in the Sila Massif*. Journal of Geoch. Explor., **148**, pp. 128-137, doi: 10.1016/j.gexplo.2014.08.015.
- SCIARRA A., CANTUCCI B., COLTORTI M., 2017a - *Learning from soil gas change and isotopic signatures during the 2012 Emilia seismic sequence*. Scientific Reports, **7**, 14187, doi: 10.1038/s41598-017-14500-y.
- SCIARRA A., CANTUCCI B., CONVENTI M., RICCI T., 2017b – *Caratterizzazione geochimica e monitoraggio dei flussi e delle componenti gassose nella Riserva delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- SCICLI A., 1972 – *L'attività estrattiva e le risorse minerarie della Regione Emilia-Romagna*. Artioli Ed., Modena, 626 pp.
- SEGOVIA N., SEIDEL J.L., MONNIN M., 1987 – *Variations of radon in soils induced by external factors*. Journ. Radioanalyt. Nucl. Chem. Lett., **119**, pp. 199-209.
- SGREGANZIOLI M., VASSENA G.P.M., 2007 – *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner*. Starrylink Ed., Brescia, ISBN 978-88-89720-73-8.
- SINCLAIR A.J., 1974 – *Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs*. Journal of Geochemical Exploration, **3**, pp. 129-149.
- SINCLAIR A.J., 1991 – *A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry: probability plots revisited*. Journ. Geochem. Explor. **41**, pp. 1-22. [http:// dx.doi.org/10.1016/0375-6742\(91\)90071-2](http://dx.doi.org/10.1016/0375-6742(91)90071-2).
- SPALLANZANI L., 1795 – *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino*. Stamperia B. Comini, Pavia, 371 pp.
- STÖHR E., 1867 – *Schiarimenti intorno alla carta delle salse e delle località oleifere di Montegibbio*. Annuario Soc. Nat. in Modena, **2**, pp. 169-178.
- STÖHR E., 1869 – *Intorno agli strati terziari superiori di Montegibbio e vicinanze*. Annuario Soc. Nat. in Modena, **4**, pp. 271-281.
- STOPPANI A., 1866 – *Carta della zona petrolifera dell'Emilia*. Il Politecnico, Milano.
- STOPPANI A., 1876 – *Il Bel Paese*. Milano, 678 pp.
- STRUTT M.H., BAUBRON J.C., BEAUBIEN S.E., BRACH M., CARDELLINI C., GRANIERI D., JONES D.G., LOMBARDI S., BENNER L.A., QUATTROCCHI F., VOLTATTORNI N., 2003 – *Soil gas as a monitoring tool of deep geological sequestration of carbon dioxide: preliminary results from the PanCanadian EOR project in*

- Weyburn, Saskatchewan (Canada). In: J. Gale & Y. Kaya (eds.) "Proc. 6th Internat. Conf. Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6)", vol. I, Elsevier, pp. 391-396.
- STRUTT M., BAUBRON J.C., BEAUBIEN S.E., CARDELLINI C., GRANIERI D., JONES D.G., LOMBARDI S., PENNER L., QUATTROCCHI F., 2004 – *Soil gas as a monitoring tool of deep geological sequestration of carbon dioxide: results from the three-year monitoring of the Encana Eor Project, Weyburn, Saskatchewan (Canada)*. In: Proc. VII Internat. Conf. "Green House Gases Technologies" (GHGT-7), Vancouver, Canada, September 2004, <http://www.ghgt7.ca>.
- TALAMI F., 2015 – *Analisi mineralogiche e granulometriche dei fanghi delle Salse di Nirano (MO)*. Tesi di laurea triennale, Università di Modena e Reggio Emilia (inedito).
- TAMRAZYAN G.P., 1972 – *Peculiarities in the Manifestation of Gaseous-Mud Volcanoes*. Nature, **240**, pp. 406-408.
- TASSI F., BONINI M., MONTEGROSSI G., CAPECCHIACCI F., CAPACCIONI B., VASELLI O., 2012 – *Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH₄-rich emissions*. Chem. Geol., **294-295**, pp. 113-126.
- TOSATTI G., 2002 – *The Mud Volcanoes of Salse di Nirano*. In: P. Coratza & M. Marchetti (eds.) "Geomorphological Sites: Research, Assessment and Improvement", Workshop Proceedings, pp. 95-97, June 2002, Modena.
- TOSATTI G., 2004 – *The Nature Reserve of the Nirano Mud Volcanoes*. In: "Geo-diversity in the landscape of Emilia-Romagna (northern Italy), Geosites in the Apennines between Modena and Reggio Emilia", 32nd Internat. Geol. Congress, Florence 2004, Pre-congress Field-trip, pp. 11-13.
- VANDELLI D., 1760 – *Analisi di alcune acque medicinali del Modenese*. Padova, pp. 114-118.
- VECCHIONI P.E., 1900 – *La salsa di Nirano*. In: "In giro pel mondo", **2**(3), Bologna.
- VEZZALINI G., MARCHETTI DORI S., QUARTIERI S., 2017 – *Analisi mineralogiche e granulometriche dei fanghi delle Salse di Nirano*. Suppl. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **148** (nel presente volume).
- VOLTATTORNI N., SCIARRA A., CARAMANNA G., CINTI D., PIZZINO L., QUATTROCCHI F., 2009 – *Gas geochemistry of natural analogues for the studies of geological CO₂ sequestration*. Appl. Geochem., **24**, pp. 1339-1346.
- VOLTATTORNI N., QUATTROCCHI F., GASPARINI A., SCIARRA A., 2012 – *Soil gas degassing during the 2009 L'Aquila earthquake: study of the seismotectonic and fluid geochemistry relation*. Italian Journal of Geosciences, **131**(3), pp. 440-447, doi: 10.3301/IJG.2012.19.
- VOLTATTORNI N., CINTI D., PIZZINO L., SCIARRA A., 2014 – *Statistical approach for the geochemical signature of two active normal faults in the western Corinth Gulf Rift (Greece)*. Applied Geochemistry, **51**, pp. 86-100.
- WANG W.C., ZHANG L.Y., LIU W.H., KANG Y., REN J.H., 2005 – *Effects of biodegradation on the carbon isotopic composition of natural gas - a case study in the Bamianhe oil field of the Jiyang Depression, Eastern China*. Geochemical Journal, **39**, pp. 301-309.
- WHITICAR M.J., SUES E., 1990 – *Hydrothermal hydrocarbon gases in the sediments of King George Basin, Bransfield Strait, Antarctica*. Applied Geochemistry, **5**(1-2), pp. 135-147, doi: 10.1016/0883-2927(90)90044-6.