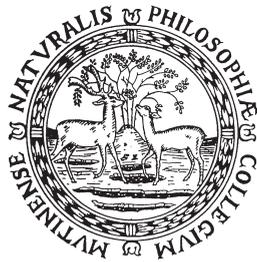


# ATTI

DELLA

## SOCIETÀ DEI NATURALISTI E MATEMATICI DI MODENA APS



Vol. CLV

2024

**Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena - APS** 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 – Comitato di Redazione (2023-2025)**

*Presidente:* Prof. Paolo Zannini

*Consiglieri:* Prof. Ivano Ansaloni, Dott. Fabrizio Buldrini, Dott.ssa Federica Calvi, Prof.ssa Lucrezia Mola, Prof.ssa Aurora Pederzoli, Prof. Giovanni Tosatti.

*Revisori dei Conti:* Prof.ssa Franca Cattelani, Prof. Gilberto Coppi, Dott. Paolo Serventi;

*membro supplente:* Prof. Luca Forti.

#### **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:** Dr. Alessandro Pasuto (CNR-IRPI, Padova), Prof. Leonidas Stamatopoulos (Università di Patras, Grecia), Dr. Giuliana Panieri (Arctic University of Norway, Tromsø, Norvegia)

**Botanica, Agraria:** Prof. Claudia Angiolini (Università di Siena), Prof. Laura Sadori (Sapienza Università di Roma), Prof. Edwin Lanfranco (già L-University of Malta), Prof. Sandro Lanfranco (L-University of Malta), Dr. Stephen Mifsud (EcoGozo, Ministry for Gozo, Victoria, Malta)

**Zoologia, Ecologia:** Prof. Annamaria Volpi Ghirardini (Ca' Foscari Università di Venezia), Prof. Vincenzo Vomero (già Direttore Musei Scientifici di Roma), Dr. Francesca Leasi (University of Tennessee, Chattanooga, USA)

**Matematica:** Prof. Sergio Invernizzi (già Università di Trieste)

**Fisica:** Prof. 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), Dr. Monica Ganio (Getty Museum, New York, USA), Dr. Federico Calò (Metropolitan Museum, New York, USA)

**Lingua Inglese:** Prof. Andrea Mary Lord (già Victoria University, Manchester, UK)



**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 - APS

Via Università 4, 41121 MODENA

Biblioteca: Via A. Vivaldi 70, 41125 MODENA

Codice Fiscale: 80016770366

Codice IBAN: IT100053871290000000009999; Codice BIC-SWIFT: BPMOIT22XXX

Sito web: [www.socnatmatmo.unimore.it](http://www.socnatmatmo.unimore.it); e-mail redazione: [john.tosatti@gmail.com](mailto:john.tosatti@gmail.com)



Luca Lombroso\*, Sofia Costanzini\*, Francesca Despini\*,  
Sergio Teggi\*

## Annuario 2023 dell'Osservatorio Geofisico di Modena

### **Riassunto**

*Questo articolo presenta l'Annuario delle osservazioni meteorologiche raccolte presso l'Osservatorio Geofisico di Modena, situato nella torre di levante del Palazzo Ducale nel corso del 2023. Le osservazioni meteorologiche sono state effettuate regolarmente e senza interruzioni, con un'attenta raccolta e validazione dei dati. L'articolo fornisce un riepilogo annuale dei valori medi, totali ed estremi dei principali parametri meteorologici con grafici che mostrano gli andamenti annuali e mensili, confrontati con i valori medi climatologici, e tabelle con i dati giornalieri. Sono incluse anche le tabelle dei "più e meno del 2023", che mostrano i valori medi ed estremi di tutti i parametri rilevati presso l'Osservatorio e la stazione "Campus DIEF" situata nell'area del Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari. La presentazione dei dati è introdotta da una breve analisi meteo-climatologica basata sul periodo di riferimento più recente di 30 anni, ossia dal 1991 al 2020. Ancora una volta, il 2023 è stato l'anno più caldo da inizio osservazioni (1830), superando il precedente record stabilito nel 2022, con una temperatura media annuale di 16,9 °C e un'anomalia positiva di +1,8 °C rispetto al trentennio di riferimento 1991-2020. Le precipitazioni sono state inferiori alla media, con un totale di 561,6 mm nel 2023, corrispondente a un'anomalia pluviometrica negativa del 19% rispetto alla media climatica. Durante il 2023, sono state effettuate anche osservazioni presso altre stazioni della rete locale dell'Osservatorio Geofisico. Oltre alla stazione presso l'Osservatorio storico di Piazza Roma, sono attive stazioni meteorologiche nell'area del Campus di Ingegneria a Modena (Via Vivarelli, 10), sulla terrazza del Policlinico di Modena e presso la discarica di Via Caruso a Modena. La rete include anche una stazione meteorologica nel Campus universitario di Reggio Emilia, una a Campogalliano della rete dell'associazione Emilia-Romagna Meteo APS e una del Comune di Spilamberto. Infine, gestiamo anche i dati di una stazione meteorologica ai tropici, in Costa Rica, situata nella Riserva Karen Mogensen nella penisola di Nicoya. I dati di queste stazioni non sono presentati in questo articolo, ma sono disponibili su richiesta contattando l'Osservatorio Geofisico (e-mail: [ossgeo@unimore.it](mailto:ossgeo@unimore.it)).*

### **Abstract**

*Yearly Report of 2023 at the Geophysical Observatory of Modena. The yearbook of meteorological observations collected at the Geophysical Observatory of Modena, located in the eastern tower of the Dukes' Palace, is presented. In 2023, meteorological observations were carried out regularly*

---

\* Osservatorio Geofisico, Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari", Università di Modena e Reggio Emilia, Via P. Vivarelli 10, 41125 MODENA; e-mail: [ossgeo@unimore.it](mailto:ossgeo@unimore.it).

and meticulously, without interruption. The article provides an annual summary of average, total, and extreme values of the main meteorological parameters with graphs showing annual and monthly trends compared to the climatological averages, and tables with daily data. The “highs and lows of 2023” tables are also included, showing the average and extreme values of all parameters recorded at the Observatory and the “DIEF Campus” station located at the Enzo Ferrari Department of Engineering. The data presentation is introduced by a brief meteorological-climatic analysis based on the most recent 30-year period, from 1991 to 2020. The year 2023 was the hottest since the beginning of observations (1830), surpassing the recent record set in the previous year, 2022, with a recorded annual average temperature of 16.9 °C and a positive anomaly of +1.8 °C compared to the 1991-2020 reference period. Precipitation was below average, totalling 561.6 mm in 2023, corresponding to a negative rainfall anomaly of 19% compared to the climatic average. During 2023, observations were also carried out at other stations in the local network of the Geophysical Observatory. In addition to the station at the historical Observatory, there are active meteorological stations at the Engineering Campus in Modena (Via Vivarelli, 10), on the terrace of the Modena Policlinic, and at the landfill site in Via Caruso, Modena. The network also includes a meteorological station in the University Campus of Reggio Emilia, one in Campogalliano from the Emilia-Romagna Meteo association, and one from the Municipality of Spilamberto. Finally, we also manage the data from a tropical meteorological station in Costa Rica, located in the Karen Mogensen Reserve on the Nicoya Peninsula. The data from these stations are not presented in this article but are available upon request by contacting the Geophysical Observatory (e-mail: [ossgeo@unimore.it](mailto:ossgeo@unimore.it)).

**Parole chiave:** Meteorologia, Climatologia, Ambiente, Modena

**Keywords:** Meteorology, Climatology, Environment, Modena, Italy

## 1. Introduzione

L'Osservatorio Geofisico di Modena, situato nel torrione di levante del Palazzo Ducale, mantiene ancora oggi la sua sede storica. Fondato nel 1826 su iniziativa del Duca Francesco IV d'Este come Osservatorio Astronomico, l'istituto ha iniziato fin dai primi anni a effettuare misurazioni meteorologiche e climatiche sotto la direzione del Prof. Giuseppe Bianchi. Dal 1830, l'Osservatorio ha continuato a raccogliere dati meteorologici ininterrottamente, sviluppando una serie storica di osservazioni di grande valore scientifico a livello internazionale (Lombroso & Quattrocchi, 2008). La strumentazione utilizzata è conforme agli *standard* stabiliti dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO). Nel 2020, l'Osservatorio Geofisico è stato ufficialmente riconosciuto come “Stazione di Osservazione Centenaria” dalla stessa Organizzazione Meteorologica Mondiale (Lombroso *et al.*, 2021).

Dal 1896 l'Osservatorio Geofisico pubblica i suoi dati giornalieri in un annuario. Inizialmente, gli “annuari dell'Osservatorio Geofisico” erano pubblicati come opuscoli stampati dall'Osservatorio stesso e inviati in scambio a oltre

200 osservatori di tutto il mondo. A partire dal 1999, i dati giornalieri sono stati inclusi in pubblicazioni gentilmente ospitate dagli Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena, mantenendo lo stesso formato riassuntivo adottato negli annuari precedenti.

Nel corso del 2023 l'attività operativa dell'Osservatorio è proseguita regolarmente, affiancando alle attività di osservazione vari eventi divulgativi, seminari e aperture al pubblico dei locali dell'Osservatorio, che erano stati completamente restaurati nel 2018-19.

In questo articolo presentiamo in dettaglio i dati dell'Osservatorio Geofisico di Piazza Roma, dando continuità alla serie storica e alla tradizione di pubblicazione e condivisione dei dati. In particolare, forniamo riepiloghi statistici dell'anno riguardanti temperatura, precipitazioni, neve, e un'analisi dei parametri di ventosità e radiazione solare. Presentiamo in forma grafica anche i dati giornalieri e mensili delle temperature minime, massime e medie, delle precipitazioni idriche e delle precipitazioni nevose, confrontandoli con i valori climatologici del periodo 1991-2020. Nelle tabelle in appendice, forniamo i valori giornalieri degli stessi parametri.

Nel corso del 2023, sono state condotte misurazioni regolari anche nelle altre stazioni della rete meteorologica locale. Presentiamo inoltre un riepilogo dei dati delle stazioni meteorologiche di Modena Campus DIEF. Inoltre, sono attive una stazione a Reggio Emilia e due stazioni di ricerca, una presso l'Ospedale Policlinico di Modena, in funzione dal 2015 per il monitoraggio di un impianto energetico trigeneratore (responsabile Prof.ssa Grazia Ghermandi), e l'altra presso Via Caruso a Modena, in corrispondenza di una *test farm* per materiali riflettenti solari, attivata per un progetto di ricerca (responsabile Prof. Alberto Muscio). Infine, alla nostra rete meteo conferisce dati la stazione "Karen Costa Rica" di proprietà dell'Associazione "Foreste per Sempre-GEV Modena" ed è gestita all'interno della rete dell'Osservatorio Geofisico. I dati di tutte le stazioni vengono regolarmente acquisiti, controllati, validati e mantenuti in copie di *backup* di sicurezza. Ulteriori informazioni sulla rete e sulla disponibilità dei dati sono disponibili sul sito web dell'Osservatorio Geofisico all'indirizzo [www.ossgeo.unimore.it](http://www.ossgeo.unimore.it).

## 2. Riepilogo delle osservazioni dell'anno 2023

Nella Tab. 1 vengono presentati i principali dati meteoroclimatici dell'anno 2023 rilevati presso la storica stazione di riferimento dell'Osservatorio Geofisico.

Durante il 2023, la temperatura media annuale è stata di 16,9 °C, calcolata come media delle temperature minime e massime giornaliere. Questo valore presenta un'annotabile anomalia positiva di +1,8 °C rispetto alla media

climatica del periodo 1991-2020. Analizzando la serie storica delle temperature, raccolta in modo omogeneo dal 1860 ad oggi senza interruzioni, si può affermare che il 2023 è stato l'anno più caldo registrato. Il precedente record di temperatura media annuale più elevata era del 2022, con un valore di 16,8 °C, mentre l'anno più freddo è stato il 1881, con una temperatura media di 11,8 °C.

La media delle temperature minime nel 2023 è stata di 13,4 °C, mentre la media delle temperature massime è stata di 20,5 °C. Le anomalie rispetto alla media climatica sono risultate rispettivamente di +1,9 °C per le temperature minime annuali e +1,7 °C per la temperatura massima media annua.

Durante l'anno, il giorno più freddo è stato l'8 febbraio 2023, con una temperatura minima di -0,6 °C. Il valore assoluto più basso registrato storicamente è stato raggiunto l'11 gennaio 1985, con una temperatura minima di -15,5 °C. Il giorno più caldo del 2023 ha segnato una temperatura massima di 37,6 °C il 24 agosto. Anche in questo caso, il valore massimo assoluto rimane il record storico, con 38,5 °C registrati il 29 luglio 1983.

L'anno 2023 è stato caratterizzato da un inizio relativamente siccitoso fino al mese di aprile, seguito da piogge straordinarie e abbondanti nel mese di maggio, caratterizzato peraltro dall'alluvione in Romagna del 16-17 maggio 2023. A Modena, il giorno 2 maggio, è stata rilevata una precipitazione giornaliera di 69,1 mm, la pioggia in 24 ore più abbondante mai registrata nel mese di maggio. Nel mese si sono accumulati 220,9 mm, valore che risulta il secondo maggio più piovoso per l'Osservatorio di Modena, superato solo dal recente maggio 2019 con 241,8 mm. Piovoso anche il mese di giugno, con 74,4 mm concentrati nella prima metà del mese, mentre tutti i restanti mesi sono risultati con piogge inferiori alla media.

Le precipitazioni totali durante il 2023 ammontano a 561,6 mm, con un deficit pluviometrico del 20% rispetto alla climatologia del periodo 1991-2020. Solo i mesi di gennaio, maggio e giugno hanno registrato precipitazioni superiori alla media, mentre gli altri sono stati caratterizzati da piogge scarse; in particolare febbraio, marzo, luglio, settembre e novembre hanno mostrato una forte carenza di precipitazioni. Nel corso dell'intero anno, sono stati registrati 101 giorni con precipitazioni misurabili, di cui 80 definibili come "giorno piovoso" secondo la definizione che considera tali i giorni con precipitazioni maggiori o uguali a 1 mm in 24 ore.

È ricomparsa la neve misurabile, anche se in un solo giorno, il 5 dicembre 2023, con soli 1,0 cm di neve fresca in 24 ore. La neve misurabile a Modena mancava dal 13 febbraio 2021, sempre con solo 1,0 cm.

La velocità massima del vento registrata nel 2023 è stata di 82 km/h, il giorno 2 dicembre. Il record assoluto di raffica di vento è stato di 112 km/h, registrato il 24 luglio 2004.

Per quanto riguarda la stazione meteorologica del Campus DIF a Modena, la temperatura media annuale è stata di 15,3 °C, mentre le precipitazioni totali nel corso dell'anno sono state di 670,0 mm.

	<b>2023</b>	<b>Min storico</b>	<b>Max storico</b>	<b>Media 1991-2020</b>
Temperatura media annua (°C)	16,9	11,8 (1881)	16,3 (2014)	15,1
Media temperature minime (°C)	13,4	7,1 (1879)	13,1 (2014)	11,7
Media temperature massime (°C)	20,5	15,9 (1861)	19,5 (2014)	18,6
Giorno più caldo (massimo di temperatura massima) (°C)	37,6 (24/08/2023)	30,6 (14/07/1912)	38,5 (29/07/1983)	-
Giorno più freddo, minimo di temperatura minima (°C)	-0,6 (08/02/2023)	-15,5 (11/01/1985)	-1,0 (24/12/2008)	-
Precipitazioni totali (mm)	561,6	305,4 (1834)	1153,3 (1839)	691,4
Giorno più piovoso dell'anno (mm)	69,1 (02/05/2023)	21,1 (16/11/1837)	165,4 (05/10/1990)	-
Numero di giorni con precipitazioni misurabili (prec.>0 mm)	101	57 (1847)	160 (1960)	114
cm neve fresca (anno 2022)	1	0 (2022) <sup>(1)</sup>	252 (1844)	29,5
cm neve fresca (2020/21)	0	0 (2021/22) <sup>(1)</sup>	242 (1844/45)	29,4
Numero giorni con neve misurabile (anno 2022)	1	0 (2007) <sup>(1)</sup>	23 (1895)	5
Numero di giorni con neve misurabile (inverno 2021/22)	0	0 (2006/07) <sup>(1)</sup>	25 (1894/95)	5
Max neve giornaliera in cm (2023)	1 (05/12/2023)	0 (vari)	89 (14/12/1844)	-
Vento: max velocità in km/h	82 (02/12/2023)	-	112 (24/07/2004)	-
<sup>(1)</sup> Vari anni: è indicato l'ultimo				

Tab. 1 – Riepilogo dei principali dati meteoclimatici del 2023 registrati presso l'Osservatorio Geofisico posto nel torrione orientale del Palazzo Ducale di Modena.

### 3. I più e i meno del 2023: riepilogo dei valori estremi a Modena

#### Temperatura dell'aria

	<b>Modena Osservatorio (confronto climatico)</b>	<b>Modena Campus</b>
Tmed annua	16,9°C (Md 1991-2020: 15,1°C)	15,3°C
Media di Tmin	13,4°C (Md 1991-2020: 11,6°C)	9,5°C
Media di Tmax	20,5°C (Md 1991-2020: 18,6°C)	21,1°C
Tmin assoluta (notte più fredda)	-0,6 il 08/02/2023 (-15,5°C il 11/01/1985)	-6,0°C (11/02/2023)
Tmax assoluta (pomeriggio più caldo)	37,6°C il 24/08/2023 (38,5°C il 29/07/1983)	39,1°C (25/08/2023)
Tmax più bassa (pomeriggio più freddo)	+3,3 il 14/01/2023 (-7,4°C il 13/02/1929)	+3,5°C (08/12/2023)
Tmin più alta (notte più calda)	27,9°C il 18/07/2023 (+28,4 il 27/07/2006)	+24,3°C (19/07/2023)
Tmed più alta (Giorno più caldo)	32,4°C il 24/08/2023 (+33,0°C il 06/08/2003)	30,5°C (25/08/2023)
Tmed più bassa (giorno più freddo)	+2,2°C il 09/02/2023 (-10,6°C l'11/01/1985)	+0,2°C (04/12/2023)
Minore escursione termica (giorno meno variabile)	1,1°C il 13-12-2023 (0,1°C il 18/01/1867)	1,1 °C (30/11/2023)
Maggiore escursione termica (giorno più variabile)	13,6°C il 20/10/2023 (19,1°C il 17/04/1991)	20,3 (15/02/2023)
N. gg con Tmin <0 °C (giorni di gelo)	3 (27 giorni)	48
N. gg con Tmax <0 °C (giorni di gelo senza disgelo)	0 (2 giorni)	0
N. gg con Tmin ≥ 20°C (notti tropicali)	89	32
N. gg con Tmax ≥ 30 °C (giorni caldi)	62	77
N. gg con Tmax ≥ 35 °C (giorni roventi)	11	17

Tab. 2 – Riepilogo degli estremi e delle statistiche della temperatura atmosferica.

### Precipitazioni

	<b>Modena Osservatorio (confronto climatico)</b>	<b>Modena Campus</b>
<b>Precipitazioni totali</b>	561,6 mm (691,4 mm)	670 mm
Giorno più piovoso	69,1 mm il 02/05/2023	56,0 mm il 02/05/2023
Giorni piovosi ( $P_{mm} > 1$ mm)	64	70
Giorni bagnati ( $P_{mm} > 0$ mm)	101	143
Giorni con almeno 50 mm	1	1
Totale di neve fresca	10 cm	-
N. gg con neve misurabile	1	-
Giorno più nevoso	1 cm il 05/12/2023 (89 cm il 14/12/1844)	-

Tab. 3 – Riepilogo delle statistiche e degli estremi delle precipitazioni idriche.

### Umidità relativa

	<b>Modena Osservatorio<sup>(1)</sup> (confronto climatico)</b>	<b>Modena Campus<sup>(2)</sup></b>
<b>Umidità media annuale</b>	59% (64%)	73%
Giorno più secco ( $R_h$ media più bassa)	21% il 28/03/2023	31% il 23/12/2023
Giorno più umido ( $R_h$ media più alta)	93% il 03/01/2023	96% il 31/12/2023

<sup>(1)</sup> medie calcolate su 8, 14, 19; <sup>(2)</sup> medie calcolate su tutti i dati giornalieri.

Tab. 4 – Riepilogo delle statistiche e degli estremi dell'umidità relativa.

### Velocità del vento

	<b>Modena Osservatorio<sup>(1)</sup> (confronto climatico)</b>	<b>Modena Campus<sup>(2)</sup></b>
<b>Velocità media del vento</b>	9,8 km/h	-
Giorno più ventoso ( $V_{med\ max}$ )	37,6 km/h il 26/02/2023	-
Giorno con raffica più forte ( $V_{max}$ più alta)	82,0 km/h il 02/12/2023	-

<sup>(1)</sup> medie calcolate su 8, 14, 19; <sup>(2)</sup> medie calcolate su tutti i dati giornalieri.

Tab. 5 – Riepilogo statistiche ed estremi della velocità vento.

## Soleggiamento

	Modena Osservatorio (confronto climatico)	Modena Campus <sup>(1)</sup>
<b>Radiazione solare totale</b>	5339,2 MJ/m <sup>2</sup>	4931,6 MJ/m <sup>2</sup>
Radiazione giornal. più alta	29,5 MJ/m <sup>2</sup> il 25/06/2023	27,5 MJ/m <sup>2</sup> il 25/06/2023
Radiazione giornal. più bassa	0,9 MJ/m <sup>2</sup> il 13/12/2023	0,8 MJ/m <sup>2</sup> il 13/12/2023
<b>Eliofania totale annua</b>	2385,2 ore	-
Giorno con più ore sole	13,9 il 24/06/2023	-
Numero giorni senza sole	39	-
<b>Radiazione UV totale</b>	-	3951,6 MEDs
Giorno con radiazione UV più elevata	-	25,5 MEDs il 24/06/2023

<sup>(1)</sup> Dati mancanti a gennaio, febbraio, marzo

Tab. 6 – Riepilogo delle statistiche di radiazione solare ed eliofania.

## Classifiche storiche dei parametri principali per l'Osservatorio Piazza Roma

	Valore 2023	Scarto da 1991-2020	Posizione	Anno più e meno	Inizio serie
Temperatura media annuale	16,9 °C	+1,9	1° più caldo 154° più freddo	2022 (16,9°C) 1881 (11,8°C)	1860
Precipitazioni nell'anno	561,6 mm	-19 %	139° più piovoso 57° più siccitoso	1839 (1153,3 mm) 1834 (305,4 mm)	1830
N.gg piovosi con Pmm >1 mm	64	-10	162° con più gg 36° con meno gg	1960 (108) 1945 (50)	1830
Neve fresca nell'anno	1 cm	-97%	175° più nevoso 18° meno nevoso	1844 (252 cm) Vari con 0 cm	1830

Tab. 7 – Riepilogo delle statistiche storiche di temperatura, precipitazioni e altezza neve fresca.

#### 4. Andamento dei principali dati meteorologici nell'anno 2023

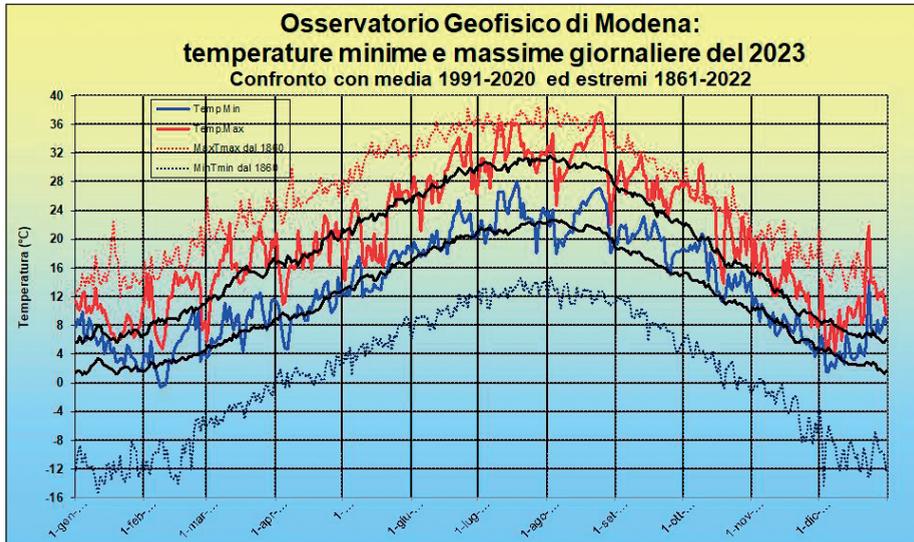


Fig. 1 – Andamento annuale delle temperature minime e massime giornaliere nel 2023 e confronto con i valori medi giornalieri (periodo 1991-2020).

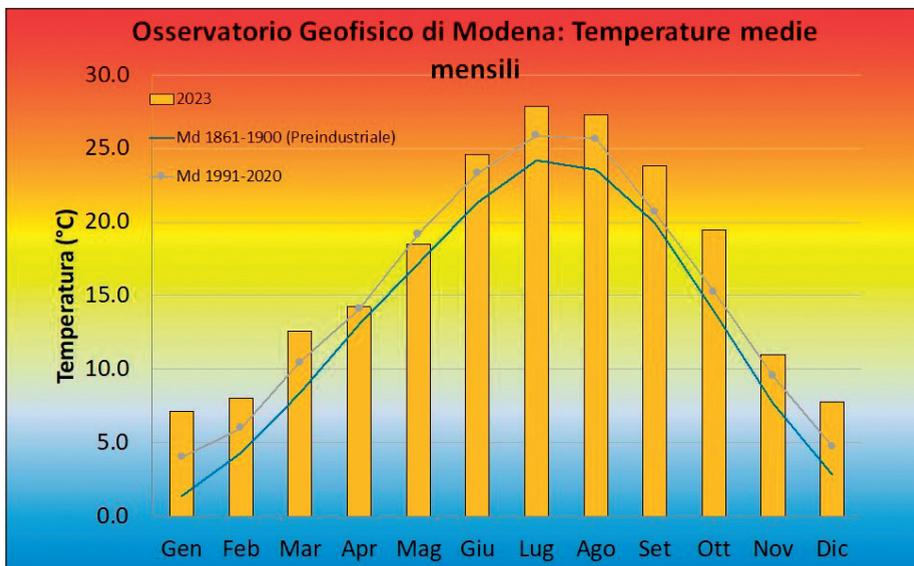


Fig. 2 – Temperature medie mensili del 2023 a confronto con la media climatologica “preindustriale” (1871-1900) e con la più recente media trentennale 1991-2020.

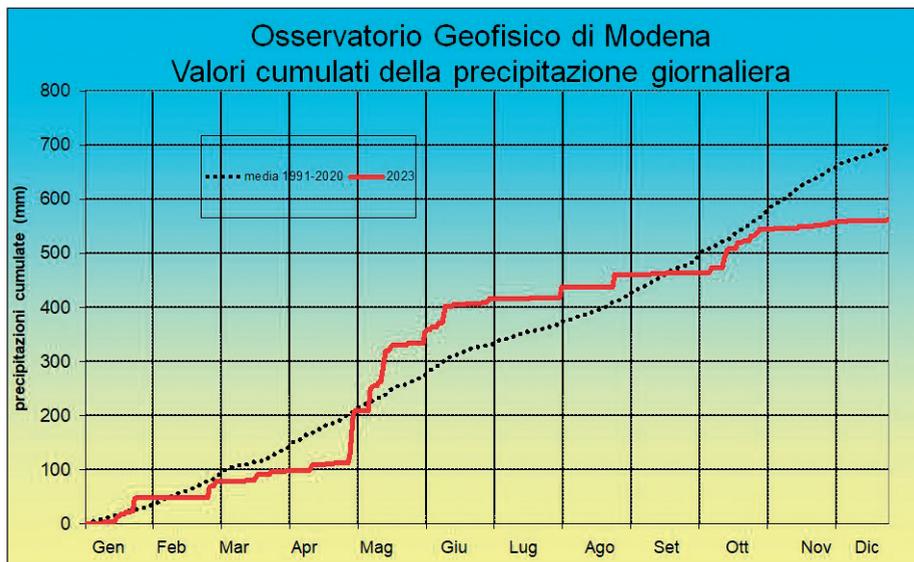


Fig. 3 – Precipitazioni giornaliere cumulate nel corso del 2023 confrontate con l'andamento annuale climatologico 1991-2020.

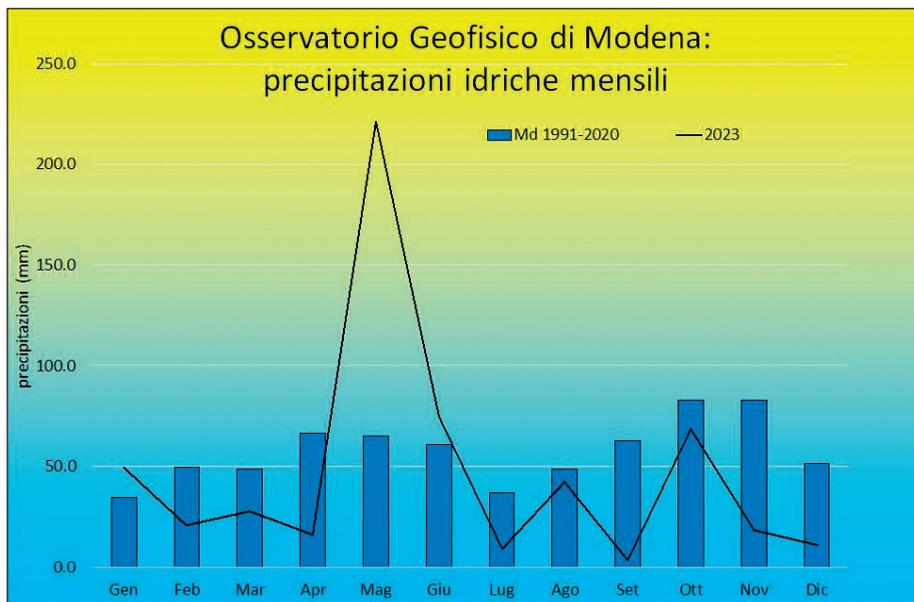


Fig. 4 – Precipitazioni mensili del 2023 confrontate con il valore medio del periodo 1991-2020.

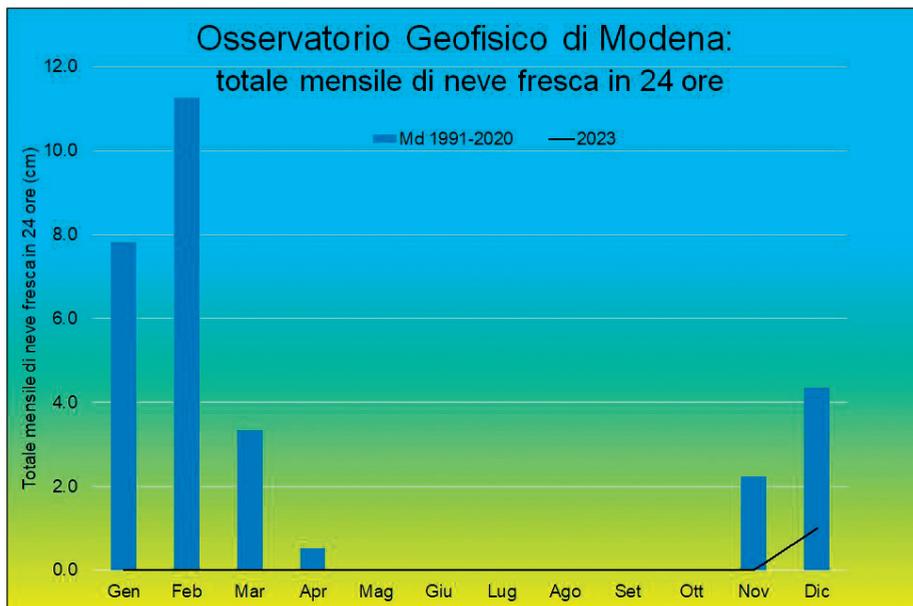


Fig. 5 – Precipitazioni nevose mensili del 2023 confrontate con il valore medio 1991-2020.

Osservatorio Geofisico di Modena – riepilogo mensile dei dati del 2023														
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Media/somma	Data estremo
Min Tmin	1,7	-0,6	3,5	4,7	12	17,6	18,1	18	15,1	11,4	3,6	1,5	-0,6	08/02/2023
Max Tmax	13,2	15,5	22,2	23,3	27,8	34,7	36,3	37,6	31,7	30,4	20	21,8	37,6	24/08/2023
Med Tmin	5,2	4,4	8,5	10,3	15,3	20,5	23,5	23,0	20,0	15,8	7,9	5,3	13,3	-
Med Tmax	9,1	11,6	16,6	18,1	21,8	28,7	32,3	31,7	27,7	23,1	14,1	10,3	20,4	-
Med Tmed	7,1	8,0	12,5	14,2	18,5	24,6	27,9	27,3	23,8	19,5	11,0	7,8	16,9	-
N. gg Tmax ≤ 0°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
N. gg Tmin ≤ 0°C	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0	-
Somma Pmm	49,2	20,6	27,8	16,1	220,9	74,4	9	42,5	3,4	68,4	18,6	10,7	561,6	-
Max P mm giorn.	22,6	19,5	9,6	6,4	69,1	30	6,7	22,4	1	18,2	7	2,6	69,1	02/05/2023
N. gg Pmm > 0 e Pmm < 1	2	3	3	4	3	3	0	3	5	1	5	5	37,0	-
N. gg Pmm ≥ 1 mm	10	1	4	5	12	8	2	2	1	9	5	5	64,0	-
N. gg "pioggia" > 0 mm	12	4	7	9	15	11	2	5	6	10	10	10	101,0	-
Somma H neve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	-
Massimo H neve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	-
N. gg neve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	-
Somma GG > 10°C	1,1	11,4	89,2	130,4	264,3	437,8	554	536,7	415	293,9	47,7	12,3	2793,8	-
Somma GG < 20°C	399,4	335,5	231	173,4	70,1	0,6	0	0	0,2	54,3	270,3	378,2	1913	-
Media Pressione	1009,0	1017,2	1004,8	1004,9	1007,1	1006,7	1005,9	1005,0	1010,0	1005,8	1001,5	1008,6	1009,0	-
Radiazione solare	136,5	268,9	467,3	567,6	556,4	691,8	767,0	653,2	510,3	328,4	233,1	158,7	136,5	-
Umidità media	75,5	59,4	54,5	52,7	65,1	52,8	51,5	46,8	53,3	60,1	61,8	68,4	75,5	-
Vento Max	62,3	72,7	61,9	64,8	49,7	78,1	56,2	61,6	45,4	67,7	55,1	81,7	81,7	02/12/2023
Eliofania	72,3	146,3	205,6	202,9	199,2	267,3	334,7	282,1	227,0	161,4	155,3	131,1	2385,2	-
N. gg ≥ 30°C	0	0	0	0	0	10	27	21	3	1	0	0	62,0	-

Tab. 9 – Aggiornamento delle principali tabelle del libro “L'Osservatorio di Modena: 180 anni di misure meteorologiche”: riepiloghi mensili dell'anno 2020.

Osservatorio Geofisico di Modena – riepilogo dei dati climatologici 1991-2020															
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Media/somma	Data estremo	
Min Tmin (*)	°C	-15,5	-14	-6,1	-0,7	1,1	6,1	10,2	10,4	4,1	-1,4	-8,5	-14,6	-15,5	11/01/1985
Max Tmax	°C	22,4	21,9	25,8	30	34	38,2	38,5	38,4	34,6	29,9	22,8	21,2	38,5	29/07/1983
Med Tmin	°C	2,0	3,2	6,7	10,3	15,0	19,2	21,6	21,6	17,0	12,5	7,7	3,0	11,6	
Med Tmax	°C	6,6	9,2	14,3	18,3	23,4	28,0	30,5	30,2	24,8	18,5	12,0	7,2	18,6	
Med Tmed	°C	4,3	6,2	10,5	14,3	19,2	23,6	26,1	25,9	20,9	15,5	9,8	5,1	15,1	
N. gg Tmax<=0°C	-	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	
N. gg Tmin<=0°C	-	6,1	3,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	4,1	15,4	
Somma Pmm	mm	34,5	49,7	48,7	66,6	64,9	60,9	37,1	48,8	62,7	83,0	82,9	51,5	691,4	
Max Pmm giorn.(*)	mm	44,2	79	80,2	66,8	62,8	84,7	77,7	99,6	78,7	165,4	72,6	92,6	165,4	05/10/1990
N. gg Pmm>0 e Pmm<1	-	4,2	3,0	2,9	3,4	3,3	2,4	2,5	2,2	2,1	3,8	4,8	5,4	40,0	
N. gg Pmm>=1mm	-	5,6	5,5	6,0	8,1	7,6	5,9	3,5	4,0	6,1	7,3	8,0	6,4	74,1	
N. gg "pioggia" >0 mm	-	9,8	8,5	8,9	11,5	11,0	8,3	6,0	6,2	8,2	11,2	12,8	11,9	114,0	
Somma H neve	cm	7,8	11,3	3,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	4,3	29,5	
Massimo H neve	cm	80	43	40	15	10	0	0	0	0	0	26	89	89	14/12/1844
N. gg neve	-	1,6	1,5	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	5,1	
Somma GG>10°C	-	0,6	3,9	52,0	133,9	284,6	407,0	498,2	492,1	326,9	173,5	38,8	1,1	2412,5	
Somma GG<20°C	-	486,7	390,5	294,1	172,1	52,5	7,9	0,2	0,9	23,6	143,1	304,7	462,4	2338,7	
Media Pressione	hPa	1011,6	1010,0	1007,9	1005,6	1006,6	1007,2	1007,2	1007,0	1008,6	1009,8	1009,0	1010,3	1008,4	
Radiazione solare	MJ/m²	120,1	168,8	287,3	357,4	518,7	534,5	594,2	493,4	328,1	229,2	126	109,9	3713,1	
Umidità media	%	78,9	68,1	60,9	59,8	54,8	53,4	48,3	51,8	58,5	72,3	78,9	78,5	64,2	
Vento Max	km/h	100	96	106	95	93	105	112	106	100,4	76	90	79	112	
Eliofania	ore	94,8	122,1	169	206,8	252	291,9	336,2	309,1	223,3	161,6	95,2	80,2	2328,8	
N. gg ≥30°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	

Tab. 10 – Riepilogo delle medie ed estremi delle principali tabelle del libro "L'Osservatorio di Modena: 180 anni di misure meteorologiche" (gli estremi sono riferiti all'intera serie 1830-2016).

**Bibliografia**

- LOMBROSO L., QUATTROCCHI S., 2008 – *L'Osservatorio di Modena: 180 anni di misure meteorologiche*. Edizioni SMS/SMI - Società Meteorologica Italiana, 312 pp.
- LOMBROSO L., COSTANZINI S., DESPINI F., TEGGI S., 2020 – *Annuario 2019 dell'Osservatorio Geofisico di Modena*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **151**, pp. 5-32.
- LOMBROSO L., COSTANZINI S., DESPINI F., TEGGI S., 2021 – *Annuario 2020 dell'Osservatorio Geofisico di Modena: le osservazioni continuano e l'Osservatorio è nominato Centennial Observing Station WMO*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **152**, pp. 5-35.
- LOMBROSO L., COSTANZINI S., DESPINI F., TEGGI S., 2022 – *Annuario 2021 dell'Osservatorio Geofisico di Modena*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **153**, pp. 5-32.
- LOMBROSO L., COSTANZINI S., DESPINI F., TEGGI S., 2023 – *Annuario 2022 dell'Osservatorio Geofisico di Modena*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **154**, pp. 5-32.

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
gennaio 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/01/23	7,7	11,3	9,5	1023,0	86,0	0,0	0,0	7,6	280	20,5	2,0	3,671
02/01/23	8,8	10,4	9,6	1021,8	91,0	0,0	0,0	6,4	90	15,5	0,0	2,065
03/01/23	8,3	10,2	9,3	1021,6	92,7	0,0	0,0	5,6	90	13,3	0,0	1,312
04/01/23	9,9	12,4	11,2	1021,7	85,3	0,0	0,0	8,2	280	15,8	0,1	1,834
05/01/23	6	12,7	9,4	1014,7	83,3	0,0	0,0	8,5	280	19,4	4,4	5,653
06/01/23	5,9	9,7	7,8	1017,7	86,3	0,0	0,0	5,3	325	11,2	0,0	1,376
07/01/23	9	10,7	9,9	1015,4	78,7	0,0	0,0	7,3	225	15,1	0,0	2,209
08/01/23	8,1	9,7	8,9	1006,4	92,7	1,0	0,0	11,4	90	21,6	0,0	1,270
09/01/23	6,6	11	8,8	995,8	83,0	2,3	0,0	16,3	280	35,3	2,5	3,838
10/01/23	6,3	13,2	9,8	1009,2	42,0	0,0	0,0	18,7	280	47,5	8,1	8,740
11/01/23	5,2	10,3	7,8	1012,1	52,3	0,0	0,0	5,9	225	21,2	3,6	6,730
12/01/23	5,9	11	8,5	1014,7	66,0	0,2	0,0	8,3	280	27,0	4,5	6,911
13/01/23	6,6	9,7	8,2	1010,9	70,3	0,0	0,0	5,5	280	16,6	2,2	4,109
14/01/23	4,1	10,2	7,2	1014,2	74,7	0,0	0,0	7,6	90	24,8	7,0	7,964
15/01/23	5,7	8,4	7,1	1004,9	82,3	9,1	0,0	6,7	280	19,4	0,0	1,801
16/01/23	6,1	8,1	7,1	989,1	86,3	1,8	0,0	11,8	280	37,4	1,4	2,941
17/01/23	4,2	6,8	5,5	980,9	88,7	4,1	0,0	11,8	325	27,7	0,0	0,900
18/01/23	4,9	6,9	5,9	986,4	79,7	0,0	0,0	7,4	280	23,0	0,4	3,238
19/01/23	3	5,7	4,4	995,0	84,7	2,9	0,0	12,7	280	27,4	0,0	1,283
20/01/23	2,8	5,9	4,4	1001,0	81,7	0,6	0,0	15,6	280	26,6	0,6	3,199
21/01/23	3,4	6	4,7	1002,0	53,3	0,0	0,0	14,4	280	31,7	0,0	2,847
22/01/23	3,4	7	5,2	1009,1	70,7	1,9	0,0	12,1	45	47,5	0,0	2,148
23/01/23	2,5	7,4	5,0	1009,4	88,3	22,6	0,0	19,6	280	62,3	0,0	0,862
24/01/23	5,3	9,5	7,4	1020,7	83,3	1,4	0,0	10,7	280	22,0	2,3	6,352
25/01/23	5	9,2	7,1	1016,1	80,7	1,3	0,0	8,6	325	20,9	1,2	4,256
26/01/23	3,6	8,6	6,1	1006,5	66,7	0,0	0,0	9,2	280	21,6	6,2	8,359
27/01/23	3,4	6,3	4,9	1005,6	52,7	0,0	0,0	14,9	45	45,0	2,5	6,556
28/01/23	2,9	6,8	4,9	1011,2	67,0	0,0	0,0	7,3	280	24,5	2,0	4,706
29/01/23	1,7	7,4	4,6	1016,6	64,3	0,0	0,0	7,1	280	16,9	7,7	10,042
30/01/23	1,7	8,2	5,0	1009,9	58,3	0,0	0,0	6,8	225	22,3	6,1	8,999
31/01/23	2,3	10,2	6,3	1014,2	67,0	0,0	0,0	8,9	280	22,0	7,6	10,363
1° decade	7,7	11,1	9,4	1014,7	82,1	3,3	0,0	9,5		47,5	17,1	32,0
2° decade	4,9	8,3	6,6	1000,9	76,7	18,7	0,0	9,3		37,4	19,6	39,1
3° decade	3,2	7,9	5,5	1011,0	68,4	27,2	0,0	10,9		62,3	35,6	65,5
MESE	5,2	9,1	7,1	1009,0	75,5	49,2	0,0	9,9		62,3	72,3	136,5
Min	1,7	5,7	4,4	980,9	42,0	0,0	0,0	5,3		11,2	0,0	0,9
Max	9,9	13,2	11,2	1023,0	92,7	22,6	0,0	19,6		62,3	8,1	10,4
Dev.St.	2,3	2,1	2,0	10,7	13,5	4,3	0,0	4,0		11,6	2,7	2,9

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
febbraio 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMe d (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/02/23	3,9	11,2	7,6	1012,3	62,7	0,0	0,0	5,3	225	18,7	7,7	10,084
02/02/23	4,1	15,2	9,7	1013,0	49,0	0,0	0,0	14,2	280	37,8	8,5	11,356
03/02/23	2,4	10,5	6,5	1016,1	68,7	0,0	0,0	6,6	225	20,9	5,7	9,665
04/02/23	5,8	14,8	10,3	1013,2	65,7	0,0	0,0	10,9	90	42,1	8,5	11,033
05/02/23	2,2	8,9	5,6	1023,0	60,3	0,0	0,0	15,0	90	42,5	4,2	9,344
06/02/23	1,9	6,9	4,4	1025,6	55,3	0,0	0,0	14,9	90	32,4	5,7	9,988
07/02/23	0,4	5,6	3,0	1028,7	47,0	0,0	0,0	7,4	90	21,6	8,1	11,874
08/02/23	-0,6	5,2	2,3	1028,4	54,7	0,0	0,0	15,2	45	37,4	6,7	10,820
09/02/23	-0,4	4,7	2,2	1028,4	47,0	0,0	0,0	8,8	45	29,2	4,8	8,974
10/02/23	-0,3	6,9	3,3	1028,5	42,3	0,0	0,0	9,7	225	22,7	8,1	12,251
11/02/23	0,8	9,4	5,1	1026,2	39,0	0,0	0,0	9,6	225	19,1	6,9	11,527
12/02/23	3,2	12	7,6	1025,1	42,3	0,0	0,0	8,2	90	20,2	8,5	12,371
13/02/23	2,7	11,9	7,3	1028,8	54,3	0,0	0,0	11,2	280	19,8	8,2	12,297
14/02/23	4,3	14,1	9,2	1024,8	52,7	0,0	0,0	8,2	225	20,9	8,2	12,471
15/02/23	5,1	15,5	10,3	1020,7	49,7	0,0	0,0	7,8	280	16,2	8,3	12,859
16/02/23	5,8	13,6	9,7	1020,4	52,3	0,0	0,0	6,8	280	20,5	5,8	10,411
17/02/23	5,8	14,6	10,2	1021,2	55,0	0,0	0,0	9,1	225	16,2	7,9	12,483
18/02/23	6,6	14	10,3	1018,9	62,3	0,0	0,0	7,8	225	18,4	8,2	12,533
19/02/23	7,2	14,3	10,8	1014,7	67,0	0,0	0,0	10,2	225	17,3	5,0	10,580
20/02/23	7,3	14,9	11,1	1018,1	70,0	0,0	0,0	7,8	90	20,2	4,6	11,429
21/02/23	8,1	14,2	11,2	1012,8	69,3	0,0	0,0	7,6	280	20,5	2,2	6,358
22/02/23	9,3	13,1	11,2	1009,4	77,7	0,0	0,0	6,2	90	14,4	0,0	4,549
23/02/23	10,1	14	12,1	1007,5	75,3	0,3	0,0	7,0	90	13,7	0,0	5,456
24/02/23	7,5	15,3	11,4	1003,1	67,7	0,0	0,0	4,4	280	14,4	3,9	10,797
25/02/23	10	15,2	12,6	992,2	72,7	0,1	0,0	6,6	225	19,4	0,7	5,369
26/02/23	3	13	8,0	996,5	78,7	19,5	0,0	37,6	90	72,7	0,0	2,181
27/02/23	3,9	7,4	5,7	1009,2	64,0	0,7	0,0	11,4	45	50,0	0,0	3,808
28/02/23	3,9	8,5	6,2	1013,7	60,7	0,0	0,0	8,6	360	18,4	0,1	6,077
1° decade	1,9	9,0	5,5	1021,7	55,3	0,0	0,0	10,8		42,5	68,0	105,4
2° decade	4,9	13,4	9,2	1021,9	54,5	0,0	0,0	8,7		20,9	71,5	119,0
3° decade	7,0	12,6	9,8	1005,6	70,8	20,6	0,0	11,2		72,7	6,8	44,6
MESE	4,4	11,6	8,0	1017,2	59,4	20,6	0,0	10,1		72,7	146,3	268,9
Min	-0,6	4,7	2,2	992,2	39,0	0,0	0,0	4,4		13,7	0,0	2,2
Max	10,1	15,5	12,6	1028,8	78,7	19,5	0,0	37,6		72,7	8,5	12,9
Dev.St.	3,1	3,5	3,1	9,7	11,1	3,7	0,0	6,1		13,3	3,2	3,1

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
marzo 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/03/23	3,5	5,8	4,7	1008,8	78,0	9,6	0,0	15,0	280	25,6	0,0	1,499
02/03/23	3,8	8,7	6,3	1009,0	81,7	0,4	0,0	12,2	280	23,0	0,0	3,457
03/03/23	6,2	13,3	9,8	1007,9	64,7	0,0	0,0	5,9	280	19,4	6,8	12,544
04/03/23	5,6	14	9,8	1007,7	56,7	0,0	0,0	6,0	280	16,9	8,8	15,965
05/03/23	5,6	15,1	10,4	1002,4	47,3	0,0	0,0	5,9	225	21,6	9,4	16,469
06/03/23	6,3	14,9	10,6	997,3	52,0	0,0	0,0	13,2	90	31,3	5,2	10,888
07/03/23	6,2	17	11,6	995,7	47,0	0,0	0,0	7,9	280	47,2	6,9	16,063
08/03/23	8,9	17	13,0	997,0	55,3	0,0	0,0	5,6	325	19,1	6,6	14,942
09/03/23	11,1	19,1	15,1	996,1	59,7	0,0	0,0	9,0	325	33,8	5,4	14,670
10/03/23	8,5	18,3	13,4	989,8	63,0	0,0	0,0	11,6	90	36,0	8,2	14,935
11/03/23	10,5	22,2	16,4	990,4	36,7	0,0	0,0	17,4	280	41,0	9,4	18,033
12/03/23	8,6	15,8	12,2	1006,0	67,0	0,0	0,0	15,2	90	30,6	5,5	12,982
13/03/23	7,4	16,2	11,8	1008,6	68,3	0,0	0,0	7,0	90	27,0	5,5	13,579
14/03/23	9,2	16,6	12,9	994,3	70,3	0,0	0,0	13,2	325	33,8	4,7	12,403
15/03/23	9,5	14,1	11,8	1003,4	52,7	0,5	0,0	19,2	135	48,2	8,2	16,340
16/03/23	6,8	13,9	10,4	1013,0	40,0	0,1	0,0	15,0	90	40,0	9,3	19,123
17/03/23	4,5	14,2	9,4	1013,4	47,3	0,0	0,0	13,6	90	34,9	8,2	18,216
18/03/23	6,4	16,1	11,3	1010,1	45,7	0,0	0,0	9,8	90	23,0	9,0	18,725
19/03/23	9,1	15,2	12,2	1011,6	63,0	5,7	0,0	7,2	90	33,5	1,7	9,745
20/03/23	10,2	15,7	13,0	1011,1	75,7	6,2	0,0	4,8	90	15,5	1,4	7,765
21/03/23	9,1	18,5	13,8	1008,8	58,0	0,0	0,0	9,6	280	20,9	7,3	18,542
22/03/23	11,9	20,4	16,2	1007,2	54,7	0,0	0,0	6,6	280	21,2	9,0	18,620
23/03/23	12,1	19,9	16,0	1007,3	47,7	0,0	0,0	8,3	280	18,7	7,6	15,447
24/03/23	11,8	20,5	16,2	1006,3	46,0	0,0	0,0	11,4	280	29,9	6,9	16,633
25/03/23	12,6	21,8	17,2	1003,4	38,7	0,0	0,0	13,6	325	35,3	9,4	20,773
26/03/23	9,7	19,4	14,6	999,1	67,0	5,3	0,0	10,9	90	41,8	3,9	13,183
27/03/23	8,5	19,2	13,9	999,2	38,0	0,0	0,0	19,6	325	61,9	9,8	22,063
28/03/23	7,4	15,9	11,7	1015,4	20,7	0,0	0,0	10,4	280	29,5	10,3	22,453
29/03/23	8,9	17,5	13,2	1014,9	37,0	0,0	0,0	8,4	280	21,2	9,1	19,509
30/03/23	11,5	19,8	15,7	1012,3	54,0	0,0	0,0	11,6	325	38,5	7,8	17,615
31/03/23	11,6	18,9	15,3	1001,5	55,0	0,0	0,0	9,8	280	22,0	4,3	14,096
1° decade	6,6	14,3	10,4	1001,2	60,5	10,0	0,0	9,2		47,2	57,4	121,4
2° decade	8,2	16,0	12,1	1006,2	56,7	12,5	0,0	12,2		48,2	62,8	146,9
3° decade	10,5	19,3	14,9	1006,8	47,0	5,3	0,0	10,9		61,9	85,4	198,9
MESE	8,5	16,6	12,5	1004,8	54,5	27,8	0,0	10,8		61,9	205,6	467,3
Min	3,5	5,8	4,7	989,8	20,7	0,0	0,0	4,8		15,5	0,0	1,5
Max	12,6	22,2	17,2	1015,4	81,7	9,6	0,0	19,6		61,9	10,3	22,5
Dev.St.	2,5	3,5	2,9	7,1	13,7	2,4	0,0	4,0		10,7	2,9	4,8

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
aprile 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMe d (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/04/23	11,3	20,9	16,1	997,0	38,0	0,0	0,0	13,1	325	30,6	10,1	22,498
02/04/23	10,8	16,7	13,8	1002,5	66,3	1,4	0,0	7,9	45	30,2	1,7	8,886
03/04/23	9,4	14,9	12,2	1004,7	50,3	0,0	0,0	13,1	90	42,8	7,3	17,254
04/04/23	6,2	10,9	8,6	1007,7	33,7	0,0	0,0	16,0	90	45,7	10,6	23,845
05/04/23	4,8	11,2	8,0	1009,7	31,3	0,0	0,0	11,5	90	35,6	9,9	23,722
06/04/23	4,7	14,8	9,8	1009,9	29,3	0,0	0,0	7,2	225	18,0	9,2	23,121
07/04/23	7,3	16,3	11,8	1006,9	37,0	0,0	0,0	7,8	280	26,6	4,6	15,723
08/04/23	9,1	16,4	12,8	1008,7	50,3	0,0	0,0	13,7	325	39,6	8,2	21,811
09/04/23	9,5	15,9	12,7	1012,6	49,7	0,0	0,0	15,6	90	35,6	8,3	20,848
10/04/23	9,1	16,5	12,8	1014,7	42,7	0,0	0,0	10,0	90	25,6	10,7	23,975
11/04/23	10,8	21,1	16,0	1006,1	44,0	0,0	0,0	8,5	225	23,4	8,2	20,150
12/04/23	10,4	18	14,2	1000,4	72,3	0,0	0,0	9,2	45	25,2	1,5	12,213
13/04/23	9,9	15,8	12,9	993,0	74,3	3,9	0,0	14,3	45	64,8	1,2	10,282
14/04/23	8,7	18,1	13,4	995,4	50,0	6,4	0,0	12,1	280	29,5	6,0	15,933
15/04/23	8,7	17,7	13,2	997,1	52,3	0,0	0,0	13,4	45	42,5	9,9	24,395
16/04/23	10,6	17,5	14,1	1005,0	47,3	0,0	0,0	12,2	90	31,3	9,9	24,487
17/04/23	10,3	15,9	13,1	1006,6	55,3	0,2	0,0	7,9	280	19,8	0,7	6,271
18/04/23	11,8	19,9	15,9	1006,9	45,7	0,0	0,0	12,7	280	34,9	9,0	22,088
19/04/23	13	21	17,0	1005,2	46,7	0,0	0,0	7,4	225	31,7	8,5	22,320
20/04/23	11,6	17,9	14,8	1003,6	78,3	1,9	0,0	19,2	90	43,9	2,1	12,868
21/04/23	11,9	18,5	15,2	1005,9	71,3	0,0	0,0	6,6	90	23,8	1,8	12,449
22/04/23	13	21,2	17,1	1006,1	56,0	0,0	0,0	10,9	280	24,5	7,2	22,312
23/04/23	13,8	23,3	18,6	1002,7	53,0	0,2	0,0	8,6	225	27,4	7,7	21,815
24/04/23	14,1	22,3	18,2	998,5	54,3	0,7	0,0	12,8	325	46,8	8,8	21,608
25/04/23	11,1	16,4	13,8	1000,7	69,7	1,3	0,0	13,9	90	41,0	3,4	15,227
26/04/23	9,7	20,2	15,0	1006,0	43,7	0,0	0,0	11,6	90	29,9	11,5	25,741
27/04/23	10,3	20,8	15,6	1009,7	47,0	0,0	0,0	13,8	90	30,2	11,0	23,696
28/04/23	10,9	22,4	16,7	1009,8	54,3	0,0	0,0	7,2	90	21,6	9,3	23,620
29/04/23	14,7	19,9	17,3	1006,3	68,0	0,1	0,0	10,6	90	23,8	1,0	11,345
30/04/23	12,3	21,1	16,7	1006,9	69,7	0,0	0,0	15,4	90	33,8	3,8	17,064
1° decade	8,2	15,5	11,8	1007,4	42,9	1,4	0,0	11,6		45,7	80,6	201,7
2° decade	10,6	18,3	14,4	1001,9	56,6	12,4	0,0	11,7		64,8	56,8	171,0
3° decade	12,2	20,6	16,4	1005,3	58,7	2,3	0,0	11,1		46,8	65,5	194,9
MESE	10,3	18,1	14,2	1004,9	52,7	16,1	0,0	11,5		64,8	202,9	567,6
Min	4,7	10,9	8,0	993,0	29,3	0,0	0,0	6,6		18,0	0,7	6,3
Max	14,7	23,3	18,6	1014,7	78,3	6,4	0,0	19,2		64,8	11,5	25,7
Dev.St.	2,4	3,1	2,6	5,0	13,3	1,4	0,0	3,2		10,0	3,6	5,5

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
maggio 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/05/23	12,6	17,4	15,0	1006,7	78,3	16,6	0,0	8,5	45	39,2	0,8	7,014
02/05/23	12,3	14,3	13,3	1008,0	92,7	69,1	0,0	13,7	45	46,4	0,0	3,697
03/05/23	12,9	18,9	15,9	1012,8	70,0	9,7	0,0	9,7	280	25,9	4,2	13,997
04/05/23	12,2	21,6	16,9	1012,7	54,3	0,0	0,0	9,6	90	27,0	13,0	26,954
05/05/23	14,3	23,9	19,1	1010,5	50,7	0,0	0,0	9,5	90	24,1	11,4	26,247
06/05/23	16,3	25,1	20,7	1007,5	54,0	0,0	0,0	9,7	90	23,8	11,0	25,593
07/05/23	16,2	25,6	20,9	1007,8	54,0	0,0	0,0	15,0		29,2	9,1	24,634
08/05/23	17,6	22,6	20,1	1010,7	61,7	0,0	0,0	13,4		31,0	4,9	17,725
09/05/23	15,9	21,8	18,9	1008,5	62,0	0,0	0,0	17,0		36,7	5,7	19,531
10/05/23	12	16,8	14,4	1004,0	91,0	39,8	0,0	12,7		37,1	0,0	2,362
11/05/23	13,1	16,2	14,7	1002,9	76,3	4,6	0,0	12,0		28,8	1,1	10,320
12/05/23	13	19	16,0	1005,2	72,0	2,1	0,0	10,6		28,8	6,8	16,658
13/05/23	12,7	18,9	15,8	1009,0	67,0	0,0	0,0	15,1		49,7	5,3	19,910
14/05/23	12,8	17,1	15,0	1004,2	78,3	6,7	0,0	8,8		29,2	0,3	8,270
15/05/23	13,7	20,7	17,2	1000,3	59,3	0,0	0,0	11,0		25,6	10,7	25,539
16/05/23	13,3	17,2	15,3	997,2	84,3	34,1	0,0	9,8		39,6	0,0	3,827
17/05/23	13,1	16,8	15,0	1004,9	85,0	23,7	0,0	7,9		26,6	0,0	6,086
18/05/23	12,9	19,4	16,2	1009,7	64,0	0,0	0,0	9,4		27,0	4,1	18,592
19/05/23	14,6	16,3	15,5	1010,3	84,7	5,6	0,0	11,2		33,1	0,0	5,830
20/05/23	14,7	17,4	16,1	1006,5	87,3	4,3	0,0	5,8		25,6	0,0	3,918
21/05/23	15,6	24,6	20,1	1004,4	64,3	0,2	0,0	10,2		31,3	10,0	24,182
22/05/23	17	25,9	21,5	1005,4	53,7	0,0	0,0	11,6		29,2	12,9	26,872
23/05/23	18	27,8	22,9	1004,6	44,3	0,0	0,0	9,2		22,3	12,9	28,010
24/05/23	18,4	26,9	22,7	1005,0	52,7	0,0	0,0	6,7		32,0	8,1	20,708
25/05/23	18,4	24,6	21,5	1010,7	72,0	0,3	0,0	13,7		29,2	3,4	14,942
26/05/23	17	27,7	22,4	1010,5	49,7	0,1	0,0	9,8		25,2	13,4	28,388
27/05/23	17,9	25,7	21,8	1010,2	62,0	4,0	0,0	14,2		35,6	9,5	23,827
28/05/23	18,3	26,4	22,4	1006,5	50,7	0,0	0,0	9,7		25,6	9,8	25,357
29/05/23	18	26,7	22,4	1006,7	46,3	0,0	0,0	12,1		31,0	10,9	26,525
30/05/23	19,1	26,7	22,9	1007,4	50,0	0,0	0,0	14,4		32,8	8,7	25,087
31/05/23	18,9	25,8	22,4	1009,3	45,7	0,0	0,0	13,6		37,4	11,3	25,787
1° decade	14,2	20,8	17,5	1008,9	66,9	135,2	0,0	11,9		46,4	60,1	167,8
2° decade	13,4	17,9	15,6	1005,0	75,8	81,1	0,0	10,2		49,7	28,3	119,0
3° decade	17,9	26,3	22,1	1007,3	53,8	4,6	0,0	11,4		37,4	110,8	269,7
MESE	15,3	21,8	18,5	1007,1	65,1	220,9	0,0	11,2		49,7	199,2	556,4
Min	12,0	14,3	13,3	997,2	44,3	0,0	0,0	5,8		22,3	0,0	2,4
Max	19,1	27,8	22,9	1012,8	92,7	69,1	0,0	17,0		49,7	13,4	28,4
Dev.St.	2,4	4,2	3,2	3,5	14,6	15,3	0,0	2,6		6,5	4,8	8,9

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
giugno 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/06/23	18,1	26,8	22,5	1007,4	47,7	0,0	0,0	7,9		23,0	11,4	26,483
02/06/23	19,6	28,7	24,2	1004,7	47,3	0,0	0,0	15,0		37,1	9,4	23,932
03/06/23	18,7	26,2	22,5	1007,7	63,7	0,0	0,0	8,0		36,0	4,7	17,809
04/06/23	18,2	25,7	22,0	1008,9	68,0	20,1	0,0	11,3		78,1	5,8	19,766
05/06/23	17,6	21,1	19,4	1008,2	83,0	4,8	0,0	7,0		26,3	0,3	8,654
06/06/23	18,5	25,5	22,0	1007,6	64,0	0,0	0,0	8,6		34,6	7,8	22,888
07/06/23	17,7	25,9	21,8	1008,4	65,7	5,2	0,0	6,8		40,0	6,8	20,243
08/06/23	18,3	28,3	23,3	1005,5	53,7	0,0	0,0	7,9		26,3	11,5	25,966
09/06/23	19,5	28,9	24,2	1004,2	47,0	0,0	0,0	9,1		38,9	9,7	25,342
10/06/23	20,6	25	22,8	1004,2	72,7	6,4	0,0	6,2		25,9	1,3	11,920
11/06/23	19,5	28	23,8	1004,5	56,0	0,0	0,0	12,4		31,0	13,3	27,344
12/06/23	21,2	27,8	24,5	1004,0	53,3	0,0	0,0	10,3		28,8	12,4	26,354
13/06/23	18,8	25,1	22,0	1002,3	72,7	30,0	0,0	15,2		40,0	1,5	11,881
14/06/23	18,4	26,1	22,3	1002,9	60,7	0,1	0,0	7,6		33,8	5,9	20,776
15/06/23	18,9	27,4	23,2	1006,0	46,0	0,0	0,0	8,2		25,6	10,7	26,450
16/06/23	19,6	29,5	24,6	1006,1	43,0	0,6	0,0	6,0		35,6	12,9	27,937
17/06/23	18	29,7	23,9	1006,6	43,0	3,2	0,0	9,5		40,3	12,1	28,693
18/06/23	21,2	31	26,1	1007,9	39,7	0,0	0,0	5,9		24,8	10,6	26,197
19/06/23	21,7	31,9	26,8	1008,3	42,3	0,0	0,0	6,8		31,7	9,9	26,102
20/06/23	23,1	32,8	28,0	1009,4	35,7	0,0	0,0	9,7		22,3	10,8	25,073
21/06/23	23,8	33,5	28,7	1010,1	40,7	0,0	0,0	10,0		24,8	11,0	25,957
22/06/23	25,4	34,1	29,8	1009,4	47,7	0,0	0,0	11,3		22,0	7,5	23,244
23/06/23	24	32,2	28,1	1006,2	50,3	2,1	0,0	11,6		49,3	10,6	23,801
24/06/23	22,5	30,2	26,4	1010,0	40,0	0,1	0,0	13,4		32,0	13,9	29,465
25/06/23	22,4	30,2	26,3	1009,3	39,0	0,0	0,0	8,6		29,9	13,8	29,513
26/06/23	22,6	33,1	27,9	1007,4	39,0	0,0	0,0	8,3		22,0	13,8	29,045
27/06/23	23,5	34,7	29,1	1003,8	43,0	0,0	0,0	7,6		36,0	11,8	26,833
28/06/23	21,2	27	24,1	1006,5	67,0	0,0	0,0	16,4		36,7	4,0	16,849
29/06/23	20,1	29,2	24,7	1008,3	46,3	0,0	0,0	16,2		38,2	11,4	28,600
30/06/23	21	26,3	23,7	1003,9	67,3	1,8	0,0	4,2		24,5	1,0	8,719
1° decade	18,7	26,2	22,4		61,3	36,5	0,0	8,8		78,1	68,7	203,0
2° decade	20,0	28,9	24,5		49,2	33,9	0,0	9,2		40,3	100,0	246,8
3° decade	22,7	31,1	26,9		48,0	4,0	0,0	10,8		49,3	98,6	242,0
MESE	20,5	28,7	24,6	1006,7	52,8	74,4	0,0	9,6		78,1	267,3	691,8
Min	17,6	21,1	19,4		35,7	0,0	0,0	4,2		22,0	0,3	8,7
Max	25,4	34,7	29,8		83,0	30,0	0,0	16,4		78,1	13,9	29,5
Dev.St.	2,2	3,2	2,6		12,6	6,5	0,0	3,2		10,9	4,1	6,1

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
luglio 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/07/23	20,6	28,5	24,6	1000,6	61,0	0,0	0,0	12,4		23,0	8,2	23,4
02/07/23	22,6	31,2	26,9	1002,0	50,7	0,0	0,0	4,8		22,0	12,5	26,6
03/07/23	21,4	31,2	26,3	1004,5	58,0	6,7	0,0	16,4		56,2	8,5	21,3
04/07/23	19,4	29,4	24,4	1006,5	53,3	0,0	0,0	12,2		34,6	11,9	27,9
05/07/23	21,2	30,3	25,8	1006,2	53,3	0,0	0,0	11,5		27,7	10,4	27,3
06/07/23	22	27,1	24,6	1008,9	61,3	0,0	0,0	15,8		37,1	4,4	17,5
07/07/23	21,4	30,1	25,8	1013,0	48,3	0,0	0,0	13,3		29,2	13,7	28,7
08/07/23	20,6	31,8	26,2	1012,5	44,3	0,0	0,0	7,8		28,1	12,9	27,6
09/07/23	24,1	34	29,1	1012,9	43,7	0,0	0,0	5,5		22,0	13,6	28,1
10/07/23	26,6	35,8	31,2	1011,6	46,3	0,0	0,0	8,8		27,0	13,5	27,4
11/07/23	26,6	36,3	31,5	1008,8	43,7	0,0	0,0	5,0		22,7	13,2	27,1
12/07/23	26,6	34,6	30,6	1006,5	62,7	0,0	0,0	14,3		40,3	8,3	23,4
13/07/23	24,5	31	27,8	1006,5	59,3	0,0	0,0	7,3		23,8	6,0	17,0
14/07/23	23,5	32,1	27,8	1008,6	61,7	0,0	0,0	14,5		30,2	7,4	22,9
15/07/23	25,4	34,1	29,8	1007,9	43,3	0,0	0,0	7,9		28,8	13,3	27,5
16/07/23	26	36	31,0	1007,2	43,7	0,0	0,0	5,9		24,5	13,5	27,5
17/07/23	27,1	35,9	31,5	1008,6	39,3	0,0	0,0	10,0		24,8	13,3	27,3
18/07/23	27,9	36,1	32,0	1008,5	46,3	0,0	0,0	12,7		34,9	12,0	26,6
19/07/23	27,2	35,9	31,6	1003,0	50,3	0,0	0,0	8,0		50,8	10,6	24,2
20/07/23	23	32,9	28,0	1001,7	53,0	0,0	0,0	9,1		46,1	12,7	26,6
21/07/23	25	33,4	29,2	1001,0	58,3	0,0	0,0	12,6		47,9	9,0	21,7
22/07/23	22,8	31,4	27,1	1005,5	56,7	2,3	0,0	6,5		55,1	10,9	24,3
23/07/23	23	32,4	27,7	1007,5	54,3	0,0	0,0	5,8		20,9	9,8	24,3
24/07/23	22,9	32,1	27,5	1001,9	63,0	0,0	0,0	17,3		40,0	6,3	18,8
25/07/23	22,7	32	27,4	993,9	52,7	0,0	0,0	15,0		39,6	8,4	21,0
26/07/23	22	30	26,0	1000,9	40,3	0,0	0,0	11,3		36,4	13,3	26,3
27/07/23	18,1	29,2	23,7	1006,9	49,0	0,0	0,0	11,8		31,7	13,3	27,6
28/07/23	21,6	30,3	26,0	1005,6	43,0	0,0	0,0	6,4		21,2	9,0	23,5
29/07/23	23,6	32,2	27,9	1005,2	46,3	0,0	0,0	8,2		23,4	13,2	25,3
30/07/23	24,3	31,9	28,1	1004,4	50,3	0,0	0,0	6,6		35,6	12,9	25,3
31/07/23	23,3	31,8	27,6	1004,4	57,7	0,0	0,0	8,2		26,6	8,9	22,9
1° decade	22,0	30,9	26,5	1007,9	52,0	6,7	0,0	10,9		56,2	109,5	255,7
2° decade	25,8	34,5	30,1	1006,7	50,3	0,0	0,0	9,5		50,8	110,2	250,2
3° decade	22,7	31,5	27,1	1003,4	52,0	2,3	0,0	9,9		55,1	115,0	261,0
MESE	23,5	32,3	27,9	1005,9	51,5	9,0	0,0	10,1		56,2	334,7	767,0
Min	18,1	27,1	23,7	993,9	39,3	0,0	0,0	4,8		20,9	4,4	17,0
Max	27,9	36,3	32,0	1013,0	63,0	6,7	0,0	17,3		56,2	13,7	28,7
Dev.St.	2,4	2,4	2,4	4,1	7,1	1,3	0,0	3,7		10,2	2,7	3,2

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
agosto 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/08/23	23,8	33	28,4	996,8	42,7	0,0	0,0	12,8		38,2	8,1	21,1
02/08/23	21,8	32,3	27,1	998,6	54,7	0,0	0,0	13,1		33,5	11,6	26,0
03/08/23	24,1	34,7	29,4	997,7	48,3	0,0	0,0	14,6		34,9	8,6	20,5
04/08/23	20,3	29,1	24,7	999,1	40,0	0,3	0,0	6,5		40,0	0,4	6,3
05/08/23	18	24,7	21,4	999,5	66,3	19,6	0,0	14,9		39,2	1,5	11,0
06/08/23	20	29,9	25,0	997,5	32,7	0,0	0,0	17,4		45,0	12,9	27,4
07/08/23	19,6	28	23,8	1004,8	29,7	0,0	0,0	16,6		36,7	13,4	27,8
08/08/23	19	28,6	23,8	1008,7	30,3	0,0	0,0	7,8		24,5	11,6	25,9
09/08/23	20,5	29,2	24,9	1008,0	37,0	0,0	0,0	9,1		32,8	11,1	23,9
10/08/23	20,7	30	25,4	1010,4	50,7	0,0	0,0	11,6		34,2	12,7	25,7
11/08/23	21,2	30,8	26,0	1013,7	52,7	0,1	0,0	8,5		30,2	13,0	25,4
12/08/23	20,9	32	26,5	1012,2	49,7	0,0	0,0	7,1		24,5	13,1	25,1
13/08/23	23,6	32,6	28,1	1010,4	51,0	0,0	0,0	9,0		24,1	12,8	24,5
14/08/23	23,8	33,2	28,5	1009,8	49,3	0,0	0,0	11,6		30,6	11,0	23,6
15/08/23	23,6	33,2	28,4	1008,8	46,7	0,0	0,0	6,0		26,3	10,3	23,7
16/08/23	24,9	33,3	29,1	1009,2	47,0	0,0	0,0	9,0		27,0	11,0	23,8
17/08/23	25,3	32,5	28,9	1008,1	49,7	0,0	0,0	6,4		27,7	6,7	16,5
18/08/23	24,8	33,2	29,0	1008,0	48,3	0,0	0,0	4,7		23,4	11,3	23,6
19/08/23	25,4	34,2	29,8	1009,1	48,0	0,0	0,0	7,4		23,4	11,7	23,7
20/08/23	25,8	34,3	30,1	1011,2	46,0	0,1	0,0	7,1		29,5	11,7	23,7
21/08/23	26,5	34,9	30,7	1012,2	43,7	0,0	0,0	8,6		22,3	11,5	23,6
22/08/23	26,7	35,8	31,3	1009,9	41,0	0,0	0,0	7,4		24,5	11,5	23,5
23/08/23	26,9	37,2	32,1	1007,8	35,3	0,0	0,0	3,8		19,4	10,8	23,5
24/08/23	27,1	37,6	32,4	1007,3	34,7	0,0	0,0	8,9		25,2	8,6	23,0
25/08/23	26,8	37,6	32,2	1004,5	39,0	0,0	0,0	4,8		22,0	9,5	22,6
26/08/23	25,8	36,1	31,0	1002,9	42,7	0,0	0,0	8,6		29,2	8,2	21,5
27/08/23	25,1	30,4	27,8	999,7	52,0	0,0	0,0	6,8		29,9	0,3	9,5
28/08/23	23,6	29	26,3	991,1	62,7	0,0	0,0	16,2		61,6	3,2	11,7
29/08/23	18,1	22,1	20,1	994,1	73,0	22,4	0,0	14,3		33,1	0,0	5,6
30/08/23	18,8	25	21,9	998,6	54,3	0,0	0,0	4,6		31,0	8,2	21,4
31/08/23	19,3	27,1	23,2	1006,0	51,0	0,0	0,0	1,8		20,5	6,0	18,2
1° decade	20,8	30,0	25,4	1002,1	43,2	19,9	0,0	12,4		45,0	91,8	215,4
2° decade	23,9	32,9	28,4	1010,1	48,8	0,2	0,0	7,7		30,6	112,5	233,6
3° decade	24,1	32,1	28,1	1003,1	48,1	22,4	0,0	7,8		61,6	77,7	204,1
MESE	23,0	31,7	27,3	1005,0	46,8	42,5	0,0	9,3		61,6	282,1	653,2
Min	18,0	22,1	20,1	991,1	29,7	0,0	0,0	1,8		19,4	0,0	5,6
Max	27,1	37,6	32,4	1013,7	73,0	22,4	0,0	17,4		61,6	13,4	27,8
Dev.St.	2,9	3,8	3,3	6,0	9,8	5,3	0,0	4,1		8,5	4,1	6,0

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
settembre 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/09/23	19,3	27,8	23,6	1010,6	49,3	0,0	0,0	5,9		20,9	9,6	22,270
02/09/23	21,1	29,5	25,3	1012,6	49,7	0,0	0,0	5,2		19,8	9,6	22,282
03/09/23	22	30,8	26,4	1014,0	52,0	0,0	0,0	6,7		27,7	7,6	20,891
04/09/23	21,5	28,8	25,2	1014,2	52,7	0,0	0,0	13,0		40,0	9,7	21,327
05/09/23	22	26,3	24,2	1013,6	44,3	0,0	0,0	11,5		40,7	8,3	18,727
06/09/23	19,5	28,3	23,9	1012,9	44,0	0,0	0,0	4,8		29,9	10,8	22,078
07/09/23	19,9	28,9	24,4	1012,5	46,0	0,0	0,0	8,2		26,6	9,9	21,692
08/09/23	20,7	29,3	25,0	1011,7	44,7	0,0	0,0	8,2		20,5	9,8	21,205
09/09/23	20,3	29,9	25,1	1010,7	44,0	0,0	0,0	6,0		20,9	9,9	21,072
10/09/23	20,9	29,8	25,4	1010,5	43,3	0,0	0,0	0,1		20,5	9,8	20,879
11/09/23	21,3	30,8	26,1	1007,4	42,7	0,0	0,0	4,7		20,2	9,8	20,708
12/09/23	22	31,7	26,9	1006,7	44,0	0,0	0,0	3,2		19,1	9,1	18,974
13/09/23	23,1	28,8	26,0	1008,1	45,0	0,0	0,0	2,6		25,2	6,0	13,930
14/09/23	21,6	28,8	25,2	1009,5	57,3	1,0	0,0	7,6		36,7	7,4	18,633
15/09/23	20	25,7	22,9	1010,5	71,0	0,9	0,0	5,8		24,1	6,9	13,542
16/09/23	20,2	25,4	22,8	1010,7	76,3	0,5	0,0	7,9		22,7	4,8	12,148
17/09/23	21,5	28,1	24,8	1011,2	66,7	0,0	0,0	3,6		16,6	5,3	15,369
18/09/23	22,6	25,5	24,1	1006,7	76,3	0,1	0,0	10,0		25,6	0,2	5,344
19/09/23	21,5	28,8	25,2	1005,9	60,0	0,0	0,0	1,6		22,7	9,0	18,656
20/09/23	20,5	25,7	23,1	1007,8	62,3	0,0	0,0	3,1		15,8	0,0	6,791
21/09/23	19,8	27	23,4	1001,3	62,3	0,0	0,0	4,0		20,9	4,9	13,624
22/09/23	20,2	24,6	22,4	997,4	73,3	0,8	0,0	0,5		23,4	0,1	3,682
23/09/23	16,8	25,6	21,2	1002,9	53,3	0,1	0,0	8,3		45,4	5,6	15,170
24/09/23	16,3	23,3	19,8	1012,3	52,3	0,0	0,0	13,3		31,0	9,0	18,790
25/09/23	15,1	24,9	20,0	1014,0	49,7	0,0	0,0	7,7		24,1	9,9	18,576
26/09/23	17,5	26,3	21,9	1013,2	52,7	0,0	0,0	9,4		22,0	7,7	16,966
27/09/23	18,1	27,3	22,7	1012,1	50,0	0,0	0,0	5,9		28,4	8,8	17,258
28/09/23	18,2	27,2	22,7	1011,7	47,7	0,0	0,0	7,0		22,7	8,8	15,759
29/09/23	18,2	27	22,6	1013,6	44,0	0,0	0,0	3,7		17,3	9,5	17,151
30/09/23	18,6	27,9	23,3	1013,9	40,7	0,0	0,0	5,5		20,2	9,0	16,830
1° decade	20,7	28,9	24,8	1012,3	47,0	0,0	0,0	6,9		40,7	95,1	212,4
2° decade	21,4	27,9	24,7	1008,4	60,2	2,5	0,0	5,0		36,7	58,5	144,1
3° decade	17,9	26,1	22,0	1009,3	52,6	0,9	0,0	6,5		45,4	73,4	153,8
MESE	20,0	27,7	23,8	1010,0	53,3	3,4	0,0	6,2		45,4	227,0	510,3
Min	15,1	23,3	19,8	997,4	40,7	0,0	0,0	0,1		15,8	0,0	3,7
Max	23,1	31,7	26,9	1014,2	76,3	1,0	0,0	13,3		45,4	10,8	22,3
Dev.St.	1,9	2,0	1,8	4,1	10,6	0,3	0,0	3,3		7,3	3,0	4,9

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
ottobre 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/10/23	18,6	27,3	23,0	1016,4	43,7	0,0	0,0	3,1		20,9	9,2	16,724
02/10/23	18,4	27,8	23,1	1016,9	46,3	0,0	0,0	2,2		16,9	9,1	16,438
03/10/23	18,4	27,5	23,0	1013,6	48,7	0,0	0,0	5,2		20,5	9,2	15,954
04/10/23	19,2	26	22,6	1015,5	62,0	0,0	0,0	7,4		31,7	6,0	13,170
05/10/23	18,5	25,8	22,2	1015,8	56,7	0,0	0,0	4,4		17,6	8,8	14,689
06/10/23	19,4	25,4	22,4	1017,0	59,3	0,0	0,0	3,6		18,0	7,0	13,409
07/10/23	18,2	26,1	22,2	1015,8	57,3	0,0	0,0	4,0		17,3	8,6	14,966
08/10/23	18,9	29,6	24,3	1014,7	49,7	0,0	0,0	3,7		24,1	8,5	15,088
09/10/23	20,7	30,4	25,6	1012,5	40,7	0,0	0,0	8,3		25,2	8,8	15,346
10/10/23	20,4	28,1	24,3	1012,3	48,3	0,0	0,0	6,6		23,0	8,7	15,041
11/10/23	18,6	25	21,8	1014,0	65,0	0,0	0,0	2,8		14,8	5,2	10,589
12/10/23	14,2	25,9	20,1	1012,8	57,7	9,7	0,0	9,8		19,1	5,3	11,884
13/10/23	18,1	25,8	22,0	1012,8	53,0	0,0	0,0	7,4		17,6	6,5	12,404
14/10/23	17,5	25,8	21,7	1006,2	46,7	0,0	0,0	8,2		20,9	7,8	13,779
15/10/23	16,1	24,8	20,5	1002,7	62,7	0,0	0,0	16,0		42,8	5,3	11,695
16/10/23	12,7	18	15,4	1011,4	52,0	0,0	0,0	7,6		28,8	0,0	5,725
17/10/23	12,7	18,2	15,5	1009,8	48,0	0,0	0,0	13,7		27,4	4,6	11,846
18/10/23	11,4	15,1	13,3	1006,9	67,7	18,2	0,0	7,1		20,2	0,0	2,252
19/10/23	11,5	13,9	12,7	996,2	81,0	14,1	0,0	7,3		19,8	0,0	1,860
20/10/23	12,2	25,8	19,0	983,2	61,7	2,2	0,0	24,0		63,0	1,5	5,999
21/10/23	15	23	19,0	993,7	64,0	0,2	0,0	9,6		22,3	4,3	8,411
22/10/23	13,5	21,8	17,7	1003,8	54,0	0,0	0,0	10,9		20,9	7,0	12,794
23/10/23	13	20,6	16,8	1008,6	56,0	0,0	0,0	10,4		23,8	3,3	9,915
24/10/23	15	17,2	16,1	998,4	85,7	11,7	0,0	7,3		27,0	0,0	2,349
25/10/23	13,5	18,8	16,2	996,6	80,0	0,0	0,0	6,2		24,8	3,9	7,708
26/10/23	13,9	17,2	15,6	993,8	83,0	1,7	0,0	9,4		19,4	0,0	4,325
27/10/23	15,4	23	19,2	987,8	66,7	1,9	0,0	15,6		46,8	8,3	12,562
28/10/23	15,1	22,4	18,8	987,8	66,7	0,0	0,0	15,6		47,2	7,6	11,458
29/10/23	12,7	17,9	15,3	998,4	43,0	0,0	0,0	13,6		22,7	0,0	5,605
30/10/23	13,8	21,4	17,6	1005,1	72,0	7,5	0,0	9,7		50,0	0,2	2,935
31/10/23	14,1	21,5	17,8	998,5	82,7	1,2	0,0	16,1		67,7	6,9	11,471
1° decade	19,1	27,4	23,2	1015,0	51,3	0,0	0,0	4,8		31,7	83,8	150,8
2° decade	14,5	21,8	18,2	1005,6	59,5	44,2	0,0	10,4		63,0	36,2	88,0
3° decade	14,1	20,4	17,3	997,5	68,5	24,2	0,0	11,3		67,7	41,4	89,5
MESE	15,8	23,1	19,5	1005,8	60,1	68,4	0,0	8,9		67,7	161,4	328,4
Min	11,4	13,9	12,7	983,2	40,7	0,0	0,0	2,2		14,8	0,0	1,9
Max	20,7	30,4	25,6	1017,0	85,7	18,2	0,0	24,0		67,7	9,2	16,7
Dev.St.	2,8	4,4	3,5	9,8	12,8	4,8	0,0	4,9		13,7	3,4	4,6

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
novembre 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca cm	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/11/23	10,7	15,4	13,1	998,0	46,7	0,6	0,0	20,4		24,5	0,4	4,669
02/11/23	11,8	20	15,9	1005,0	80,3	7,0	0,0	9,0		46,1	0,2	4,393
03/11/23	11,4	16,8	14,1	987,0	77,3	3,8	0,0	15,5		55,1	3,2	6,838
04/11/23	8,5	14,7	11,6	980,6	55,7	0,0	0,0	14,4		27,0	5,7	10,372
05/11/23	10,9	18	14,5	989,0	69,7	1,0	0,0	10,9		52,6	7,9	11,285
06/11/23	10,4	19,4	14,9	986,6	72,0	0,0	0,0	9,7		30,6	8,0	10,998
07/11/23	9,6	18	13,8	1003,2	58,7	0,0	0,0	8,4		38,2	8,3	10,894
08/11/23	9,2	14,9	12,1	1007,4	55,7	0,0	0,0	7,9		21,6	7,6	10,355
09/11/23	7,8	15	11,4	1012,2	64,3	0,5	0,0	7,1		28,1	3,2	7,162
10/11/23	9,8	12,2	11,0	1007,8	71,0	1,3	0,0	11,5		23,0	0,0	3,334
11/11/23	7,1	14,5	10,8	997,9	78,7	0,0	0,0	8,2		16,2	8,2	10,842
12/11/23	6,6	12,1	9,4	998,7	64,0	0,0	0,0	7,6		21,2	2,5	7,169
13/11/23	7,3	13,8	10,6	1003,0	74,3	0,0	0,0	9,0		18,7	6,1	9,059
14/11/23	8	14,6	11,3	1008,2	68,0	0,0	0,0	9,1		23,0	4,5	7,904
15/11/23	9,5	17,1	13,3	1005,4	74,3	0,0	0,0	7,8		32,4	4,7	7,894
16/11/23	8,7	14,1	11,4	1007,1	68,0	0,0	0,0	11,8		28,8	2,4	7,046
17/11/23	8	18,1	13,1	1007,9	64,0	0,0	0,0	5,5		52,6	8,4	10,165
18/11/23	7,5	15,3	11,4	1004,4	43,3	0,0	0,0	17,4		27,0	8,3	9,953
19/11/23	7	14,9	11,0	1014,7	41,7	0,0	0,0	8,0		15,8	7,7	9,322
20/11/23	7,5	13,9	10,7	1010,9	50,3	0,0	0,0	4,8		16,2	5,4	8,230
21/11/23	9,6	11,8	10,7	1006,2	66,7	3,3	0,0	9,2		29,9	0,0	1,993
22/11/23	8,5	14,1	11,3	1000,2	79,0	0,0	0,0	10,4		22,7	6,1	7,282
23/11/23	6,6	13	9,8	1007,9	64,7	0,0	0,0	7,0		18,0	8,2	8,932
24/11/23	5,8	12,5	9,2	1012,6	62,0	0,0	0,0	7,7		18,0	7,6	8,587
25/11/23	5,4	11,3	8,4	994,0	60,0	0,0	0,0	7,9		42,5	8,3	9,344
26/11/23	6,1	12,5	9,3	997,9	33,7	0,0	0,0	19,0		32,8	8,2	9,230
27/11/23	4,7	7,7	6,2	1003,9	30,3	0,7	0,0	9,8		16,6	0,6	3,307
28/11/23	5	9,3	7,2	1001,4	52,3	0,3	0,0	7,2		23,8	6,3	7,490
29/11/23	3,6	9,1	6,4	987,1	67,3	0,0	0,0	10,0		18,0	7,5	8,168
30/11/23	5	7,7	6,4	998,9	61,3	0,1	0,0	6,7		17,6	0,0	0,917
1° decade	10,0	16,4	13,2	997,7	65,1	14,2	0,0	11,5		55,1	44,5	80,3
2° decade	7,7	14,8	11,3	1005,8	62,7	0,0	0,0	8,9		52,6	57,9	87,6
3° decade	6,0	10,9	8,5	1001,0	57,7	4,4	0,0	9,5		42,5	52,9	65,2
MESE	7,9	14,1	11,0	1001,5	61,8	18,6	0,0	10,0		55,1	155,3	233,1
01/11/23	3,6	7,7	6,2	980,6	30,3	0,0	0,0	4,8		15,8	0,0	0,9
Max	11,8	20,0	15,9	1014,7	80,3	7,0	0,0	20,4		55,1	8,4	11,3
Dev.St.	2,1	3,2	2,5	8,6	13,1	1,5	0,0	3,8		11,6	3,1	2,8

Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" Università degli studi di Modena e Reggio Emilia												
Osservatorio Geofisico Piazza Roma 22 - Modena - lat.N.44° 38' 50.76" - long.E 10° 55' 45.50"												
dicembre 2023												
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmed2 (°C)	PressMed (hPa)	Umed (%)	Prec Tot (mm)	Neve Fresca (cm)	VelVento Med (km/h)	DirVento domin.	VelVento Max (km/h)	ore sole	Rad.sol MJ/m2
01/12/23	5,1	9,1	7,1	996,9	78,0	0,1	0,0	9,7		29,5	0,0	1,927
02/12/23	6,6	14,4	10,5	989,8	84,3	1,8	0,0	8,5		81,7	4,0	4,903
03/12/23	4,4	8,9	6,7	987,9	63,0	0,0	0,0	20,8		25,2	7,9	8,075
04/12/23	1,5	4,4	3,0	1012,7	64,3	1,3	0,0	9,0		17,3	0,0	1,991
05/12/23	1,5	4,6	3,1	1013,0	71,7	2,4	1,0	5,0		25,6	0,0	1,851
06/12/23	2,8	7,6	5,2	1004,4	80,3	0,0	0,0	11,9		25,2	7,8	7,948
07/12/23	2,4	8,6	5,5	1005,0	66,3	0,0	0,0	8,8		28,8	7,9	8,016
08/12/23	2,1	4,3	3,2	1011,1	64,7	1,4	0,0	7,9		23,0	0,0	1,199
09/12/23	3,8	7,5	5,7	1008,4	78,7	0,1	0,0	9,4		17,6	2,9	5,303
10/12/23	4,3	10,1	7,2	1009,3	73,7	0,0	0,0	11,2		32,0	6,5	7,476
11/12/23	3,7	5,9	4,8	1007,5	73,7	0,0	0,0	11,8		16,9	0,0	2,214
12/12/23	2,6	8,5	5,6	1005,5	87,3	0,1	0,0	7,9		18,4	0,0	2,935
13/12/23	6,6	7,7	7,2	1004,0	82,7	2,6	0,0	5,4		17,3	0,0	0,886
14/12/23	6,1	10,5	8,3	993,7	87,3	0,0	0,0	8,9		24,1	2,0	3,475
15/12/23	3,5	10,3	6,9	1004,3	82,7	0,0	0,0	10,0		19,1	7,8	7,379
16/12/23	3,3	9,1	6,2	1020,1	71,7	0,0	0,0	5,8		24,1	7,7	7,496
17/12/23	3,2	9,4	6,3	1030,1	69,3	0,0	0,0	9,5		23,4	7,7	7,636
18/12/23	3,8	11,2	7,5	1031,4	66,3	0,0	0,0	11,0		20,2	7,8	7,952
19/12/23	5,4	12	8,7	1025,7	60,0	0,0	0,0	10,8		23,0	7,9	7,760
20/12/23	4,5	8,1	6,3	1016,4	56,3	0,0	0,0	8,3		18,4	0,4	2,380
21/12/23	3,8	9,2	6,5	1005,2	66,3	0,0	0,0	7,2		19,8	3,8	5,573
22/12/23	5,3	17,9	11,6	1000,2	71,0	0,0	0,0	7,7		67,3	7,9	7,905
23/12/23	14,1	21,8	18,0	993,7	31,7	0,0	0,0	26,2		45,4	7,6	6,613
24/12/23	7,8	14,1	11,0	998,5	23,3	0,0	0,0	21,6		21,6	7,3	6,836
25/12/23	7	13,9	10,5	1005,5	53,0	0,0	0,0	10,1		15,8	7,7	7,283
26/12/23	6,7	13,7	10,2	1010,0	62,3	0,0	0,0	9,4		16,9	6,9	7,131
27/12/23	8,7	11,6	10,2	1012,2	66,7	0,0	0,0	7,0		18,0	0,0	2,088
28/12/23	7	12,6	9,8	1018,3	66,7	0,0	0,0	5,3		14,0	6,0	6,680
29/12/23	7,7	12,7	10,2	1018,5	69,0	0,0	0,0	7,7		14,8	5,9	6,582
30/12/23	9,1	11,5	10,3	1014,2	67,7	0,5	0,0	4,1		16,6	0,0	2,200
31/12/23	8,4	9,5	9,0	1013,0	80,3	0,4	0,0	6,7		29,9	0,0	1,015
1° decade	3,5	8,0	5,7	1003,8	72,5	7,1	1,0	10,2		81,7	36,9	48,7
2° decade	4,3	9,3	6,8	1013,9	73,7	2,7	0,0	8,9		24,1	41,2	50,1
3° decade	7,8	13,5	10,6	1008,1	59,8	0,9	0,0	10,3		67,3	52,9	59,9
MESE	5,3	10,3	7,8	1008,6	68,4	10,7	1,0	9,8		81,7	131,1	158,7
Min	1,5	4,3	3,0	987,9	23,3	0,0	0,0	4,1		14,0	0,0	0,9
Max	14,1	21,8	18,0	1031,4	87,3	2,6	1,0	26,2		81,7	7,9	8,1
Dev.St.	2,7	3,8	3,1	10,7	14,0	0,7	0,2	4,8		14,7	3,5	2,7



**Paolo Balocchi\* , William W. Little\*\***

# **Quaternary geology and geological map of the Roteglia Basin within the River Secchia valley (Italy) with evidence for the Canossa-San Romano Fault System and inversion tectonic activity**

## ***Abstract***

*This report and accompanying geological map are the culmination of a several year study on the influence of the Canossa-San Romano normal fault system on Quaternary deposition and geomorphology within the Roteglia Basin (northern Italy). Quaternary sedimentary deposits that flank the River Secchia in the study area have led to new interpretations regarding the timing of tectonic activity along the north-eastern margin of the Apennines and have raised questions regarding regional stratigraphic correlation of Quaternary stratigraphic units. A small depositional basin, named during this study as the Roteglia Basin, has been formed where the Canossa-San Romano Fault System crosses the R. Secchia. This fault system is comprised of the Canossa-San Romano primary fault and two subordinate synthetic faults, named the Border and Argontello Faults. Adjacent to the R. Secchia is a set of three strath terraces, dating from 220 to 22 ka, that were cut by the river as the mountain front continued to rise. These terraces have also been offset by the Canossa-San Romano and its subordinate faults, indicating a continuous but slow regional uplift of the Apennines until at least the late Pleistocene, with likely activity to the present. Additionally, stratigraphic units covering the strath terraces have been interpreted in prior studies to tentatively correlate to fluvial fan deposits near the town of Sassuolo. However, subsequent to development of the final strath surface, the Argontello and Border faults both created blockages to the R. Secchia, resulting in ponding and sediment accumulation in the Roteglia Basin, which resulted in temporary sediment starvation and formation of an intraformational unconformity downstream in the Sassuolo area. If this process were repeated throughout formation and incision of the strath terrace succession, it is likely that deposition between Roteglia and Sassuolo is at least partially out of phase, making currently accepted correlations questionable. These events are recorded in the Quaternary stratigraphy of the Roteglia Basin as documented on the geological map.*

---

\* Geologist, independent researcher, MODENA, Italy; e-mail: geobalocchi@gmail.com.

\*\* W.W. Little Geological Consulting LLC, WELLINGTON, Utah, USA; e-mail: william.little@wwlittle.com.

## **Riassunto**

**Geologia quaternaria e carta geologica del Bacino di Roteglia all'interno della valle del Fiume Secchia con evidenze dell'attività di inversione tettonica del sistema di faglie Canossa-San Romano.** Questo articolo e la mappa allegata sono il risultato finale di uno studio durato diversi anni riguardo all'influenza del sistema di faglie Canossa-San Romano sulla deposizione quaternaria e sulla geomorfologia all'interno del bacino di Roteglia. I depositi sedimentari quaternari che fiancheggiano il Fiume Secchia nella zona di Roteglia, hanno portato a nuove interpretazioni riguardo alla tempistica dell'attività tettonica lungo il margine nord-orientale della catena dell'Appennino e hanno sollevato interrogativi sulla correlazione stratigrafica regionale per le unità stratigrafiche quaternarie. Nel punto in cui il Secchia è attraversato dal sistema di faglia Canossa-San Romano, si è formato un piccolo bacino deposizionale, denominato in questo studio Bacino di Roteglia. Questo sistema di faglie è composto dalla faglia primaria di Canossa-San Romano e da due faglie sintetiche secondarie chiamate Faglia Bordiera e Faglia dell'Argontello. Adiacente al Secchia si trova un insieme di tre terrazzi risalenti da 220 al 22 ka che sono stati incisi dal fiume durante il continuo sollevamento dell'Appennino. Questi terrazzi sono stati compensati dalla faglia normale di Canossa-San Romano e dalle sue faglie subordinate, indicando un continuo ma lento sollevamento regionale della catena montuosa dell'Appennino almeno fino al tardo Pleistocene, con probabile attività fino al presente. Inoltre, le unità stratigrafiche che ricoprono i terrazzi fluviali sono state interpretate in studi precedenti per correlazione ai depositi di conoidi fluviale vicino a Sassuolo; tuttavia, in seguito allo sviluppo della superficie di strath terrazzato finale, le faglie dell'Argontello e Bordiera hanno entrambe creato zone del Secchia, con conseguente ristagno e accumulo di sedimenti nel Bacino di Roteglia, che avrebbero provocato una temporanea carenza di sedimenti e la formazione di una discordanza intraformazionale a valle, nell'area di Sassuolo. Se questo processo si è ripetuto durante tutta la formazione e l'incisione della successione dei terrazzi di strath, è probabile che la deposizione tra Roteglia e Sassuolo sia almeno parzialmente sfasata, rendendo discutibili le correlazioni attualmente accettate. Questi eventi sono registrati nella stratigrafia quaternaria del Bacino di Roteglia e descritte nella carta geologica allegata.

**Keywords:** *Canossa-San Romano Fault, Roteglia Basin, Tectonic-sedimentary evolution, Quaternary geology, Inversion tectonics, Italy*

**Parole chiave:** *Faglia Canossa-San Romano, Bacino di Roteglia, Evoluzione tettonico-sedimentaria, Geologia del Quaternario, Inversione tettonica*

## **1. Introduction**

This report and accompanying map are the culmination of a several-year study regarding the influence of the Canossa-San Romano Fault System on Quaternary deposition and morphology within the Roteglia Basin, which was first identified and defined by Balocchi & Little (Balocchi & Little, 2020, 2021, 2022). It is located within the River Secchia valley between the villages of Roteglia to the south and Castellarano to the north (Fig. 1) and is the product

of alternating episodes of uplift and deposition along the rising north-eastern slope of the Northern Apennines. Though other tectonic elements are present within the region, the primary feature associated with the development of the Roteglia Basin is the Canossa-San Romano Fault System, which consists of a primary fault and two secondary synthetic faults, named the Argontello and Border faults, all three of which cut across the R. Secchia to form this basin. A separate, unnamed fault system is developed longitudinally to the course of the R. Secchia, parallel to the Monte Scisso Fault System, and is responsible for the river course. A complex history of basin development, filling, uplift, abandonment, and reformation at subsequently lower levels is recorded in the geomorphological and sedimentological features found within and around the R. Secchia, including a series of three strath terraces.

Previous publications (Balocchi & Little, 2020, 2021, 2022) addressed several distinct objectives, including mapping, identification, and dating of tectonic events within the R. Secchia valley, as well as documentation of structural geology, geomorphological and sedimentological evolution of the basin and detailed discussion of the sedimentary record for the most recent depositional event and its significance with respect to tectonic activity and regional stratigraphic correlation.

Primary contributions of this study include:

- A detailed geological map of the Quaternary geology of the R. Secchia valley within the Roteglia Basin;
- Identification of previously unknown tectonic and geomorphic units, named in preliminary reports as the Roteglia Basin, Border Sub-basin, Argontello Sub-basin, and Roteglia Terrace;
- Refinement and better understanding of the timing of tectonic events as related to the Canossa-San Romano Fault System, emphasizing the significance of the uplift history of the north-eastern flank of the Northern Apennines;
- Reconsideration of previously proposed regional stratigraphic correlations for the Quaternary depositional units.

## 2. Pre-Quaternary stratigraphy

Mapping the pre-Quaternary stratigraphic units was not the focus of this study; however, their presence and characteristics have influenced the development of the Quaternary stratigraphic section; to that end, a brief discussion of these units is presented. Bedrock stratigraphic contacts on the map are taken from Gaspari *et al.* (2005a, 2005b). Exposed bedrock stratigraphy of the R. Secchia valley (Fig. 1) (Gaspari *et al.*, 2005a, 2005b) consists of the Ligurian Units (Upper Jurassic to Mid-Eocene) overlain by the Epiligurian

Succession (Mid-Eocene to Upper Miocene). The Ligurian Units are well exposed along the channel bed in the southern reaches of the river, from the village of Lugo to a small hilltop called Pescale. They become less exposed farther northward; whereas, the Epiligurian Units crop out as a narrow band trending WNW-ESE, which has been incised by the R. Secchia to produce the informally named Rupe del Pescale (Conti *et al.*, 1999).

The Ligurian Units are comprised of two parts, the Helminthoid Flysch and underlying “pre-flysch” formations, which are often juxtaposed laterally by thrust faulting (Bettelli *et al.*, 1987b; Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b). The Ligurian Units are further subdivided into the Monghidoro Tectonic Unit, consisting of calcareous turbidites of the Monte Venere Formation (Upper Campanian to Upper Maastrichtian), which is overlain by interbedded turbiditic sandstones and mudstones of the Monghidoro Formation (Upper Maastrichtian to Upper Palaeocene). The Monghidoro Tectonic Unit is time equivalent to the middle part of the Cassio Tectonic Unit and overlies the Cassio Unit due to thrust-faulting. Included within the Cassio Tectonic Unit is a continuous section of Argille a Palombini (Lower Cretaceous to Turonian), Argille Varicolori di Cassio (Upper Cenomanian to Upper Campanian) and Arenarie di Scabiazza Formation (Upper Turonian to Lower Campanian), which are pre-flysch lithological units, followed by the overlying Flysch di Monte Cassio (Upper Campanian to Upper Maastrichtian) and Argille di Viano Formation (Lower Paleocene to Mid-Eocene).

The Epiligurian Succession is composed of several formations (Breccie Argillose di Baiso, Marne di Monte Piano, Ranzano Formation, Antoniola Formation, Breccie Argillose della Val Tiepido-Canossa), ranging in age from Lutetian to Aquitanian, which crop out on the left side of the R. Secchia (Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b; Stendardi *et al.*, 2023). The marls of the Contignago Formation (Aquitanian to Upper Burdigalian) and sandstones of the Pantano Formation (Upper Burdigalian to Lower Langhian) are well exposed within the R. Secchia bed at Rupe del Pescale (Ricci Lucchi & Ori, 1985; Bettelli *et al.*, 1987a; Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b; Rondelli, 2022). The Pantano Formation is unconformably overlain by the Termina Formation (Tortonian to Lower Messinian) in the Pigneto Syncline (Gasperi *et al.*, 2005b). The Colombacci Formation (Messinian) and Argille Azzurre Formation (Lower Pliocene to Upper Pleistocene) unconformably overlie the Epiligurian Succession. Holocene deposits consist of fluvial fan deposits from the R. Secchia and smaller streams, such as the streams Rossenna and Pescarolo, primarily in the form of discordant gravel-covered terraces (Gasperi *et al.*, 2005b).

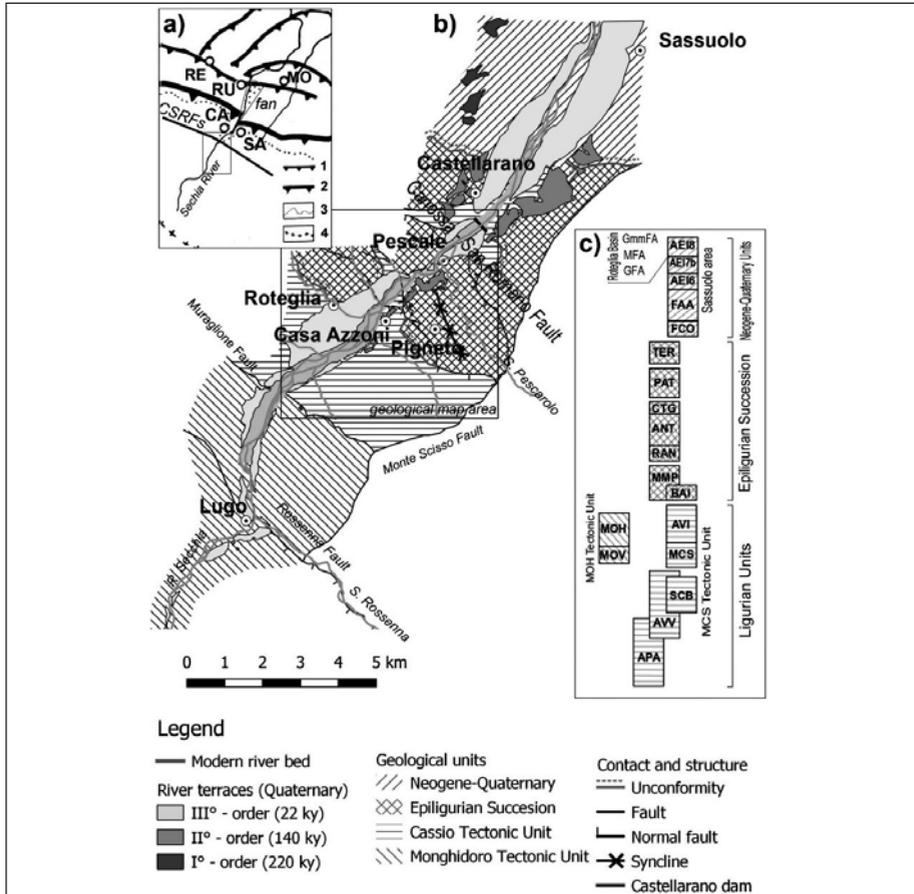


Fig. 1 – a) Simplified tectonic framework. The rectangle shows the study area: 1) Buried thrusts of the Po Valley; 2) Thrusts of the Apennine margin; 3) Limit of Pliocene outcrops; 4) Main watershed of the Apennines; CSRFs-Canossa-San Romano Fault System; Secchia fluvial fan; RE-Reggio Emilia; MO-Modena; SA-Sassuolo; RU-Rubiera; CA-Castellarano (modified after Castellarin et al., 1986). b) Schematic map of the R. Secchia terraces, including geological units and regional faults. c) Stratigraphic column: Cassio Tectonic Unit (MCS) with: APA – Argille a Palombini; AVV – Argille Varicolori di Cassio; SCB – Arenarie di Scabiazza; MCS – Flysch di Monte Cassio; AVI – Argille di Viano; The Monghidoro Tectonic Unit (MOH) with: MOV – Monte Venere Formation; MOH – Monghidoro Formation; The Epiligurian Succession with: BAI – Breccie Argillose di Baiso; MMP – Marne di Monte Piano; RAN – Ranzano Formation; ANT – Antoniola Formation; CTG – Contignaco Formation; PAT – Pantano Formation; TER – Termina Formation; Neogene-Quaternary Units with: FCO – Colombacci Formation; FAA – Argille Azzurre; AEI6 – Bazzano Subsynthem; AEI7b – Vignola Unit; AEI 8 – Ravenna Subsynthem; Roteglia Terrace facies designation: GFA – Gravel-dominated facies association; MFA – Mud-dominated facies association; GmmFA – Mud-supported gravelly facies association (after Balocchi & Little, 2022).

### 3. Regional tectonics

The Northern Apennines consist of a series of stacked nappes (Elter, 1960; Reutter & Groscurth, 1978; Conti *et al.*, 2020) emplaced during the Paleocene to Oligocene time interval in response to convergence between the Eurasian and Adria plates (Malinverno & Ryan, 1986; Boccaletti *et al.*, 1971; Boccaletti & Guazzone, 1972; Doglioni, 1991; Carminati *et al.*, 1999; Doglioni *et al.*, 1999; Scrocca *et al.*, 2006; Riguzzi *et al.*, 2010). Deformed strata in the Apennines consist of the Jurassic to Paleocene Ligurian Units that were deposited initially during rifting, with deposition continuing through the closure of the Piemonte-Ligurian Ocean (Abbate *et al.*, 1970), which created an accretionary prism (Treves, 1984). The latter was completely consumed along with the oceanic lithosphere during the collision of the two continental plates, leading to the formation of an orogenic chain, where once adjacent rock bodies within the Ligurian Units were thrust upon one another. Piggyback basins were developed concurrently within stacked thrust sheets and were partially filled during the Mid-Eocene to Upper Miocene by the Epiligurian Succession (Ricci Lucchi & Ori, 1985; Bettelli *et al.*, 1987a, 1987b; Stendardi *et al.*, 2023). Quaternary deposits formed on top of the Ligurian and Epiligurian bedrock units (Balocchi & Little, 2022).

Important tectonic features in the Roteglia area are the Rossenna Fault System, Monte Scisso Fault System, Pigneto Syncline and Canossa-San Romano Fault System (Fig. 1). The Rossenna Fault System shows evidence of activity during the deposition of the Epiligurian Succession and afterward (Bettelli *et al.*, 1987a, 2002a, 2002b; Gasperi *et al.*, 2005a). It has a distinctive geomorphological expression along the Rossenna valley, resulting from two sub-parallel faults: the Muraglione Fault with reverse motion, where the Monghidoro Tectonic Unit is partially thrust over the Cassio Tectonic Unit, and the Rossenna Fault, which is parallel to the Torrent Rossenna and shows normal displacement through juxtaposition between the Monghidoro and Leo Tectonic Units a little outside the study area (Bettelli *et al.*, 2002a, 2002b; Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b).

The Monte Scisso Fault System consists of several sub-vertical faults oriented perpendicular to the trend of the Apennines, with an overall downward displacement of the western block (Bettelli *et al.*, 1987a, 2002a; Gasperi *et al.*, 2005a). The Monte Scisso Fault System terminates to the southwest against the Rossenna Fault System. These faults caused significant fragmentation of the Ligurian and Epiligurian stratigraphic Units, particularly along their north-eastern extent, before ending against a NW-SE trending reverse fault along the south-eastern bank of the lower R. Secchia. This minor segment of the Monte Scisso Fault might be interpreted as a lateral ramp of the Apennine margin thrust front, where the eastern section has been structurally lowered opposite the one

of the rest of the system. Near Castellarano, along the R. Secchia, mesoscopic faults parallel to the regional Monte Scisso Fault System have been measured and interpreted as a left-lateral transpressive deformation zone (Balocchi & Santagata, 2018). A structural analysis of mesoscopic faults at Rupe del Pescale shows conjugate mesoscopic faults with high-angle NE-SW striking planes along the course of the R. Secchia with dips of  $60^\circ$  to  $65^\circ$  to the NW and SE, respectively (Figs. 2 and 3; Balocchi & Little, 2020). This longitudinal fault system is responsible for and controls the location and course of the present R. Secchia, as the river closely follows the trace of the fault system. This longitudinal fault system is parallel to the Monte Scisso Fault System.

In addition to the faults is the Pigneto syncline, of which the axis is oriented slightly clockwise to the trend of the Apennines. The Pantano and Termina Formations of the Epiligurian Succession both crop out within the Pigneto syncline, with the Termina Formation exposed along the fold hinge. The upper Cassio Tectonic Unit and entire overlying Epiligurian Succession are well exposed on the south-western flank of the syncline, though this part of the fold has been highly reduced in elevation through erosion. The north-eastern flank includes the Canossa-San Romano normal fault, which follows the trend of the Apennines and is down-dropped to the south-west. The Pigneto syncline, in the hanging wall of the Canossa-San Romano Fault System, may be interpreted as a regional drag fold that formed prior to the rollover anticline and following the deposition of the Epiligurian Succession.

#### 4. Overview of the Canossa-San Romano Fault System

The most significant regional fault system (Fig. 1) is the Canossa-San Romano, which juxtaposes the Cassio Tectonic Unit against the Epiligurian Succession across a normal fault (Papani, 1971; Papani *et al.*, 2002). The Canossa-San Romano is thought to have originated as a reverse fault and later to have been reactivated along the same surface as a normal fault (Bettelli *et al.*, 1987a, 1987b; Gasperi *et al.*, 2005a). This interpretation is based on evidence from its western extent, where it displaces Epiligurian strata with a reversed sense of motion. However, the displacement direction changed, most probably during the Messinian to Lower Pliocene time interval, but certainly by the Eocene to Lower Miocene, to a normal direction, dropping the Epiligurian Succession downward and placing it in lateral contact with the Cassio Tectonic Unit (Bettelli *et al.*, 1987a, 1987b; Gasperi *et al.*, 2005a). During this time interval, a segment of the Canossa-San Romano system underwent a counter-clockwise rotation, developing a geometry with anti-Apennine direction (Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b) that is interpreted as a left-lateral transpressive ramp (Bettelli *et al.*, 1987a, 1987b; Balocchi &

Santagata, 2018). The Canossa-San Romano Fault terminates to the southeast into the Monte Scisso Fault System near the Torrent Pescardo (Gasperi *et al.*, 2005b).

Structural analysis of mesoscopic faults at Rupe del Pescale (Balocchi & Little, 2020) shows that the Canossa-San Romano Fault System is characterised by horst and graben structures (Fig. 4) that can be observed within the outcrops of the Pantano Formation along the R. Secchia and its tributary Torrent Pescarolo (Fig. 2). The system consists of two conjugate sets of high-angle fault planes, with dips of  $60^\circ$  to  $65^\circ$ . The overall strike of the system is NW-SE, parallel to the regional structural trend, with the synthetic fault set dipping to the southwest and the antithetic set to the northeast.

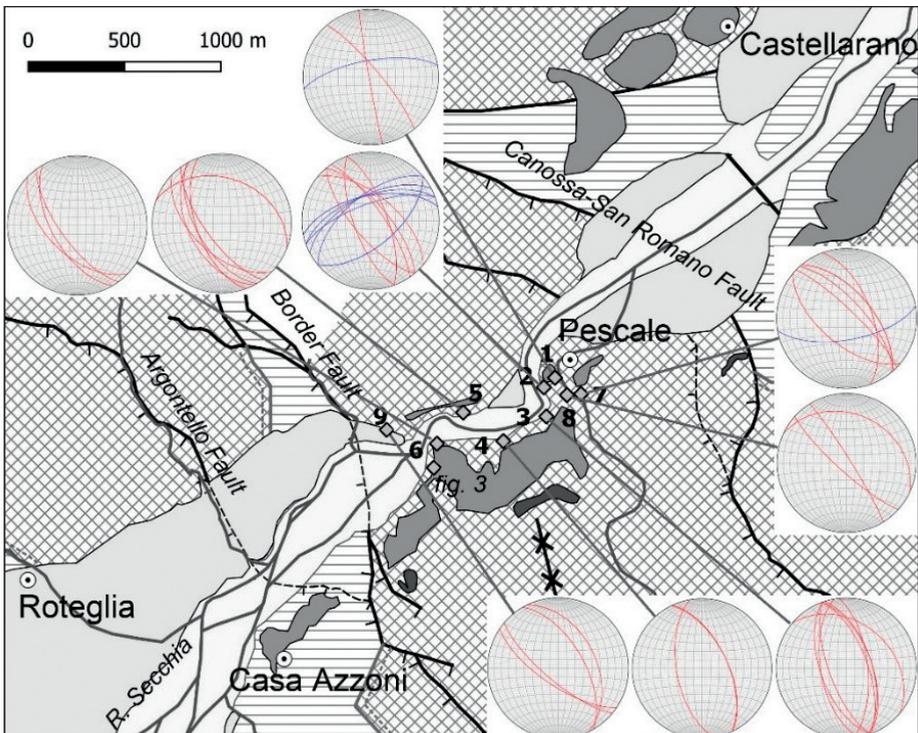


Fig. 2 – Simplified structural map of the R. Secchia at the Rupe del Pescale area, with outcrops and mesoscopic fault stereograms. See Fig. 1 for legend of tectonic units and structures. The great red circles are the Canossa-San Romano Fault System and the great blue circles are the longitudinal fault system (after Balocchi & Little, 2020).

The Canossa-San Romano Fault involves secondary normal faults, including the Border and Argontello faults. The Border Fault forms the northern boundary between the Roteglia Terrace and outcrops of the Epiligurian Units at Rupe del Pescale. It juxtaposes the Ligurian and Epiligurian Units along its western segment (Gasperi *et al.*, 2005b). This fault can be interpreted as a syndepositional barrier that influenced Quaternary fluvial and probable lacustrine sedimentation of the R. Secchia immediately upstream of the barrier (Balocchi & Little, 2021). The structural analysis of mesoscopic faults in one outcrop of the Pantano Formation shows two conjugate sets, one with dip of 70° SW and the other with dip of 50° NE (outcrop 9 in Figs. 2 and 5). The overall strike of the system is NW-SE, parallel to the regional direction of the Canossa-San Romano Fault planes.

The Argontello Fault crosses the Roteglia Terrace with an Apennine strike-direction and juxtaposes rock types of the Epiligurian Succession along its western segment by normal fault kinematics (Gasperi *et al.*, 2005b). This secondary fault system forms a boundary between two areas that show Quaternary deposits of the Roteglia Terrace with different sedimentological characteristics on either side of the fault (Balocchi & Little, 2021, 2022).

A series of three strath terraces developed along the margins of the R. Secchia due to alternating episodes of incision, valley widening, and deposition associated with continuing uplift of the Apennine front. The oldest and topographically highest terrace formed around 220 ka and is designated as I-order. The middle terrace developed about 140 ka, and is considered to be II-order. The lowest and youngest terrace, III-order, was created at 22 ka and is the primary focus of this report (Balocchi & Little, 2020).

The Canossa-San Romano Fault System cuts I- and II-order terraces with a stratigraphic offset of 100 m and 10 m, respectively, with slip-rates of about 0.5 mm/y during incision of the I-order terrace and 0.08 mm/y for the II-order terrace. This demonstrates that movement along the Canossa-San Romano Fault continued at least into the Mid-Pleistocene and is likely still active. The Argontello Fault cuts the II-order terrace between Casa Azzoni and Pigneto along the right side of the R. Secchia valley, as well as the 22 ka III-order Roteglia Terrace.

The absence of a fault scarp, presence of fault gouge, and a low slip-rate indicate that the geomorphological evolution of the landscape, including cutting of fluvial terraces, is the result of creep along the fault during the progressive uplift of the Apennines from the Messinian to date (Balocchi & Little, 2020, 2021, 2022).



Fig. 3 – Outcrop of the Pantano Formation (Epiligurian Units) with the longitudinal fault system at Rupe del Pescale (for location, see Fig. 2).

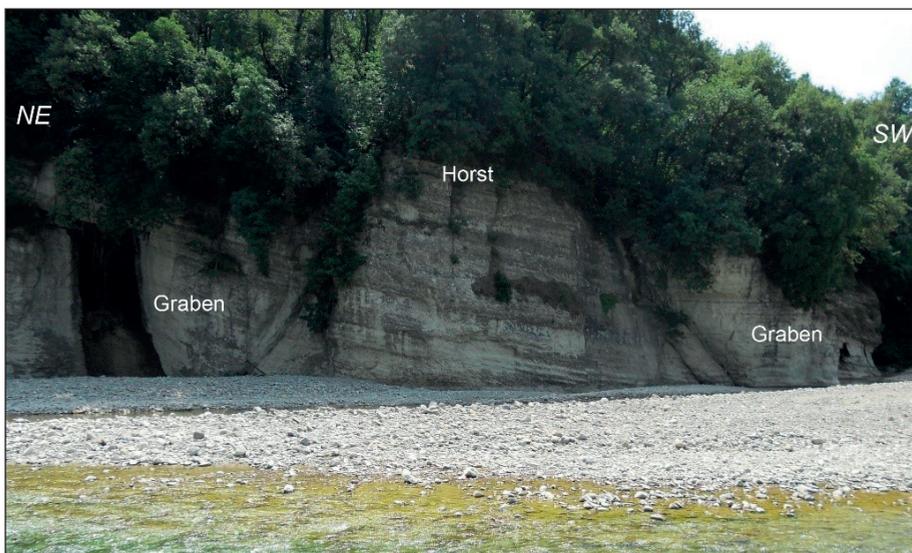


Fig. 4 – Horst and Graben structure of the Canossa-San Romano Fault System. Outcrop of the Pantano Formation (Epiligurian Units) at Rupe del Pescale (after Balocchi & Little, 2020).



Fig. 5 – Outcrop of the Border Fault with conjugate mesoscopic faults (white lines), in the Pantano Formation of the Epiligurian Units (for location, see outcrop no. 9 in Fig. 2).

## 5. Quaternary sedimentology and stratigraphy

Quaternary sedimentary deposits overlying the III-order Roteglia Terrace record a complex history influenced both by changing hydrologic conditions, following the last glacial maximum and syndepositional tectonic activity related to the Canossa-San Romano Fault System. The primary role of climate control appears to have been back-stepping of the fluvial system as glaciers retreated in the adjacent Apennine chain. Glacial features showing periodic advance and retreat of ice, including moraines, have been documented in the Apennines (Gruppo Ricerca Geomorfologia CNR, 1982; Castaldini *et al.*, 1998, 2009; Panizza *et al.*, 1983; Panizza, 2009; Mariani *et al.*, 2018), and though ice did not extend into the Roteglia Basin itself, Pleistocene to Holocene climate fluctuations certainly influenced sedimentation patterns related to discharge, sediment load, and sediment calibre in downstream areas. The more dominant control on local sedimentation patterns was deposition within the actively-developing Argontello and Border half-graben sub-basins. The Argontello and Border faults each created a temporary local barrier to fluvial transport, resulting in ponding of the R. Secchia and changing the depositional setting from a through-flowing braided fluvial system to a mud-dominated meandering channel with abundant overbank deposition and lacustrine conditions. These barriers were subsequently breached, leading to the modern channel profile and depositional setting.

Quaternary deposits preserved in the III-order Roteglia Terrace have been described and divided into lithofacies based on dominant sediment particle size (gravel, sand and mud) and internal sedimentary structures (Balocchi & Little, 2022), following the Miall (1966, 1977, 1985) methodology. These were used to develop models representative of past depositional systems and to document the manner in which sedimentation patterns responded to both climate and tectonic driving forces. Detailed descriptions of individual lithofacies can

be found in Balocchi & Little (2022). These facies were grouped into three associations: the gravel-dominated (GFA), mud-dominated (MFA), and mud-supported gravel (GmmFA) facies associations.

*The gravel-dominated facies association (GFA)* is composed primarily of horizontally-laminated and planar cross-laminated gravel. Both facies consist of clast-supported grey pebble- to cobble-sized clasts with a matrix of granule-sized gravel, sand, and silt in a closed framework (Fig. 6a). Clasts are composed mostly of sandstone, with subordinate marl, limestone, and ophiolite. Bed thicknesses range from 0.5 to 1.5 m and extend laterally across entire outcrops, which can vary from 10 to 250 m. Elongated and flat clasts are commonly imbricated. The association includes lenticular interbeds of horizontally-laminated, low-angle cross-laminated, and structureless fine- to coarse-grained sand. Lenses composed of horizontally-laminated and low-angle cross-laminated sand are approximately 0.2 to 0.4 m thick and 1 to 20 m wide. Laminations within the low-angle cross-laminated facies are inclined at about 10° to bedding planes. The structureless sand facies consists mostly of small lenses with sharp lower and upper contacts.

This association comprises most of the stratigraphic section upstream of the Argontello Fault (Fig. 7) but is restricted primarily to the basal part of the section where it is found downstream of that fault. Between the Argontello and Border faults, the association also contains facies of clast-supported structureless gravel as convex-upward lenses. Throughout, the basal contact is a flat erosional surface that corresponds to the III-order strath terrace (Balocchi & Little, 2020, 2021). Association thickness ranges from 2 to 10 m, with the greatest thickness found immediately upstream of the Argontello Fault, due to higher syndepositional subsidence rates associated with half-graben development (Balocchi & Little, 2021). Bar geometry and clast imbrication demonstrate a palaeo-current direction from southwest to northeast, congruent with the current flow direction for the present R. Secchia.

*The mud-dominated facies association (MFA)* is comprised of structureless and horizontally-laminated silt and clay in 2 to 5 m thick horizontal beds that overlie the GFA with erosional contacts and channel-form geometrical patterns (Fig. 6b). The structureless mud facies is characterised by thick beds of grey to ochre silt and clay that may contain scattered pebbles similar to those found in gravelly facies. This association is restricted mostly to the upper part of the section between the Argontello and Border faults (Fig. 8) but is also found at one locality upstream of the Argontello Fault (Balocchi & Little, 2021).

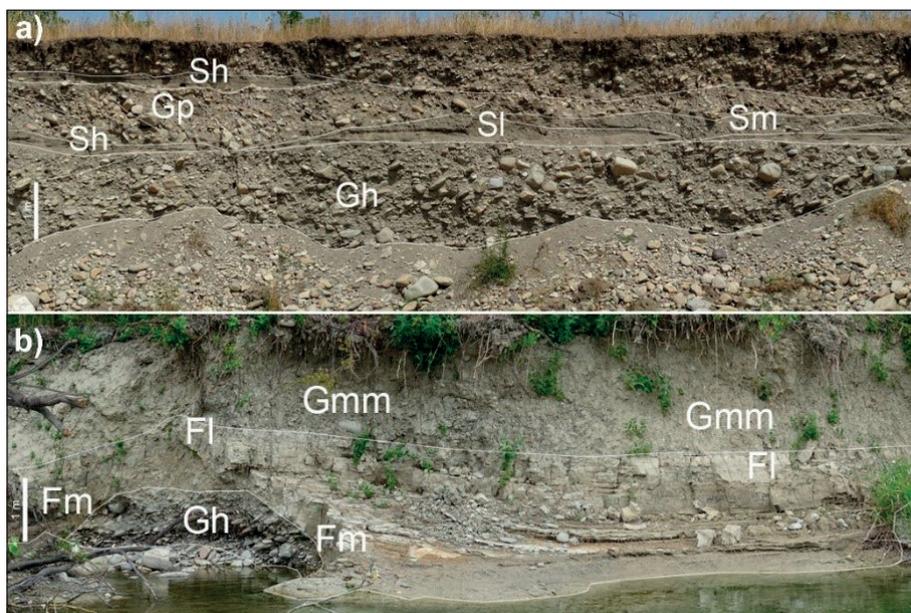


Fig. 6 – Outcrop of Quaternary deposits from the Roteglia Terrace (after Balocchi & Little, 2022) characterised by: a) Gravel-dominated facies association (GFA) with horizontally-laminated (Gh) and planar cross-laminated (Gp) gravels, horizontally-laminated (Sh), low-angle cross-laminated (Sl), and structureless (Sm) sands; b) Mud-dominated facies association (MFA), with structureless (Fm) and horizontally-laminated (Fl) mud and the Mud-supported gravel facies association (GmmFA), with matrix-supported structureless (Gmm) gravels.

The mud-supported gravel facies association (GmmFA) (Figs. 6b and 8) is characterised by a single lithofacies of matrix-supported structureless gravel composed of sandstone pebbles suspended within grey to ochre mud. This association is found only in the stretch of river between the Argontello and Border faults, where it sharply, but conformably, overlies the MFA association.

The present R. Secchia is a confined braided system composed primarily of heterogeneous gravel bars and sand lenses. The position, number, geometry, and relative abundance of bars and lenses changes regularly in response to short-term climate cycles and seasonal flooding. There does not seem to have been notable impact by the Canossa-San Romano Fault System subsequent to breaching of the Pleistocene blockage.

In addition to deposits of the R. Secchia, several alluvial fans dominated by debris flow deposition are found where tributaries flow into the R. Secchia, and landslides are common along steep hillsides within the Roteglia Basin. Since

these deposits have not been affected directly by the Canossa-San Romano Fault System, they have not been described in detail in this report.



Fig. 7 – Outcrop in the southern reach of the R. Secchia, showing the gravel-dominated facies association (GFA).



Fig. 8 – Outcrop in the northern reach of the R. Secchia, showing a sequence of the gravel-dominated facies association (GFA), mud-dominated facies association (MFA) and mud-supported gravel facies association (GmmFA).

## 6. Tectonic-sedimentary evolution

Research on the Quaternary stratigraphy along the Roteglia Terrace, in particular the depth of the bedrock, has been performed to identify and define the geometrical features of the Roteglia Basin and determine the tectonic influence from the Canossa-San Romano Fault on basin development. The contact between the Quaternary deposits of the Roteglia Terrace and the underlying Ligurian and Epiligurian bedrock Units corresponds to the Roteglia Basin floor. A numerical analysis of published databases, reports and geological field data were used to construct a mathematical DTM of the bedrock surface underlying the Quaternary deposits of the Roteglia Basin (Balocchi & Little, 2021). This reveals a basin geometry characterised by an elongated primary basin that contains two smaller sub-basins. Each sub-basin is a half graben bounded on its north-eastern end by a fault that is synthetic to the regional Canossa-San Romano Fault. These are the Border and Argontello faults. The sediment fill of these two sub-basins is syntectonic and was deformed by concurrent fault movement. This is manifest in the south-western sub-basin by a drag fold in the gravel that overlies the hanging wall of the Argontello Fault, which also cuts through the Quaternary Roteglia Terrace deposits. Thickness of fluvial deposits north of these sub-basins is greater than the model calculated, suggesting that slip along the Border Fault influenced the depth of the sub-basin. The R. Secchia, in response to progressive uplift, eroded the bedrock along the upstream stretch and concurrently deposited fluvial sediments within the basin. Therefore, these faults played an important role in developing the basin geometry, probably through creep deformation (Balocchi & Little, 2020), where continuous subsidence maintained the basin depth. Facies associations show superposition of sedimentary environments with different sedimentological characteristics.

*Braided fluvial deposits* (Figs. 6a, 7 and 9): At the base of the section, GFA is ubiquitous throughout the Roteglia Basin and records deposition under high-energy unidirectional flow and a high sediment load. Horizontally-laminated and planar cross-laminated gravels are consistent with construction of longitudinal or intrachannel bars within a braided fluvial system (Miall, 1996; Bridge, 2006). The majority of planar cross-laminated gravel was likely formed through foreset deposition off the downstream end of these bars. However, some cross-laminated gravel might have instead developed in response to lateral migration of transverse bars attached to channel margins. Bar top deposits accumulated during high-energy flooding events as horizontally-laminated gravel. Lateral variation in bed thicknesses is related to alternating episodes of bar growth and migration, followed by renewed channel incision and associated bar erosion. Intercalated lenses of horizontally laminated, low-angle cross-laminated,

and structureless sand were deposited in scours as flow velocity waned following high-energy events and during subsequent lower energy episodes. Accumulation of sandy and silty matrix is likely of two-fold origin, partly from trapping of finer sediments between gravel clasts during high-energy events, but also as a capping bed on bars formed during waning flow, much of which subsequently filtered downward to partially fill open spaces between gravel clasts (Miall, 1996). In mountainous regions, gravelly braided fluvial deposits often develop as glaciers begin to retreat, combining high discharge from melt water with abundant coarse-grained sediment supplied by ground and terminal moraines. As such, this association might reflect early stages of the final glacial retreat in the Apennines. Being a confined stream, much of the gravel was likely derived locally through undercutting of valley walls and widening of the valley.

Tectonic control on the thickness of the association is evident where GFA thickens downstream until it encounters the Argontello Fault, which forms the fault boundary of a half graben down-dropped on the upstream side, thus creating the Argontello sub-basin. This clearly demonstrates active tectonic movement during the deposition of GFA. That the sedimentation rate was somewhat higher than the rate of subsidence, at least during later stages of displacement, is manifest by a continuing, but thinner interval of GFA at the base of the section downstream of the Argontello Fault. However, the association appears to terminate altogether farther downstream against the Border Fault, suggesting a physical barrier to further drainage at that point.

*Overbank or lacustrine deposits* (Figs. 6b, 8 and 10): Upon crossing the Argontello Fault moving downstream, there is a sharp vertical change to fine-grained MFA. Where present, MFA overlies GFA with an irregular lower contact, indicating an abrupt change from high-energy fluvial conditions to a quieter-water setting dominated by suspension settling of fine-grained sediments or deposition of fine sediments from traction in shallow, slow-moving currents. The upper part of the association consists of horizontal beds separated by planar contacts that extend on the entire length of outcrops, showing that deposition in this association was dominated by vertical accretion, suggestive of a rising relative base level.

Of particular note is that the association is restricted mostly to the Border sub-basin between the Border and Argontello faults, indicating a major tectonic influence. The vertical change from GFA to MFA is likely due to a decrease in downstream gradient and rise in base level associated with a physical blockage of the stream where it is crossed by the Border Fault. This might have permitted ponding, leading to formation of swampy, and maybe lacustrine, conditions within the Border graben. Such a situation is found today along the

present R. Secchia at Castellarano and again at Rubiera, where the river passes across a flow-control weir connected with overflow reservoirs. In these cases, it is an artificial dam that provides the obstacle to sediment transport and a rise in base level. Stream blockage and ponding are supported by the vertical accumulation of fine-grained deposits with planar bedding contacts. This was likely enhanced by continued subsidence within the Border sub-basin. As with the Argontello sub-basin, there is a downstream thickening of the strata toward the fault, but to a lesser extent. A higher mud ratio could have been enhanced by the trapping of gravel on the upstream side of the Argontello Fault, while allowing continued downstream transport of the finer sediments, which then accumulated in the ponded region between the two faults.

It must be kept in mind that these deposits date back to around 22 ka, close to the end of the Last Glacial Maximum and just before major melting and glacial retreat began. Assessing climate impacts on sedimentation rates in glacially-dominated systems is complex, as discharge, sedimentation rate, and sediment calibre are impacted by a large number of factors, including precipitation, temperature, advance versus retreat of the glacier front, valley-floor gradient, proximity to the ice, contribution of mass wasting, changes in the elevation and type of vegetation, and nature of bedrock. In addition to stream blockage by the Border Fault, a possible influence in the transition from gravel to mud might have been a climate-induced upstream migration (back-stepping) of facies associations, such that finer distal deposits overlie coarser proximal facies. This could have been caused by either the retreat of glacial ice and distancing of the sediment source or a change in the discharge/sediment load ratio.

The latter might be related to variation in the nature and rate of precipitation or an increase in vegetation cover. For instance, a decrease in the amount of precipitation or a more consistent rate of precipitation might have led to preferential transport of clay and silt over sand or gravel. Likewise, an increase in the relative abundance of mud in the stream could have been due to unroofing in the sediment source region and a subsequent change in the type of bedrock exposed at the surface. It is likely that a combination of these factors played roles.

*Debris flow deposits:* The lack of sorting in the GmmFA indicates either rapid deposition from a viscous fluid, such as debris flows or slow but continuous deposition, as would occur at the toe of a stalled glacier (Figs. 6b and 8). Canyons upstream of the Roteglia Terrace do demonstrate evidence for Pleistocene glaciation, including moraines, but there is little evidence that glaciers advanced to the valley floor in the Roteglia area. However, the steep topography created by the advancement of valley glaciers, along with high

precipitation and thawing of previously frozen terrain are factors that favour the occurrence of mass wasting, including debris flows. The sudden appearance of possible debris flow deposits further supports timing associated with glacial retreat.

These deposits now form part of a terrace that is elevated above the present R. Secchia, indicating that the flow barrier formed by the Border Fault no longer exists. This could be the result of sediment building to the top of the barrier, overflowing, and incising to the present elevation of the river or might be an indication of renewed uplift that will lead to the next, lower terrace. Further examination of the region immediately downstream of the Border Fault is needed to make that determination.

## 7. Regional stratigraphic correlations

The Northern Apennines drain north-eastward onto the River Po foreland through numerous parallel watercourses, of which the R. Secchia is one of the most important. At its outlet into the Po Plain, the R. Secchia formed a broad, gently sloping fluvial fan at Sassuolo (Gasperi *et al.*, 1989, 2005a, 2005b; Castaldini & Balocchi, 2006). Based on stratigraphic position, gross lithology, and previous geological mapping (Ricci Lucchi *et al.*, 1982; Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b), terrace deposits of the Roteglia area have tentatively been correlated to the Emilia-Romagna Upper Synthem, found approximately 12 km downstream along the south-western margin of the Po Plain in the Sassuolo area (Regione Emilia-Romagna & ENI, 1998; Di Dio *et al.*, 1997).

In the Roteglia area, the depositional history of the R. Secchia is more complex due to local tectonic control by the Canossa-San Romano Fault System, which has complicated regional stratigraphic correlations over even this short distance. At Roteglia, Quaternary deposits unconformably overly Ligurian and Epiligurian bedrock Units and consist of three stepped strath terraces, each covered by sediments from the R. Secchia (Gasperi *et al.*, 1989, 2005a, 2005b; Balocchi & Little, 2020). In the Po Plain, alluvial fan deposits are composed of gravel and sand interbedded with clay and have been organised into formalised subsynthem and minor informal units of the Emilia-Romagna Upper Synthem. In ascending order, these are the Mid-Pleistocene Bazzano Subsynthem, Upper Pleistocene Vignola Unit and Modena Unit. The Bazzano Subsynthem consists of gravel and sand and has been correlated with I-order sedimentary cover; the Vignola Unit is composed of gravel with sandy interbeds and is thought to correspond to II-order sedimentary cover, with the sandy and silty gravel of the Modena Unit being tied to III-order terrace cover in the Roteglia region (Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b). Another stratigraphic unit found in the Sassuolo area above the Vignola Unit and below the Modena

Unit is the Ravenna Subsynthem (Fig. 1c; Ricci Lucchi *et al.*, 1982; Fazzini & Gasperi, 1996; Gasperi *et al.*, 1989, 2005a, 2005b). Previous mapping does not carry this unit into the Roteglia area (Gasperi *et al.*, 2005a). However, based on stratigraphic position and sedimentary characteristics, a tentative correlation is made here between the Ravenna Subsynthem at Sassuolo and the lower, muddy portion of III-order Roteglia Terrace. This interpretation differs from previous mapping, which assigned the entire III-order terrace to the Modena Unit (Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b).

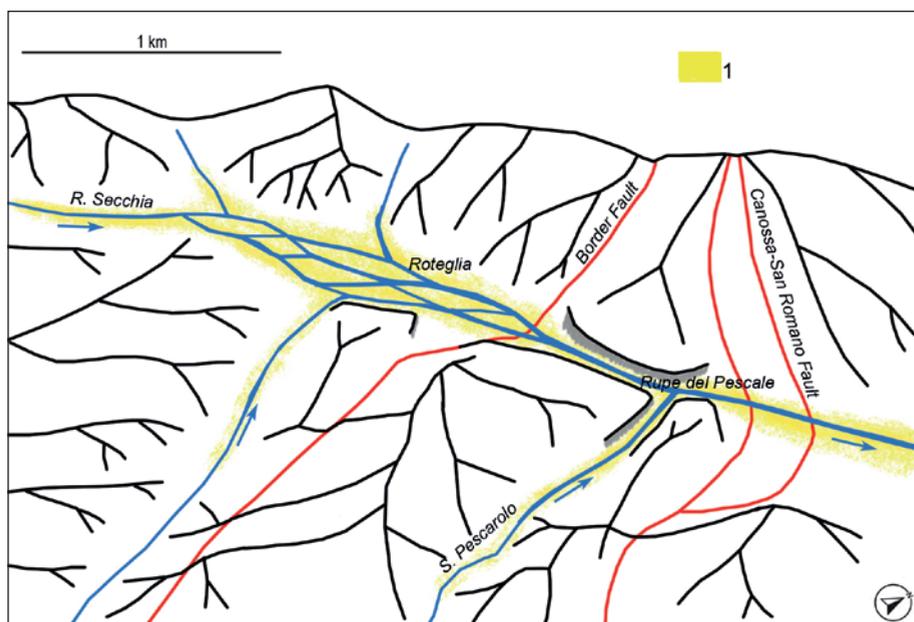


Fig. 9 – Tectonic-sedimentary evolution model of the R. Secchia in the Roteglia Basin and Rupe del Pescale area with braided fluvial deposits (1). The tectonic elements that influenced sedimentation are shown by red lines and the ridges of the hills are drawn with black lines.

Though Sassuolo is only a short distance from Roteglia and is directly downstream of the R. Secchia, precise correlation of sedimentary deposits between the two areas is uncertain. Part of the difficulty is the stark difference between the two depositional settings. The Roteglia area consists of stepped terraces within an incised valley and would, therefore, experience sediment bypass and lack a depositional record during times of downcutting or strath formation, whereas the deposits at Sassuolo formed as part of a broad fluvial fan, likely preserving a much more complete stratigraphic record. It is possible

that the deposits which cap each of the terraces do thicken downstream and directly correlate with parts of the stratigraphic succession at Sassuolo, though this is uncertain. Another complication is the trapping of sediments during the development of the Roteglia Basin, which led to sediment starvation at Sassuolo until the basin either became filled by sediments or the barrier was breached, renewing sediment transport to the Po Plain. In this scenario, sedimentary deposition at Roteglia would correlate to an intraformational unconformity within the fluvial fan at Sassuolo. This is similar to the present trapping of sediments behind the modern dams at Castellarano and Rubiera, depriving the transport of sediments farther downstream. Conversely, at least some stratigraphic units at Sassuolo would correspond to unconformities (strath surfaces) at Roteglia, suggesting that the deposits of the two regions are, at least partially, temporally out of phase with one another. Therefore, the assignment of strata in the Roteglia area to subunits within the Emilia-Romagna Upper Synthem is questionable and will require further investigations.

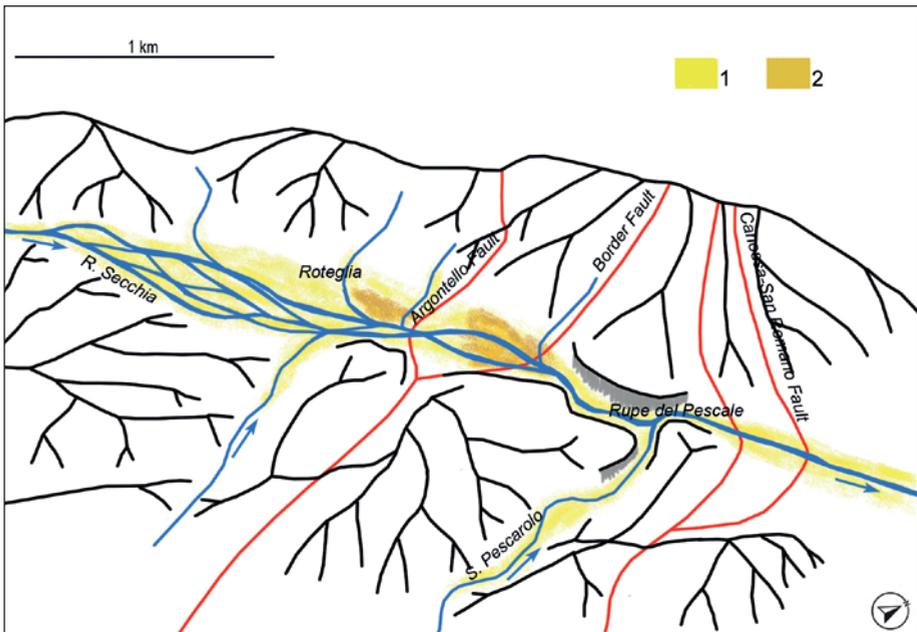


Fig. 10 – Tectonic-sedimentary evolution model of the R. Secchia in the Roteglia Basin and Rupe del Pescale area with braided fluvial deposits (1) and overbank or lacustrine deposits (2) above. The tectonic elements that influenced sedimentation are shown by red lines lines and the ridges of the hills are drawn with black lines.

## 8. Conclusions

*Roteglia Basin development:* A complex history related to interactions between rapidly fluctuating climate conditions and active tectonics is recorded in the geomorphology and sedimentary deposits located along the banks of the R. Secchia. The distribution of fluvial and possibly lacustrine deposits overlying III-order Quaternary terraces of the Roteglia Basin suggests that a syntectonic barrier was formed by the Border Fault near Rupe del Pescale that was subsequently breached by the present R. Secchia (Balocchi & Little, 2020, 2021, 2022). The Canossa-San Romano Fault System had a clear influence on the trapping of gravel upstream of the Argontello Fault and mud between the Argontello and Border faults. Each of the faults formed a barrier to fluvial flow as half grabens developed in their upstream areas. The Argontello graben was filled with gravel, which subsequently spilled into the Border graben. Later blockage by the Border Fault resulted in ponding and a rise in base level that transformed depositional patterns within the basin from a predominantly through-flowing, high-energy, gravel-dominated braided fluvial system into a low-energy, mud-dominated lacustrine or muddy deltaic system characterised by vertical aggradation. Subsequently, the Border Fault blockage was breached; the R. Secchia was incised to its present profile, and late Pleistocene to early Holocene deposits were stranded above as the Roteglia Terrace.

*Quaternary uplift:* Though the overall history of the R. Secchia is one of incision associated with the uplift of the Apennine chain, the Quaternary deposits that flank the river record more recent episodes of intermittent deposition. These deposits have subsequently been incised, demonstrating continued uplift of the mountain range, and are preserved adjacent to the river as three orders of terraces that decrease in age with lower elevations (Balocchi & Little, 2020, 2022). The Canossa-San Romano Fault and cutting of the 22 ka III-order strath terrace (Balocchi & Little, 2020, 2021) shows continued activity into the Quaternary. This extensional tectonic phase along the north-eastern margin of the Apennines can be interpreted as a tectonic inversion from a reverse-faulting phase, as described by some Authors in other areas of the Apennines (Di Domenica *et al.*, 2008; Tortorici *et al.*, 2019; Scisciani *et al.*, 2019). Rollback of the Apennine subduction plane (Scrocca *et al.*, 2006; Balocchi & Riga, 2017, 2018) can explain the tectonic context of the Canossa-San Romano Fault System, where it is now a normal fault within the hanging wall of a shallow thrust in a regional shortening deformational setting (Bertotti *et al.*, 1997; Picotti & Pazzaglia, 2012).

*Regional stratigraphic correlation:* In the Roteglia area, deposits that are possibly time-equivalent to the Ravenna Subsynthem consist of gravel overlain

by sand and clay (Balocchi & Little, 2022), and the Modena Unit is possibly represented by a capping gravel bed. This interpretation differs from previous mapping, which assigned the entire Roteglia Terrace to the Modena Unit of the Emilia-Romagna Upper Synthem (Gasperi *et al.*, 2005a, 2005b). Though Sassuolo is only a short distance from Roteglia and is directly downstream of the R. Secchia, a precise correlation of sedimentary deposits between the two areas has been complicated by local tectonic control associated with the Canossa-San Romano Fault System, which has imposed a strong influence on local depositional patterns. Additionally, the two depositional settings are very different, with the Roteglia area consisting of terraces within an incised valley, whereas the deposits at Sassuolo formed as part of a broad fluvial fan. It is possible that the stratigraphic succession at Roteglia does not directly correlate with that of Sassuolo and that deposits of the two areas are actually temporally out of phase with one another. Therefore, the assignment of strata in the Roteglia area to subunits within the Emilia-Romagna Upper Synthem is questionable and will require further investigations.

### **Acknowledgements**

*We thank geologist Giorgio Barelli of the Land Management Office of the Municipality of Modena for his valued help in providing bibliographic material of the study area.*

### **References**

- ABBATE E., BORTOLOTTI V., PASSERINI P., SAGRI M., 1970 – *Introduction to the geology of the Northern Apennines*. In: G. Sestini (ed.) “Development of the Northern Apennines geosyncline”. *Sedimentary Geology*, **4**, pp. 207-249.
- BALOCCHI P., LITTLE W.W., 2020 – *Influence of the Canossa-San Romano fault system on the development of the River Secchia fluvial terraces (Northern Apennines, Italy)*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **151**, pp. 33-51.
- BALOCCHI P., LITTLE W.W., 2021 – *The Roteglia Basin geometry and its relationship with the Canossa-San Romano regional fault (Northern Apennines, Italy)*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **152**, pp. 53-72.
- BALOCCHI P., LITTLE W.W., 2022 – *Influence of Canossa-San Romano Fault on the Quaternary deposits of the Roteglia Terrace (Northern Apennines, Italy)*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **153**, pp. 49-66.
- BALOCCHI P., RIGA G., 2017 – *Considerations on the seismotectonics and seismogenesis of the Tiberina-Gubbio Valley extensional system (central Italy)*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **148**, pp. 65-82.
- BALOCCHI P., RIGA G., 2018 – *The 2016 central Italy seismic sequence and the “Castelluccio-Amatrice” low-angle normal fault*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **149**, pp. 123-134.
- BALOCCHI P., SANTAGATA T., 2018 – *The transpressive deformation zone of the Ranzano Formation along the River Secchia near Castellarano (Northern Apennines)*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **149**, pp. 57-67.
- BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P., PANINI F., 1987a – *Schema introduttivo alla geologia delle Epiliguridi dell’Appennino modenese e delle aree limitrofe*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **39**, pp. 215-246.
- BETTELLI G., BONAZZI U., PANINI F., 1987b – *Schema introduttivo alla geologia delle Liguridi dell’Appennino modenese e delle aree limitrofe*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **39**, pp. 91-126.
- BETTELLI G., PANINI F., CAPITANI M., 2002a – *Carta geologico-strutturale dell’Appennino emiliano*

- sudorientale*. Atti del terzo seminario sulla Cartografia geologica, Bologna 26-27 febbraio 2002, pp. 47-52.
- BETTELLI G., PIZZIOLLO M., BONAZZI U., CAPITANI M., FIORONI C., FREGNI P., 2002b – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 236 "Pavullo nel Frignano"*. Regione Emilia-Romagna, S.E.L.C.A., Firenze.
- BERTOTTI G., CAPOZZI R., PICOTTI V., 1997 – *Extension controls Quaternary tectonics, geomorphology and sedimentation of the N-Appennines foothills and adjacent Po Plain (Italy)*. *Tectonophysics*, **282**, pp. 291-301.
- BOCCALETTI M., ELTER P., GUAZZONE G., 1971 – *Polarità strutturali delle Alpi e dell'Appennino in rapporto all'inversione di una zona di subduzione nord-tirrenica*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **10**(4), pp. 371-378.
- BOCCALETTI M., GUAZZONE G., 1972 – *Gli archi appenninici, il Mar Ligure ed il Tirreno nel quadro della tettonica dei bacini marginali retroarco*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **11**, pp. 201-216.
- BRIDGE J.S., 2006 – *Fluvial facies models: recent developments*. In: H. Posamentier & R.G. Walker (eds.) "Facies Models Revisited", SEPM (Soc. Sed. Geol.) Special Publ., **84**, pp. 85-170.
- CARMINATI E., GIUNCHI C., ARGNANI A., SABADINI R., FERNANDEZ M., 1999 – *Plio-Quaternary vertical motion of the Northern Apennines: Insights for dynamic modelling*. *Tectonics*, **18**, pp. 703-718.
- CASTALDINI D., BALOCCHI P., 2006 – *Studio geomorfologico del territorio di pianura a sud di Modena*. In: A. Lodovisi (ed.) "La Bonifica nei territori di Alta Pianura. Consorzio della Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro", Tipolitografia F.G. Savignano s/P (Modena), pp. 69-100.
- CASTALDINI D., CAVEDIO F., PUCCINELLI A., 1998 – *Geomorfologia delle valli del Rio delle Pozze e del Torrente Motte (Abetone, Appennino tosco-emiliano)*. *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, **21**, pp. 177-204.
- 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. d'Italia*, **LXXXVII**, pp. 29-38.
- CONTI P., CORNAMUSINI G., CARMIGNANI L., 2020 – *An outline of the geology of the Northern Apennines (Italy), with geological map at 1:250,000 scale*. *Ital. J. Geosci.*, **139**, pp. 149-194.
- CONTI S., GIUSTI C., MARCHETTI M., PANINI F., PELLEGRINI S., ROSSI A., 1999 – *La Formazione di Contignaco, la Formazione di Pantano e la Formazione del Termina presso la stretta del Pescale: rapporti stratigrafici, orizzonte cineritico. I terrazzi del Pescale*. In: "I Beni geologici della Provincia di Modena", Artioli Ed., Modena, pp. 63-64.
- DI DIO G., LASAGNA S., PRETI D., SAGNE M., 1997 – *Carta geologica dei depositi quaternari della Provincia di Parma*. *Il Quaternario*, **10**, pp. 443-450.
- DI DOMENICA A., SCISCIANI V., PIZZI A., CALAMITA F., 2008 – *Relazioni tra faglie normali e sovrascorrimenti lungo le strutture trasversali dell'Appennino centrale*. *Rendiconti online Soc. Geol. It.*, **2**, pp. 1-4.
- DOGLIONI C., 1991 – *A proposal for the kinematic modeling of W-dipping subductions – possible applications of the Tyrrhenian-Appennines system*. *Terra Nova*, **3**, pp. 423-434.
- DOGLIONI C., HARABAGLIA P., MERLINI S., MONGELLI F., PECCERILLO A., PIROMALLO C., 1999 – *Orogens and slabs vs. their direction of subduction*. *Earth-Science Reviews*, **45**, pp. 167-208.
- ELTER P., 1960 – *I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **60**, pp. 273-312.
- FAZZINI P., GASPERI G., 1996 – *Il sottosuolo della città di Modena*. *Accad. Naz. di Sc. Lett. e Arti di Modena, Miscellanea Geologica*, pp. 41-54.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M., LABATE D., 1989 – *Evoluzione plio-quaternaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla carta geologica*. *Mem. Soc. Geol.*, **39**, pp. 375-431.
- GASPERI G., PRETI D., PIZZIOLLO M., BETTELLI G., PANINI F., BONAZZI U., FIORONI C., FREGNI P., VAIANI S.C., 2005a – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 219 "Sassuolo"*. Regione Emilia-Romagna, S.E.L.C.A., Firenze.
- GASPERI G., PRETI D., PIZZIOLLO M., BETTELLI G., PANINI F., BONAZZI U., FIORONI C., FREGNI P., VAIANI S.C., 2005b – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 219 "Sassuolo"*. Regione Emilia-Romagna, S.E.L.C.A., Firenze.
- GRUPPO RICERCA GEOMORFOLOGIA CNR, 1982 – *Geomorfologia del territorio di Febbio tra il M. Cusna e il F. Secchia (Appennino emiliano)*. *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, **5**, pp. 285-360.
- MALINVERNO A., RYAN W.B.F., 1986 – *Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. *Tectonics*, **5**, pp. 227-246.
- MARIANI G.S., CREMASCHI M., ZERBONI A., ZUCCOLI L., TROMBINO L., 2018 – *Geomorphology of Mt. Cusna*

- Ridge (Northern Apennines, Italy): evolution of a Holocene landscape.* Journal of Maps, **14**(2), pp. 392-401.
- MIALL A.D., (1966) – *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology.* Springer-Verlag, New York, 582 pp.
- MIALL A.D., (1977) – *A review of the braided river depositional environment.* Earth Sci. Rev., **13**, pp. 1-62.
- MIALL A.D., (1985) – *Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits.* Earth Sci. Rev., **22**, pp. 261-308.
- PANIZZA M., 2009 – *Geomorfologia periglaciale dell'area di Sant'Andrea Pelago (Appennino modenese).* Mem. Soc. Geogr. It., **LXXXVII**, pp. 393-402.
- PANIZZA M., CARTON A., TASSI C., 1983 – *Evoluzione geomorfologica dei dintorni di S. Anna Pelago (Appennino modenese).* Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **114**, pp. 41-50.
- PAPANI G., 1971 – *Geologia della struttura di Viano (Reggio Emilia).* Mem. Soc. Geol. It., **10**, pp. 121-165.
- PAPANI G., DE NARDO M.T., BETTELLI G., RIO D., TELLINI C., VERNIA L., FORNACIARI E., IACCARINO S., MARTELLI L., PAPANI L., CIBIN U., SPADAFORA E., GABOARDI S., 2002 – *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 218 "Castelnovo ne' Monti".* Regione Emilia-Romagna, S.EL. CA., Firenze.
- PICOTTI V., PAZZAGLIA F.J., 2008 – *A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy).* Journal of Geophysical Research, **113**, B08412, doi: 10.1029/2007JB005307.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP, 1998 – *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna.* S.EL.CA., Firenze, 120 pp.
- REUTTER K.J., GROSCURTH J., 1978 – *The pile of nappes in the Northern Apennines, its unravelling and emplacement.* In: H. Cloos, D. Roeder & K. Schmit (eds.) "Alps, Apennines, Hellenides", Schweizerbart, Stuttgart, pp. 239-243.
- RICCI LUCCHI F., COLALONGO M.L., CREMONINI G., GASPERI G., IACCARINO S., PAPANI G., RAFFI S., RIO D., 1982 – *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico.* In: G. Cremonini & F. Ricci Lucchi (eds.) "Guida alla geologia del margine appenninico-padano", Bologna, pp. 14-46.
- RICCI LUCCHI F., ORI G.G., 1985 – *Field excursion D: syn-orogenic deposits of a migratine basin system in the NW Adriatic Foreland.* In: P.H. Allen, P. Homewood & G. Williams (eds.) "Excursion Guidebook", Foreland Basin Symposium, Freiburg, pp. 137-176.
- RIGUZZI F., PANZA G., VARGA P., DOGLIONI C., 2010 – *Can Earth's rotation and tidal despinning drive plate tectonics?* Tectonophysics, **484**, pp. 60-73.
- RONDELLI R., 2022 – *Paleoecologia della Formazione di Pantano tra le valli del Fiume Secchia e del Tiepido (Appennino modenese).* Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **153**, pp. 99-126.
- SCISCIANI V., TAVARNELLI E., PACE P., PATRUNO S., IACOPINI D., CALAMITA F., 2019 – *Twenty years of progress in studying inversion tectonics in the Northern Apennines and Adriatic foreland, Italy.* Geophysical Research Abstracts, Vol. **21**, EGU2019-9001, 2019EGU General Assembly.
- SCROCCA D., CARMINATI E., DOGLIONI C., MARCANTONI D., 2006 – *Arretramento dello slab adriatico e tettonica compressiva attiva nell'Appennino centro-settentrionale.* Rend. Soc. Geol. It., **2**, pp. 180-181.
- STENDARDI F., VIOLA G., VIGNAROLI G., 2023 – *Multiscale structural analysis of an Epiligurian wedge-top basin: insights into the syn- to post-orogenic evolution of the Northern Apennines accretionary wedge (Italy).* Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), **112**, pp. 805-827, <https://doi.org/10.1007/s00531-022-02286-y>.
- TORTORICI G., ROMAGNOLI G., GRASSI S., IMPOSA S., LOMBARDO G., PANZERA F., CATALANO S., 2019 – *Quaternary negative tectonic inversion along the Sibillini Mts. thrust zone: the Arquata del Tronto case history (Central Italy).* Environ Earth Sci, **78**. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8021-2>.
- TREVES B., 1984 – *Orogenic belts as accretionary prism: the example of the Northern Apennines.* Ofioliti, **9**(3), pp. 577-618.



**Riccardo Rondelli\***

## **Paleoecologia della Formazione di Pantano (Membro di Sassoguidano) tra Guiglia e Zocca e fasi evolutive della Formazione di Pantano (Appennino modenese e bolognese)**

### **Riassunto**

*La Formazione di Pantano (Burdigaliano sup.-Langhiano) è una formazione geologica miocenica diffusamente presente in tutto l'Appennino emiliano. La complessa associazione di litofacies, di cui questa formazione è costituita, ha permesso di suddividerla in innumerevoli membri afferenti a momenti e condizioni ambientali differenti della storia geologica dell'Appennino emiliano. Tra di essi particolarmente sviluppato nell'Appennino modenese è il Membro di Sassoguidano, interpretato come depositatosi all'interno di un ambiente di piattaforma interna. Recenti studi hanno evidenziato che il Membro di Sassoguidano può essere ulteriormente suddiviso in un complesso sistema di litofacies eteropiche tra loro, basate sulle associazioni ad echinoidi rinvenuti. L'analisi delle litofacies, comuni nelle limitrofe zone di Pavullo nel Frignano e Montese, ha evidenziato un progressivo passaggio, verso l'alto stratigrafico, da ambienti sublitorali ad ambienti litorali. Se gli affioramenti presenti a Pavullo nel Frignano e Montese, pure con alcune differenze, possono essere ricondotti a litofacies comuni sulla base degli echinoidi rinvenuti e delle caratteristiche lito-sedimentologiche osservate, la zona di Guiglia e Zocca si discosta piuttosto nettamente dalle aree poste più a sud. Anche gli autori ottocenteschi avevano notato varie differenze tra l'echinofauna fossile reperita in queste due aree. Lo studio del Membro di Sassoguidano affiorante presso la dorsale di Guiglia e Zocca, eseguito applicando la stessa metodologia di studi analoghi precedenti, ha permesso di definire come l'ambiente sia progressivamente mutato da condizioni sublitorali a quelle di una piattaforma esterna. L'analisi dei rapporti, con le altre litofacies identificate in precedenti studi, ha permesso di definire come la piattaforma pericontinentale miocenica, progressivamente degradasse verso nord fino a congiungersi con i depositi più profondi, sempre appartenenti alla Formazione di Pantano, affioranti nella fascia collinare prossima alla pianura e poi ancora verso l'area padana, allora sede di depositi emipelagici di scarpata e torbiditi di avanfossa. L'evoluzione temporale di questa piattaforma può inoltre essere suddivisa in quattro fasi distinte che conducono al passaggio con la sovrastante Formazione di Cigarello.*

---

\* Società Reggiana di Scienze Naturali C. Iacchetti, c/o Scuola primaria "D. Alighieri", via G. Puccini 4, 42124 REGGIO EMILIA; e-mail: ricca90.rr@gmail.com.

### **Abstract**

**Paleoecology and evolutionary phases of the Pantano Formation between Guiglia and Zocca (Modena Apennines, Italy).** The Pantano Formation (Upper Burdigalian-Langhian) is a Miocene geological formation widespread throughout the Emilia Apennines (Italy). The complex association of lithofacies, characterising this formation, is divided into many members belonging to different times and environmental conditions of the geological history of this sector of the Apennines. Among them, the Member of Sassoguidano is particularly well developed in the Modena Apennines and can be interpreted as a deposit within an internal platform environment. Recent studies have shown that the Sassoguidano Member can be further subdivided into a complex system of heteropic lithofacies, based on the associations with echinoids. The analysis of the distinct lithofacies, common in the neighbouring areas of Pavullo nel Frignano and Montese, has highlighted a stratigraphically upwards progressive passage from sub-littoral to littoral environments. The outcrops present in Pavullo nel Frignano and Montese, albeit with some differences, can be traced back to common lithofacies, based on the echinoids found and the litho-sedimentological characteristics observed, but the area of Guiglia and Zocca differs quite clearly from the areas located further south. Even nineteenth-century authors noticed various differences between the fossil echinofauna found in these two areas. The study of the Member of Sassoguidano, carried out by applying the same methodology as previous articles, cropping out near the Guiglia and Zocca ridge has led to a definition of the environment progressively changed from sub-littoral conditions to those of an external platform. The analysis of the relationships with the other lithofacies identified in previous studies has shown how the Miocene pericontinental platform progressively degraded towards the north until it joined the deeper deposits of the Pantano Formation, outcropping in the nearby hills in proximity of the plain and in the Po Valley. At that time, the latter was characterised by hemipelagic slope deposits and foredeep turbidites. The temporal evolution of this platform can also be divided into four distinct phases leading to the passage with the overlying Cigarell Formation.

**Parole chiave:** Echinoidi, Paleoecologia, Formazione di Pantano, Appennino settentrionale

**Keywords:** Echinoids, Palaeo-environment, Pantano Formation, Northern Apennines, Italy

## **1. Introduzione**

La Formazione di Pantano (Burdigaliano sup.-Langhiano) è una unità litostratigrafica miocenica costituita, a scala regionale, da numerosi membri ognuno dei quali caratterizzato da peculiari caratteristiche paleontologiche e sedimentologiche (Amorosi, 1993; Amorosi *et al.*, 1996; Fregni & Panini, 1995; Bettelli *et al.*, 2002; Panini *et al.*, 2002). Tra queste unità di rango inferiore è particolarmente sviluppato in Appennino modenese il Membro di Sassoguidano, interpretato come depositatosi in un ambiente di piattaforma interna. Recenti studi hanno evidenziato che esso può essere ulteriormente suddiviso in un complesso sistema di litofacies, eteropiche tra loro, anche basate sulle associazioni ad echinoidi ivi rinvenute (Rondelli 2022a, 2023a, 2024). Già in tempi passati i fossili reperiti all'interno della Formazione di Pantano sono sta-

ti oggetto di numerosi studi volti ad approfondire la sistematica e il significato paleoecologico di tali echinoidi. Tra gli autori di questi studi vanno annoverati Mazzetti (1872, 1879, 1881a, 1881b, 1896), Manzoni & Mazzetti (1878), Manzoni (1879, 1880, 1881), Coppi (1884), Mazzetti & Pantanelli (1885, 1887), Ugolini (1899), Stefanini (1908, 1909), Laureri (1963) e, più recentemente, Borghi (2012, 2013, 2020), Borghi & Stara (2016, 2020), Borghi *et al.* (2017), Borghi & Magnani (2020), Borghi & Battilani (2021), Rondelli (2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024) e Rondelli & Battilani (2023, 2024).

Le ricerche a cavallo tra '800 e '900, in particolare quelle intraprese dall'Abate Mazzetti e dal Dott. Angelo Manzoni, grazie alle quali venne reperita la maggior parte dei reperti fossili, si concentrarono su gran parte dell'Appennino modenese, reggiano e bolognese identificando numerose località fossilifere. Oggi le collezioni frutto del lavoro sul terreno di questi due autori sono conservate presso il museo dell'Università di Modena e Reggio Emilia e presso il museo dell'Università di Firenze. Oggetto di approfonditi studi (Mazzetti, 1881a) fu anche la zona compresa tra Guiglia e Zocca, dove l'Abate Mazzetti reperì vari echinoidi. Egli notò subito notevoli differenze con le limitrofe aree di Pavullo nel Frignano e di Montese; così infatti scriveva l'Abate Mazzetti: *«Forse la Fauna echinodermica di Montese non si mostra tanto analoga alla fauna echinodermica di Pavullo, quanto la medesima si scosta invece da quella di Guiglia. È vero che anche quest'ultima contiene alcuni echinidi che fanno parte della fauna echinodermica di Montese, ma però fra gli echinidi della fauna di Guiglia non si è per ora riscontrato né un Echinanthus, né un Conoclypeus, né un Echinolampas, né una Linthia: specie tutte che caratterizzano tanto bene la fauna echinodermica di Montese stesso»*.

Attraverso un lavoro di campagna su alcuni affioramenti significativi e una revisione critica dei dati disponibili relativi ai campioni conservati nelle collezioni storiche delle Università di Modena e Firenze, si applicheranno in questa nota i criteri sedimentologici e paleoecologici già utilizzati per Pavullo nel Frignano, Montese e per il basso Appennino modenese e bolognese (Rondelli, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024), allo scopo di determinare le condizioni di sedimentazione del Membro di Sassoguidano anche nell'area compresa tra Guiglia e Zocca. La loro correlazione ed integrazione con quelle definite per le altre limitrofe aree del Modenese e del Bolognese permetterà di proporre un quadro organico sulle caratteristiche paleogeografiche dei depositi medio-miocenici epiliguri di questo settore appenninico.

## **2. Inquadramento geologico dell'area di Guiglia e Zocca**

La zona compresa tra gli abitati di Guiglia e Zocca (Fig. 1) è caratterizzata principalmente da unità litostratigrafiche appartenenti al Dominio Ligure e alla

sovrastante e discordante Successione Epiligure (Bettelli *et al.*, 2002). Le Liguridi, depositatesi in un intervallo di tempo compreso tra Giurassico medio ed Eocene inferiore, sono rappresentate soprattutto da formazioni a predominanza argillosa (Complessi di base o formazioni pre-flysch) quasi ovunque prive dell'originaria stratificazione con un aspetto caotico (blocchi litici circondati da una "matrice" argillitica alla scala dell'affioramento). Ad esse si aggiungono scaglie tettoniche costituite dai Flysch ad Elmintoidi (Flysch di M. Cassio e Formazioni di Monte Venere e Monghidoro): potenti corpi torbiditici di piana abissale e conoide sottomarina a dominante carbonatica e silicoclastica. Tali formazioni si sedimentarono subito dopo la fase di più marcata oceanizzazione o di massima estensione dell'Oceano Ligure-Piemontese e durante le prime fasi di convergenza e tettonizzazione, terminate con la fase tettonica ligure dell'Eocene medio che chiuse di fatto l'Oceano Ligure-Piemontese. Questo evento deformativo portò alla costruzione di una paleocatena sottomarina definita anche come "prisma di accrezione ligure", frutto dei meccanismi di raschiamento e impilamento dei sedimenti oceanici e di parte della crosta oceanica tramite il meccanismo di obduzione che ha permesso la messa in posto di potenti scaglie ofiolitiche inglobate nei complessi di base, avvenuto durante il processo di subduzione della litosfera oceanica dell'Oceano Ligure-Piemontese. Al di sopra del prisma ligure cominciò a depositarsi in discordanza, all'interno di bacini a *piggy back*, la Successione Epiligure (Bettelli *et al.*, 2002) costituita, in questa prima fase, da formazioni a dominanza argillitica ed arenitica di età compresa tra l'Eocene medio e il Miocene inferiore e depositatesi in ambiente marino profondo. La successiva fase tettonica toscana fu responsabile del sottoscorrimento della porzione più interna delle avanfosse toscane al di sotto del prisma ligure. Questo processo determinò un generale sollevamento del prisma causando profonde variazioni di carattere paleogeografico e sedimentologico sulla Successione Epiligure. In conseguenza di questo evento le formazioni, prevalentemente argillose di ambiente profondo, vennero sostituite da formazioni a dominanza carbonatico/terrigena di età miocenica inferiore e media rappresentante dal Gruppo di Bismantova (Amorosi, 1993; Fregni & Panini, 1995; Amorosi *et al.*, 1996; Bettelli *et al.*, 2002; Panini *et al.*, 2002). Tale Gruppo è suddiviso, a scala regionale, in varie formazioni geologiche, che vanno da prevalenti biocalcareniti tipiche delle zone più meridionali a sedimenti più fini che caratterizzano le aree del margine settentrionale dell'Appennino emiliano in prossimità della pianura (Amorosi, 1991, 1992a, 1992b). Con l'inizio nel Miocene medio della distensione, connessa all'apertura del bacino tirrenico settentrionale, la sedimentazione epiligure tornò ad avere un carattere bacinale con la Formazione di Cigarello, dominata da peliti di scarpata e corpi arenacei risedimentati.

Appartenente al Gruppo di Bismantova è la Formazione di Pantano che è

stata suddivisa, su base litostratigrafica, in vari membri rappresentanti condizioni ambientali differenti, ma sostanzialmente isocrone, nei differenti settori appenninici. Il Membro di Sassoguidano, oggetto della corrente nota, si associa generalmente al Membro di Montecuccolo rappresentando, con quest'ultimo, i sedimenti della formazione caratterizzati nell'insieme da facies relativamente prossimali e costiere, generalmente riferibili ad un ambiente di piattaforma ed affioranti nel settore sudorientale dell'Appennino emiliano. Essi mostrano esposizioni particolarmente significative nelle aree di Pavullo nel Frignano, Zocca, Guiglia e Montese, prolungandosi poi nel Bolognese in corrispondenza della zona di Castel d'Aiano, Cereglio e negli affioramenti di Montovolo e Monte Vigese. Il Membro di Montecuccolo risulta assente nell'area di Guiglia e Zocca essendo presente con affioramenti rappresentativi unicamente fino alla località dei Monti della Riva; posta appena a nord di Zocca. Oltre questa località, verso Nord, la totalità della Formazione di Pantano è costituita unicamente dal Membro di Sassoguidano (Fig. 1). Il quadro litostratigrafico sopra descritto, adottato nella cartografia geologica più recente (Bettelli *et al.*, 2002; Gasperi *et al.*, 2002; Panini *et al.*, 2002), ricalca in larga misura quello delineato su base sequenziale da Amorosi (1991). In questo studio il Membro di Sassoguidano corrisponde alla sequenza (S1 - Amorosi, 1991) e quello di Montecuccolo alla parte inferiore della sequenza (S2 - Amorosi, 1991).

I rapporti identificati tra i due membri (Amorosi, 1991, 1992a, 1992b; Rondelli, 2022a, 2023a, 2023b, 2024) pongono il Membro di Sassoguidano, come la parte basale della formazione dimostrando un *trend* regressivo verso l'alto stratigrafico, che porta al passaggio al sovrastante Membro di Montecuccolo con un contatto che localmente mostra un carattere di discontinuità (Amorosi, 1991; Rondelli, 2023b). Ove è conservato e visibile, il contatto inferiore della Formazione di Pantano avviene quasi ovunque in discontinuità sulla Formazione di Contignaco, rappresentata da peliti e areniti fini torbiditiche con elevato tenore di silice diffusa, a volte concentrata in liste o in orizzonti vulcano-detritici (cineriti). In altri casi, lungo tutta la dorsale di Guiglia e Zocca, per effetto della tettonica fragile più recente, la Formazione di Pantano è in contatto con il sottostante substrato ligure o con la Formazione di Antognola. Entro quest'ultima formazione è presente nell'area di studio, e più in generale tra Appennino modenese e bolognese, un membro caratterizzato da torbiditi arenitiche grossolane risedimentate chiamato Membro di Anconella (Wiedenmayer, 1950; Azzaroli, 1953). Il Membro di Anconella forma tra Guiglia e Zocca le spettacolari guglie dei Sassi di Rocca Malatina, dovute a erosione differenziale e a un assetto piuttosto inclinato della formazione.

### 3. Materiali, metodi e note sulla classificazione

Come in altri lavori affini riguardanti la Formazione di Pantano (Rondelli, 2022a,b, 2023a,b, 2024) per l'analisi dell'area presa in esame sono stati analizzati i dati disponibili sugli echinoidi conservati presso i Musei di Paleontologia dell'Università di Modena (MPUM) e dell'Università di Firenze (IGF), dove si trovano le collezioni Mazzetti e Manzoni. Allo scopo di ottenere un quadro più completo possibile, per l'analisi delle litofacies osservate sono state associate informazioni derivanti dall'echinofauna a osservazioni dirette di terreno condotte sulle esposizioni più significative. Per la classificazione degli echinoidi fossili verrà utilizzato il modello proposto da Borghi (2020).

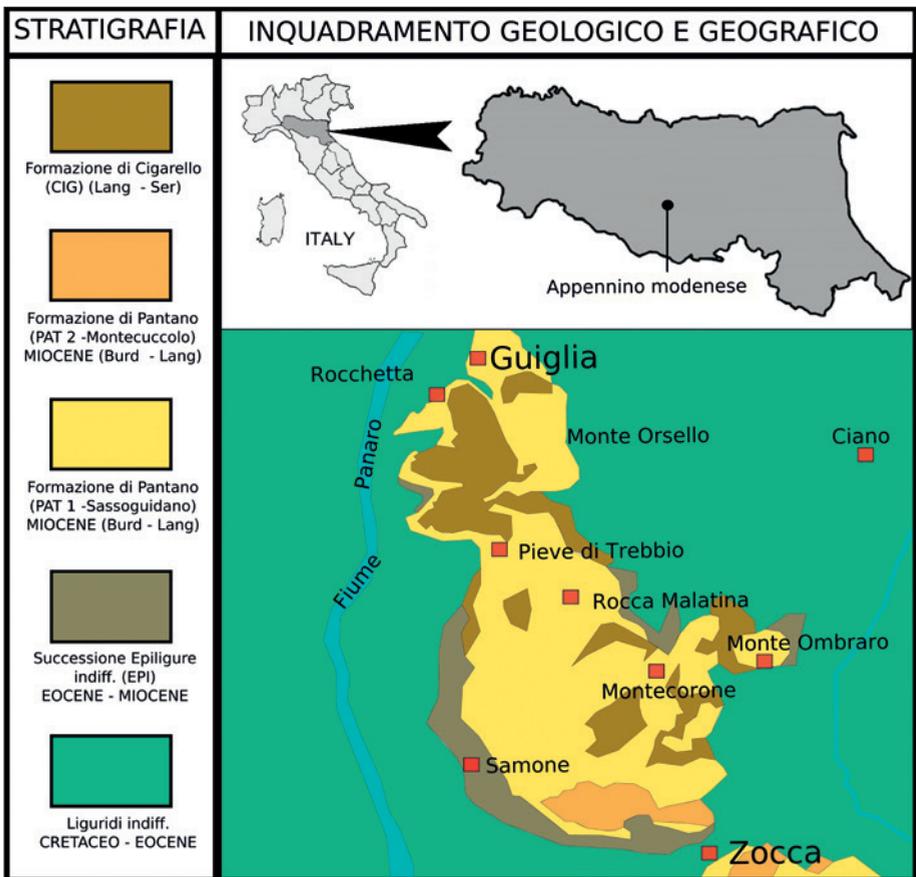


Fig. 1 – Inquadramento geografico e geologico della media Valle del F. Panaro nell'Appennino modenese (modificato da Bettelli et al., 2002).

#### **4. Analisi sedimentologica**

Nelle aree oggetto di studio (Fig. 1) è stato possibile distinguere quattro litofacies affioranti diffusamente in un areale compreso tra gli abitati di Guiglia, Rocchetta, Rocca Malatina, Zocca, Lamè e Tolè. Sono peraltro state estese le indagini anche sul versante opposto della Valle del Fiume Panaro, per verificare la loro eventuale presenza anche nel Pavullese. A tale scopo è stata approfondita la località di Benedello; scarsamente investigata in precedenti studi (Rondelli, 2023a). Per la descrizione della Litofacies (LT3) affiorante nei pressi di Zocca, comune agli affioramenti più meridionali, si rimanda alle descrizioni presenti in studi precedenti sul modenese (Rondelli, 2022a, 2023a). Si procederà dunque con la descrizione delle sole litofacies ad echinoidi presenti tra gli abitati di Guiglia e Rocca Malatina ed assenti negli affioramenti più meridionali.

##### **4.1 – Litofacies 1 (LT3/B)**

La litofacies 1 è costituita da una alternanza ritmica di siltiti marnose e arenarie siltose bioturbate a stratificazione mal definita (Fig. 3D). Generalmente i due litotipi sono organizzati in coppie costituite da una parte inferiore siltosa interamente bioturbata ed una superiore arenacea. Negli orizzonti arenacei sono localmente osservabili laminazioni piano parallele o oblique, interpretate (Amorosi, 1991) come dovute alla migrazione di piccoli *ripple*. I bioclasti sono estremamente rari e costituiti principalmente da frammenti e radioli di echinoide mai in pozione di vita. La litofacies è presente solamente nella parte settentrionale dell'areale studiato, tra le aree di Rocca Malatina e Guiglia. Verso sud essa sfuma progressivamente nella litofacies già identificata e descritta (LT3 - Rondelli, 2022a) per la zona di Montese, con la quale è parzialmente eteropica (Amorosi, 1991). Per l'area di Guiglia e Rocca Malatina la litofacies 1 (LT3/B) costituisce la base del Membro di Sassoguidano, mostrando (Fig. 5) una progressiva transizione verticale alle litofacies 2 (LT3/C). Sull'altro lato della Valle del Panaro, quindi nel Pavullese, questa litofacies non è stata identificata in posizione basale all'interno della successione della Formazione di Pantano. Viene dunque confermata la sola (LT3) anche nell'area di Benedello, posta al limite settentrionale degli affioramenti ubicati nella placca epiligure di Pavullo nel Frignano.

##### **4.2 – Litofacies 2 (LT3/C)**

La seconda litofacies identificata è costituita da strati grigi di arenarie calcaree fini, generalmente amalgamati, di spessore da medio a molto spesso, a cui si intercalano siltiti sabbiose o arenarie siltose mal cernite e blandamente bioturbate a stratificazione mal definita (Fig. 3D). Solo raramente sono osservabili piccoli set di laminazioni oblique o incrociate (*ripple*). Localmente,

soprattutto nella porzione meridionale dell'areale studiato tra Castellino delle Formiche e Zocca, sono stati osservati orizzonti decimetrici di arenarie medie e grossolane interessate dalla presenza di frammenti ofiolitici e glauconie e di rari bioclasti (principalmente frammenti di echinoidi) fortemente rielaborati e frammentati (Fig. 2F). Nella litofacies i bioclasti sono in generale estremamente rari e sporadici, seguendo l'andamento osservato anche per l'affine (LT3) di Montese e Pavullo nel Frignano (Rondelli, 2022a, 2023a). I bioclasti sono costituiti perlopiù da frammenti di echinoidi distribuiti in modo casuale e irregolare all'interno del sedimento. Per l'area di Guiglia e Rocca Malatina questa litofacies costituisce la porzione centrale della successione, essendo stratigraficamente sovrastante alla litofacies 1 (LT3/B). La litofacies passa superiormente alla litofacies 3 (LT5) nell'area di Guiglia e Rocca Malatina (Fig. 5). I rapporti della di litofacies 2 verso sud non sono chiari, ma è ipotizzabile che essa sia parzialmente eteropica con (LT3 - Rondelli, 2022a, 2023a).

#### 4.3 – Litofacies 3 (LT5)

La terza litofacies identificata è costituita dalla regolare alternanza di banconi più o meno arenacei con stratificazione piano parallela o debolmente cuneiforme (Fig. 3A). I banchi sono spessi da alcune decine di centimetri, fino al metro, e si presentano amalgamati in corrispondenza della porzione inferiore della litofacies dove gli intervalli con maggiore componente limosa sono assenti. I banconi arenacei hanno base netta, localmente erosiva e spesso sono privi di strutture interne a causa della forte bioturbazione. Le tracce fossili sono principalmente rappresentate da piste di vermi limivori come *Chondrites* (Fig. 2B) e dalla traccia fossile *Zoophycos* (Fig. 2C). Presenti all'interno del sedimento, per lo più nei dintorni di Guiglia e Rocca Malatina, sono abbastanza comuni noduli e incrostazioni di ossidi e idrossidi di ferro, talvolta costituenti una tipica bandatura piano parallela (Fig. 2A). Tali incrostazioni sono molto simili a quelle descritte per la litofacies (AS1 - Rondelli, 2022b). I bioclasti non sono comuni e rappresentati perlopiù da frammenti di echinoidi distribuiti in modo sporadico, ma anche casuale e irregolare all'interno dei vari orizzonti analizzati. Presenti sono anche frammenti vegetali compenetrati da colonie di teredini (Fig. 2E). Gli echinoidi presi in esame sono mediamente di maggiori dimensioni (Fig. 2D) e generalmente meglio conservati rispetto alla vicina area di Montese. Tale caratteristica era già stata notata dagli autori ottocenteschi che riportavano (Mazzetti 1881a): «*La fauna echinodermica di Guiglia ha su quella di Montese cotesto vantaggio: che i suoi fossili sono assai più fatticci ed estremamente meglio conservati che non quelli di Montese. Il Cav. Carlo Boni possiede un Hemipneutes di Guiglia, ed il Museo Civico di Modena una Maretia, che oltre di mostrare bene tutti i loro caratteri esterni, sono veramente colossali*».

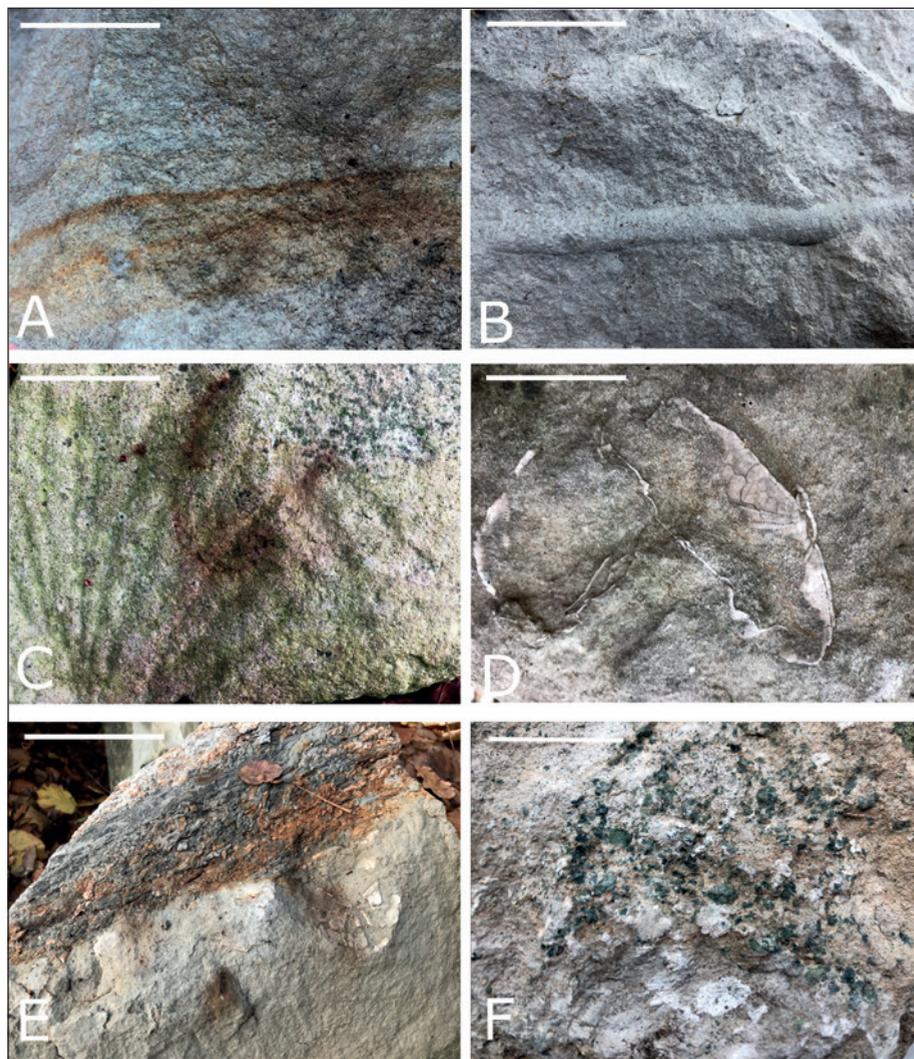


Fig. 2 – A) Arenaria fine contraddistinta da laminazioni piano-parallele di ossidi e idrossidi di ferro (LT5): scala 1 cm; B) Traccia fossile Chondrites (LT5): scala 1 cm; C) Traccia fossile Zoophycos (LT5): scala 10 cm; D) Frammento di echinoide fossile del genere *Toxopatagus* presso Rocca Malatina (LT5): scala 8 cm; E) Frammento vegetale compenetrato da una colonia di tereдини (LT5): scala 10 cm; F) Intervallo grossolano caratterizzato dalla forte presenza di clasti serpentinitici e glauconie (LT3/C): scala 2 cm.

Le condizioni di conservazione degli echinoidi sono molto simili a quelle osservate anche in (AS1), dove le teche, oltre ad essere decisamente poco abbondanti e con una distribuzione casuale nello strato, sono spesso incomplete e con frammenti mai presenti nelle vicinanze dell'echinoide. La frammentazione osservata negli echinoidi è in alcuni casi dovuta a permanenza prolungata sul fondale, mentre in altri esemplari la fratturazione è chiaramente riconducibile a urti violenti. Solo raramente sono stati osservati, principalmente all'interno dei banconi maggiormente arenacei, la presenza di molteplici bioclasti accumulati, comunque mai in posizione di vita. La litofacies 3 è stratigraficamente sovrapposta alla litofacies 2 (LT3/C) (Fig. 5) ed evolve, verso l'alto stratigrafico, alla sovrastante Formazione di Cigarello. Verso sud viene ipotizzato un rapporto di eteropia con la litofacies (LTB - Rondelli, 2023b) appartenente al Membro di Montecuccolo ed affiorante presso la località dei Monti della Riva.



Fig. 3 – A) Aspetto di campagna di Litofacies 3 (LT5) presso Rocca Malatina: scala 3 m; B) Aspetto di campagna di Litofacies 3 (LT5), in figura sono evidenziati gli intervalli corrispondenti al modello di facies di sequenza parziale 1 (Rondelli, 2022b) – C3, C2, C4 (Rebesco et al., 2014; Stow & Faugères, 2008): scala 1 m; C) Litofacies 2 (LT3/C) presso Rocca Malatina: scala 1 m; D) Litofacies 1 (LT3/B) presso Rocca Malatina: scala 2 m.

## 5. Analisi paleontologica

### 5.1 – Echinofauna

Gli echinoidi conservati nelle collezioni museali delle università di Modena e Firenze e segnalati (Stefanini, 1909) per le località di Guiglia, Zocca, Rocca Malatina, Rosola, Verrucchia, Castellino e Monteorsello sono caratterizzati dalla predominanza di echinidi irregolari dell'ordine Spatangoida. Tale ordine è qui rappresentato da esemplari di *Mazettia paretii* (Manzoni, 1879) e *Sardospatangus* spp. (Stara *et al.*, 2018).

Ben documentato è anche il genere *Schizaster*. Come per note affini (Borghi, 2020; Rondelli, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024), non potendo discriminare le varie specie di *Schizaster*, a causa del basso grado di conservazione, vengono segnalati per i due generi tutte le specie identificate da Borghi (2020). Presenti sono anche *Heterobrissus montesi* (Manzoni & Mazzetti, 1877), anche se con un limitato numero di esemplari e *Toxopatagus italicus* (Manzoni & Mazzetti, 1878).

Tra gli echinidi regolari è presente solo *Cidaris mazzettii* (Stefanini, 1908), di cui si segnalano unicamente rare spine isolate nella roccia per le località di Guiglia e Rocca Malatina. *Nudobrissus malatinus* (Mazzetti & Pantanelli, 1885) è stato segnalato unicamente per la località di Rocca Malatina. Presenti, principalmente nell'areale compreso tra Rocca Malatina e Zocca sono anche esemplari appartenenti al genere *Faorina*.

Dall'area proviene anche un dibattuto frammento di echinoide, classificato come *Clypeaster intermedius* (Mazzetti & Pantanelli, 1884). Dato lo scarso grado di conservazione e l'incertezza sull'attribuzione la segnalazione non venne più ripresa dai successivi lavori di revisione sistematica (Stefanini, 1909). Borghi (2020) ha recentemente ripreso la segnalazione, attribuendola a *Clypeaster* sp. Presso le collezioni dell'università di Modena è conservato anche un esemplare di *Echinolampas manzonii* (Pomel, 1883) proveniente da Rocca Malatina. Questo unico campione (Fig. 11; codice catalogo IPUM 35049), segnalato per la prima volta nella corrente nota, rappresenta il primo ritrovamento di questo echinoide per la località di Rocca Malatina.

Tab. 1 – Echinidi rinvenuti e identificati nella Formazione di Pantano tra le aree di Guiglia e Zocca.

Echinidi identificati	Autori della classificazione *	Altre classificazioni **	Litofacies di appartenenza ***
<i>Arbacina catenata</i> (Desor in Agassiz & Desor, 1846)	Borghi (2020)	<i>Psammechinus</i> sp. - Mazzetti (1881) <i>Psammechinus monilis</i> - Mazzetti & Pantanelli (1885)	<b>3C</b>
<i>Cidaris mazzettii</i> (Stefanini, 1908)	Borghi & Stara (2016)	<i>Dorocidaris papillata</i> - Manzoni (1879) <i>Cidaris peroni</i> - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Dorocidaris Mazzettii</i> n.sp. - Stefanini (1908)	<b>3B</b>
<i>Toxopatagus italicus</i> (Manzoni & Mazzetti, 1878)	Borghi (2020)	<i>Hemipneustes italicus</i> - Manzoni & Mazzetti (1877)	<b>3C-5</b>
<i>Heterobrissus montesi</i> (Manzoni & Mazzetti, 1878)	Borghi (2020)	<i>Heterobrissus montesi</i> n. sp. - Manzoni & Mazzetti (1877)	<b>3-5</b>
<i>Mazettia paretii</i> (Manzoni, 1879)	Borghi (2013)	<i>Maretia paretii</i> - Manzoni (1879) <i>Linopneustes paretii</i> - Stefanini (1908)	<b>5</b>
<i>Sardospatangus</i> <b>spp.</b>	Stefanini (1908), Philippe (1998), Stara <i>et al.</i> (2018)	<i>Sardospatangus delphinus</i> - (Defrance, 1827) <i>Spatangus chitonosus</i> - Manzoni (1879) <i>Spatangus hemiornatus</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Spatangus discoidalis</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Spatangus semelanensis</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Spatangus podex</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Spatangus cor</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Spatangus corsicus</i> - Stefanini (1908)	<b>3B-3C</b>
	Borghi (2012), Stara <i>et al.</i> (2018)	<i>Sardospatangus subconicus</i> - Mazzetti (1881) <i>Spatangus austriacus</i> (pars) - Manzoni (1879) <i>Sardospatangus subconicus</i> - Mazzetti (1881) <i>Spatangus arcuatus</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Spatangus hemisphaericus</i> n. sp. - Mazzetti & Pantanelli (1887) <i>Prospatangus venzoi</i> - Laureri (1963) <i>Prospatangus fabianii</i> - Laureri (1963)	<b>5</b>
	Borghi (2012), Stara <i>et al.</i> (2018)	<i>Sardospatangus destefanii</i> - Stefanini (1908) <i>Spatangus austriacus</i> (pars) - Manzoni (1879) <i>Prospatangus cfr. airaghii</i> - Laureri (1963)	<b>5</b>

Echinidi identificati	Autori della classificazione *	Altre classificazioni **	Litofacies di appartenenza ***
<i>Schizaster</i> sp.	Kroh (2005)  Borghi (2020)  Kroh (2005), Smith & Kroh (2011)	<i>Schizaster eurynotus</i> - Stefanini (1909) <i>Schizaster leithanus</i> - Coppi (1884)  <i>Ova karreri</i> - Laube (1869) <i>Schizaster melitensis</i> - Stefanini (1909)  <i>Opissaster cotteauii</i> - Wright (1855) <i>Hemiaster cotteau</i> - Mazzetti (1882) <i>Trachyaster Lovisatoi</i> - Stefanini (1909)	<b>3B-3C-5</b>  <b>3B-3C-5</b>  <b>3B-3C-5</b>
<i>Brissopsis crescenticus</i> (Wright, 1855)	Kroh (2005)	<i>Brissopsis ottangensis</i> - Manzoni (1879) <i>Toxobrissus elegans</i> - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Hemiaster buklandi</i> - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Brissopsis crescenticus</i> - Mazzetti (1896) <i>Brissopsis lusitanica</i> - Stefanini (1909)	<b>5</b>
<i>Nudobrissus malatinus</i> (Mazzetti & Pantanelli, 1885)	Borghi & Stara (2020)	<i>Pericosmus malatinus</i> - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Pericosmus dilatatus</i> (pars) - Mazzetti (1896) <i>Dyctiaster malatinus</i> - Stefanini (1908) <i>Dyctiaster excentricus</i> - Stefanini (1908)	<b>3C-5</b>
<i>Faorina callosa</i> (Manzoni, 1879)	Kroh (2005), Stara & Borghi (2012)	<i>Pericosmus latus</i> (pars) - Manzoni (1880) <i>Pericosmus aequalis</i> - Mazzetti & Pantanelli (1885) <i>Pericosmus latus</i> - Stefanini (1909) <i>Pericosmus callosus</i> (pars) - Manzoni (1879) <i>Pericosmus orbigny</i> (pars) - Stefanini (1909)	<b>3C</b>
<i>Faorina maullui</i> (Stara & Borghi, 2012)	Stara & Borghi (2012)	<i>Pericosmus callosus</i> (pars) - Manzoni (1879) <i>Pericosmus orbigny</i> (pars) - Stefanini (1909)	<b>3C</b>
<i>Echinolampas manzonii</i> (Pomel, 1883)	Kroh (2005)	<i>Echinolampas depressa</i> - Manzoni (1880, 1881) <i>Echinolampas depressus</i> - Mazzetti (1882) <i>Echinolampas angulatus</i> - Stefanini (1908) <i>Echinolampas hemisphaericus</i> - Manzoni (1881) <i>Echinolampas hemisfericus</i> - Mazzetti (1882) <i>Echinolampas hemisphaerica</i> - Kroh (2005)	<b>3C</b>

\* L'autore indicato è colui che ha affermato che i taxa nella terza colonna corrispondono alle specie indicate nella prima colonna.

\*\* Le classificazioni non rappresentano l'autore della specie bensì l'autore della segnalazione nella Formazione di Pantano. Nella terza colonna sono indicate in grassetto le specie riconosciute da Borghi (2020).

\*\*\* 3 = (LT3-Rondelli, 2022a, 2023a); 3B = Litofacies 1 (LT3/B); 3C = Litofacies 2 (LT3/C); 5 = Litofacies 3 (LT5).

Le associazioni echinologiche identificate si sono rivelate estremamente poco abbondanti e sporadiche, ma chiaramente distinte all'interno delle tre litofacies identificate.

All'interno della litofacies 1 (LT3/B) l'associazione risulta costituita principalmente da rarissimi echinoidi quali: *Sardospatangus* spp. e *Schizaster* sp., viene qui segnalato un singolo aculeo di *Cidaris mazzettii* osservato presso Rocca Malatina. Anche per la litofacies 2 (LT3/C) gli echinoidi sono decisamente rari e costituita principalmente da *Sardospatangus* spp., *Schizaster* sp. e *Toxopatagus italicus*. Presenti sono anche frammenti di *Faorina*, a volte contenuti all'interno dei rari orizzonti più grossolani ubicati a Sud di Rocca Malatina, e *Nudobrissus malatinus*. All'interno della litofacies 3 (LT5) l'associazione è dominata da predominati *Sardospatangus* spp., *Schizaster* sp., *Mazettia paretii* e *Toxopatagus italicus*. *Faorina callosa* è stata segnalata anche per l'area di Tolè (Stefanini, 1909). Gli echinoidi provenienti da questa località sono però riferiti a (AS1 - Rondelli, 2022b). *Heterobrissus montesi*, segnalato con un unico esemplare (Stefanini, 1909) per la località di Zocca, viene riferito a (LT3).

### 5.2 – Altri organismi

Il Membro di Sassoguidano affiorante tra Guiglia e Zocca è estremamente povero di resti fossili, rappresentati per la maggior parte da echinoidi. È tuttavia possibile segnalare, all'interno della litofacies (LT5), sporadici resti di gusci di picnodonte (Nelli, 1910), *Eudolium* sp. e più abbondanti resti vegetali compenetrati da colonie di teredini (Fig. 2E). Ritrovamento singolare ed eccezionale da segnalare è una coda di pesce, reperita presso Ca' Uccelliera nel 1939 (Pellegrini, 2018) ed oggigiorno ancora osservabile su una roccia inglobata nel muro di una abitazione privata nei pressi di Pieve di Trebbio (Guiglia).

## 6. Analisi paleoambientale

Come in note affini riguardanti la Formazione di Pantano (Rondelli, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024) per lo studio paleoecologico ci si è basati su lavori riguardanti le macrofaune mioceniche del Mediterraneo (Philippe, 1998; Kroh, 2002, 2005; Kroh & Menkveld, 2006; Smith & Gale, 2009; Mancosu & Nebelsick, 2016; Borghi, 2020). In aggiunta sono stati consultati studi riguardanti la morfologia funzionale degli echinoidi fossili (Smith, 1978, 1980; Smith & Stockley, 2005; Stara *et al.*, 2016).

### 6.1 – Litofacies 1 e 2 (LT3/B - LT3/C)

Le Litofacies 1 e 2 sono accomunate dall'eccezionale scarsità di resti fossili. Gli scarsi echinoidi identificati si sono rivelati però comuni, nella maggior parte dei casi, per entrambe le litofacies. Si tratta di spatangoidi come

*Sardospatangus* spp. e *Schizaster* sp., echinoidi infaunali diffusi un po' a tutte le batimetrie nei mari attuali (De Ridder & Lawrence, 1982; Stockley *et al.*, 2005). La loro presenza indica un ambiente sublitoraneo esterno A5 - A1 (Mancosu & Nebelsick, 2016), caratterizzato da bassa energia idrodinamica. Tale ambiente è simile a quello definito per le aree di Montese e Pavullo nel Frignano (LT3 in: Rondelli, 2022a; 2023a); tuttavia è possibile identificare alcune differenze paleontologiche e sedimentologiche che ne giustificano una ulteriore differenziazione.

La litofacies 1 (LT3/B) è attribuibile ad un ambiente sublitorale ad energia moderata, in cui però avveniva periodicamente l'introduzione di sabbie parzialmente rielaborate. Tali apporti, generalmente indotti da correnti di tempesta, sono tendenzialmente associati ad un ambiente di transizione tra quello litoraneo e la porzione più esterna della piattaforma (Amorosi, 1991). La litofacies 2 (LT3/C) più francamente arenitica, può invece essere rappresentativa di un ambiente sublitorale ad energia moderata, ma più prossimo all'ambiente litorale rispetto a (LT3/B). Una maggiore prossimità all'ambiente litorale, in particolar modo nei depositi affioranti presso Rocca Malatina, è testimoniata dalla presenza locale di rari orizzonti di arenarie grossolane costituite da clasti serpentinitici, glauconie e frammenti di bioclasti. Tali "eventi" sono attribuibili all'azione di correnti di tempesta contraddistinte da una maggiore energia e dunque collocabili in zone più prossime alla linea di costa. A testimonianza di ciò alcuni dei bioclasti osservati in questi orizzonti più grossolani si sono rivelati appartenenti all'echinoide *Faorina callosa*, tipico abitante di ambienti sublitorali interni (Mancosu & Nebelsick, 2016). Anche la presenza, seppur rappresentata da singoli o scarsi esemplari, di *Nudobrissus malatinus*, *Faorina mallui* e *Echinolampas manzonii* (Fig. 11), ampiamente diffusi più a sud nell'area litoranea di Montese (Rondelli, 2022a, 2024), testimonia una certa prossimità all'ambiente litorale. Data la discontinuità degli affioramenti analizzati non è stato possibile riferire gli orizzonti più grossolani a una determinata posizione stratigrafica all'interno di (LT3/C). È tuttavia possibile ipotizzabile che, come osservato anche in altre aree di transizione tra l'ambiente litorale (piattaforma Pavullo/ Montese) e di piattaforma esterna della Valle del Fiume Reno (Rondelli, 2022a, 2023b, 2024), essi rappresentino il picco della regressione all'interno del Membro di Sassoguidano. Nell'area di Rocca Malatina, contraddistinta dall'assenza del Membro di Montecuccolo, l'acme regressivo potrebbe essere rappresentato proprio da questi orizzonti, contraddistinti talvolta da maggiore granulometria e dalla comunque rara presenza di organismi ad affinità litoranea.

I rapporti stratigrafici osservati tra le Litofacies 1 e 2 (Fig. 5) mostrano dunque una progressiva diminuzione di profondità verso l'alto stratigrafico, compatibile con il *trend* generalmente regressivo, tipico del Membro di

Sassoguidano nelle diverse aree di affioramento dell'Appennino modenese (Amorosi, 1991, 1992a, 1992b; Rondelli, 2022a, 2023a, 2023b, 2024). La progressiva scomparsa della litofacies (LT3/B), (LT3/C) e (LT3) mano a mano che ci si sposta verso sud (Fig. 6), conferma l'interpretazione proposta in un precedente studio (Rondelli, 2023b) che ipotizzava come i depositi più francamente litoranei affioranti presso l'area di Montese fossero progressivamente sostituiti, verso mare, dai depositi ora affioranti nei dintorni di Guiglia che, a loro volta, passavano a quelli di piattaforma esterna del basso Appennino modenese, prossimi all'attuale linea pedemontana (Rondelli, 2023b). Tale area di transizione era dunque contraddistinta da un ambiente sublitorale estremamente articolato e caratterizzato dall'associazione di facies differenti.

### 6.2 – Litofacies 3 (LT5)

L'associazione identificata all'interno della Litofacies 3 (LT5) è risultata costituita da non abbondanti echinidi come: *Mazettia paretii*, *Sardospatangus* spp., *Heterobrissus montesi*, *Toxopatagus italicus* e *Schizaster* sp. Tale associazione, che si discosta molto dalle altre identificate entro il Membro di Sassoguidano a Montese e Pavullo nel Frignano (Rondelli, 2022, 2023a, 2024), è costituita principalmente da echinidi che nel Miocene del Mediterraneo sono considerati tipici di piattaforma esterna. In particolare *Mazettia paretii* e *Heterobrissus montesi* (Gruppo C, cfr. Borghi, 2020) sono considerati esclusivi di fondali batiali e dal substrato fangoso. Echinoidi attuali, affini agli organismi fossili contenuti nella Formazione di Pantano, come *Heterobrissus hystrix* (Agassiz, 1881) o *Linopneustes* (Agassiz, 1881) vivono attualmente su fondali fangosi in un intervallo di profondità compreso tra i 200 e 1000 m; con massima frequenza in ben determinati intervalli batimetrici (Serafy, 1979; Young *et al.*, 1998; Smith & Gale, 2009). Altri echinoidi presenti come *Sardospatangus* spp., *Schizaster* sp. e *Toxopatagus italicus*, in questa litofacies i più rappresentati, presentano invece un intervallo batimetrico più ampio (Gruppo E, cfr. Borghi, 2020). L'appartenenza della Litofacies 3 (LT5) a depositi appartenenti alla piattaforma esterna è avvalorata dalle grandi dimensioni raggiunte dagli echinoidi fossili. Questa caratteristica, riportata più volte anche dai primissimi autori che si occuparono degli echinoidi della Formazione di Pantano (Mazoni, 1879, 1880; Stefanini, 1909), è tipica di organismi affini a profondità più elevate (Borghi, 2020). Particolarmente interessante è la completa assenza all'interno di questa litofacies di echinoidi, normalmente presenti entro le altre litofacies identificate per il Membro di Sassoguidano (LT1, LT2 e LT4), indicatori di ambienti litoranei di piattaforma interna (Kroh, 2005; Borghi & Ciappelli, 2014; Tortonese, 1965). Dal punto di vista paleontologico dunque la Litofacies 3 (LT5) è differente da tutte le altre distinte per il Membro di Sassoguidano, apparendo abbastanza affine alla litofacies (AS1 - Rondelli 2022b);

descritta per la porzione più tipica e non distinta in unità litostratigrafiche di rango inferiore della Formazione di Pantano (PAT), ed attribuita ad un ambiente di piattaforma esterna. La Litofacies 3 affiorante presso Guiglia e Zocca mostra comunque caratteristiche più prossimali rispetto ad (AS1), testimoniate da una maggiore componente arenitica e dalle caratteristiche paleontologiche.

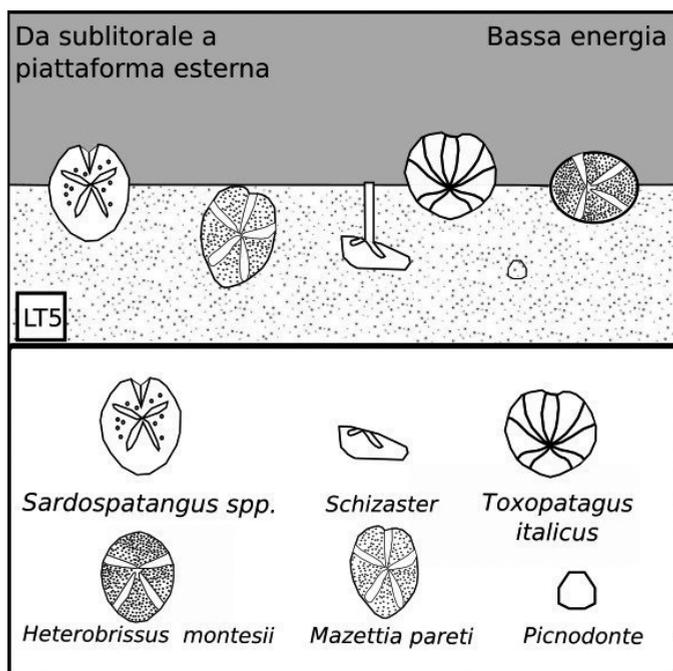


Fig. 4 – Ricostruzione dell'ambiente ipotizzato per (LT5).

*Sardospatangus*, *Toxopatagus italicus* e *Schizaster* sono infatti decisamente più abbondanti rispetto a *Mazettia paretii* e *Heterobrissus montesii*, al contrario di quanto osservato nella litofacies (AS1) dove questi ultimi due echinoidi sono tra i più abbondanti assieme a *Toxopatagus italicus* (Borghi, 2020; Rondelli, 2022b). L'abbondanza delle faune sembra essere quindi più affine a quella descritta per la Formazione di Pantano (PAT) di Monte Valestra (Borghi, 2020) in Appennino reggiano, sempre associata con (AS1) da Rondelli (2022b), piuttosto che con quella descritta per il Pedepennino modenese (Rondelli, 2022b) e bolognese dove *Sardospatangus* e *Schizaster* sono decisamente meno abbondanti di *Mazettia paretii*, *Heterobrissus montesii* e *Toxopatagus italicus* di gran lunga gli echinoidi più rappresentati. Altra differenza è costituita dalla presenza di *Nudobrissus malatinus*, echinoide ben documentato solamente

in depositi afferenti al sublitorale (LT2 - Rondelli, 2022a e LT2/B - Rondelli 2024) per l'Appennino bolognese e modenese, ma assente invece in (AS1) affiorante nel Pedeappennino modenese. *Nudobrissus malatinus* è invece segnalato (Borghi, 2020) per (AS1) affiorante a Monte Valestra nell'Appennino reggiano (Borghi & Stara, 2020).

Caratteristica che differenzia (LT5), sia dalla Formazione di Pantano (AS1) affiorante nel Pedeappennino modenese sia in Appennino reggiano, è la scarsissima occorrenza del cefalopode *Aturia* (Montanaro, 1931) organismo nectonico indicatore di condizioni di mare aperto, al contrario ben documentato all'interno di (AS1). Inoltre la traccia fossile *Zoophycos*, tipica di fondali fangosi e fango-sabbiosi degli ambienti di piattaforma esterna e abissali, risulta più scarsa in (LT5) piuttosto che in (AS1). L'associazione di *Chondrites* e *Zoophycos* permette comunque di associare (LT5) all'icnofacies *Zoophycos* e l'associazione icnologica in generale a fodinichnia (Raffi & Serpagli, 1996).

Altro elemento discriminante tra (LT5) e (AS1) riguarda le peculiari alternanze arenacee e limose, decisamente più grossolane in (LT5) rispetto che nella litofacies (AS1), dove invece la porzione arenitica è più fine e contraddistinta da una maggiore frazione limosa. Questa caratteristica è probabilmente rappresentativa di una maggiore prossimità dei depositi con l'ambiente sublitorale, ma in ogni caso in condizioni batimetriche decisamente più profonde di quelle definite in precedenti studi per i depositi affioranti nei pressi di Guiglia e Rocca Malatina (Amorosi, 1991). Altre caratteristiche sedimentologiche osservate all'interno della Litofacies 3 (LT5), come la presenza diffusa di ossidi e idrossidi di ferro sotto forma di peculiari laminazioni piano parallele e l'intensissima bioturbazione, sono invece comuni alla litofacies (AS1). Echinoidi spesso frammentati e solo localmente accumulati in specifiche tasche, anche se tale caratteristica è decisamente meno diffusa rispetto alla litofacies (AS1), hanno permesso di ipotizzare che le peculiari alternanze tipiche di questa litofacies (LT5) siano collegabili al fenomeno della conturite (modello di facies di sequenza parziale 1 e 2, cfr. Rondelli, 2022b; Fig. 3) già descritto per la litofacies (AS1). Le conturiti sono correnti di fondo, indotte da gradienti termoalini (Ambar & Howe, 1979; Dickson & Browne, 1994; Price & Baringer, 1994; Wynn & Stow, 2002; Girton & Sanford, 2003; Rahmstorf, 2006; Kuhlbrodt *et al.*, 2007), principali responsabili della sedimentazione limo-sabbiosa dei margini continentali attuali, dalla piattaforma interna fino alla piana abissale (Rebesco *et al.*, 2014; Stow & Faugères, 2008). Nonostante le notevoli somiglianze tra litofacies (LT5) e (AS1) queste correnti non possono però essere considerate, come per (AS1), le uniche responsabili della deposizione di (LT5). In un ambiente ancora prossimo alla piattaforma, anche se relativamente esterna, possono infatti essere presenti notevoli fluttuazioni energetiche, connesse a

fenomeni legati a piene fluviali eccezionali o a forti tempeste. Amorosi (1991) riconobbe infatti, per la porzione superiore della successione affiorante a Guiglia e Rocca Malatina, evidenze dell'azione di onde di tempesta sotto forma della presenza di sabbie parzialmente rielaborate dal moto ondoso (*ripples* e laminazioni piano-parallele), introdotte nell'ambiente più profondo dall'azione delle correnti di tempesta.

La decisa minore ricorrenza di accumuli di resti fossili in (LT5) nell'area di Guiglia e Rocca Malatina, rispetto che all'interno di (AS1), può essere ancora una volta considerata come una prova della maggiore prossimità di (LT5) all'ambiente sublitorale, rispetto a (AS1). Condizioni di minor profondità avrebbero comportato infatti una minore influenza da parte delle correnti di fondo, le quali potrebbero essere state influenzate anche da fenomeni quali: topografia del fondale e interazione con altre correnti sottomarine (Rebesco *et al.*, 2014) comuni in un ambiente più superficiale. Ciò si sarebbe esplicitato in una maggiore energia complessiva dell'ambiente di sedimentazione e dunque in una minore possibilità di conservazione dei resti fossili, in conseguenza di un seppellimento meno rapido. Non si può dunque escludere l'interazione di tutti questi processi sedimentari, a volte singolarmente e in altri casi contemporaneamente, nella messa in posto di (LT5).

La sovrapposizione stratigrafica di Litofacies 3 (LT5) su Litofacies 2 (LT3/C) (Fig. 5) testimonia come l'ambiente di sedimentazione sublitorale, tipico della parte inferiore del Membro di Sassoguidano affiorante tra Guiglia e Zocca, si sia evoluto rapidamente, verso l'alto stratigrafico, in un ambiente di piattaforma esterna. Tale interpretazione è coerente con l'andamento trasgressivo descritto da Amorosi (1991) per la porzione superiore del Membro di Sassoguidano per l'area di studio. A testimonianza di questo andamento trasgressivo in affioramento la transizione tra le due litofacies avviene in maniera graduale. La parte basale di (LT5) è infatti costituita da banconi amalgamati, decisamente simili a (LT3/C), all'interno dei quali compaiono progressivamente le peculiari alternanze più o meno fini. Verso l'alto stratigrafico (LT5) è costituita infatti interamente dalle classiche alternanze arenaceo limose precedentemente descritte (Fig. 3A); passando poi alla sovrastante Formazione di Cigarellino, che rappresenta l'annegamento della piattaforma avvenuto durante il Langhiano. Tale andamento era stato osservato anche in precedenti studi (Amorosi, 1991) che avevano descritto, per la porzione sommitale del Membro di Sassoguidano affiorante nei pressi di Guiglia, alternanze di strati da spessi a molto spessi di areniti medio-fini molto bioturbate con sottili strati siltosi che tendono a prevalere verso l'alto. Questo andamento conferma un *trend* trasgressivo anche all'interno di (LT5), caratteristico della porzione superiore della Formazione di Pantano.

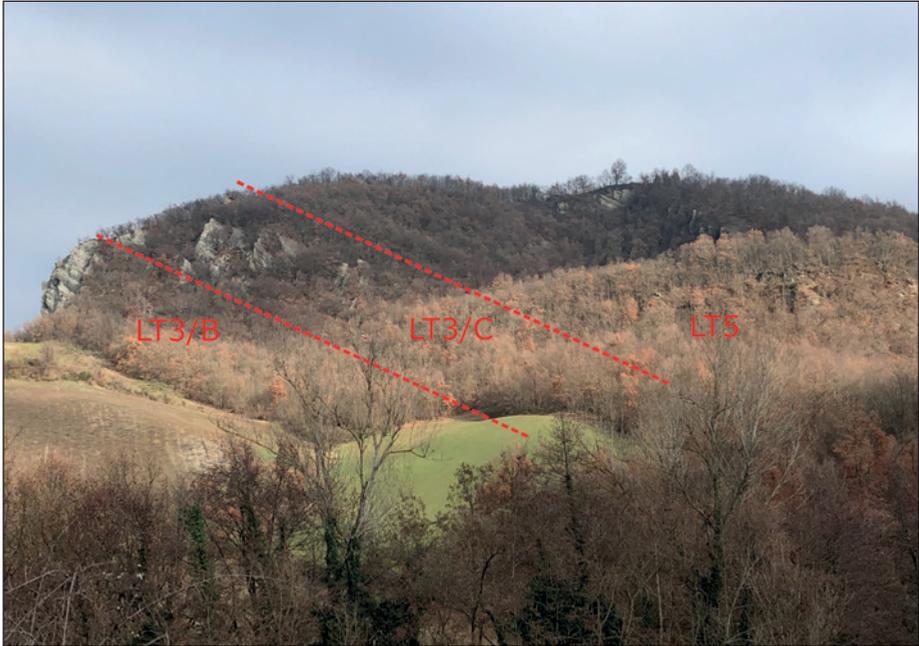


Fig. 5 – Successione costituita dalle tre litofacies distinte nell'area di studio presso Rocca Malatina, affiorante lungo la Valle del F. Panaro.

## 7. I rapporti stratigrafici e la distribuzione areale delle litofacies distinte nel Modenese e nel Bolognese

Si propone in questo paragrafo una sintesi generale dello sviluppo completo della Formazione di Pantano non solo per l'area studiata ma anche per quelle limitrofe del Modenese e Bolognese. Grazie infatti agli studi basati sull'echinofauna e sulle caratteristiche sedimentologiche (Rondelli, 2022a; 2022b, 2023a, 2023b, 2024) è stato possibile definire un quadro complessivo dello sviluppo stratigrafico della Formazione.

La suddivisione della Formazione di Pantano in innumerevoli membri (Amorosi, 1991, 1992a, 1992b; Amorosi, 1993; Amorosi *et al.*, 1996; Fregni & Panini, 1995; Bettelli *et al.*, 2002; Panini *et al.*, 2002) è stata da sempre basata esclusivamente su peculiari caratteristiche lito/sedimentologiche a causa dall'impossibilità di disporre di vincoli cronostatigrafici certi (dati biostratigrafici o strati guida) per una correlazione tra i vari affioramenti, tranne quando i rapporti sono osservabili direttamente sul terreno. A complicare ulteriormente il quadro è la mancanza di continuità degli affioramenti per erosione o a causa dell'attività

di faglie locali. Le condizioni legate alla difficoltà di correlazione hanno scongiurato ed inibito di fatto la possibilità di cartografare, su larga scala, questi depositi epiliguri miocenici di piattaforma peri-continentale su base ciclo stratigrafica o sequenziale, ma hanno anche ostacolato non poco la definizione delle relazioni spazio-temporali tra le varie litofacies distinte in base alle caratteristiche sedimentologiche e paleontologiche. Nonostante le ingenti difficoltà è stato comunque possibile raggruppare in un unico quadro sinottico (Fig. 6), basato sulla distribuzione degli echinoidi fossili che si sono dimostrati ben diversificati nelle varie aree, lo sviluppo verticale in alcune zone chiave lungo una trasversale parallela alla direzione di scorrimento del Panaro (Fig. 6). Per una più agevole lettura di questo quadro si riportano (Tab. 2) le caratteristiche paleoambientali sintetiche delle litofacies distinte entro il Membro di Sassoguidano (PAT<sub>1</sub> - LT1, LT2, LT2/B, LT3, LT3/B, LT3/C, LT4, LT5), Montecuccolo (PAT<sub>2</sub> - LTA, LTA/2, LTB, LTC) e la Formazione di Pantano indifferenziata (PAT - AS1, AS2). Si rimanda in ogni caso ai precedenti lavori (Rondelli, 2022a; Rondelli, 2022b; Rondelli, 2023a; Rondelli, 2023b; Rondelli, 2024) per una loro definizione più completa e dettagliata. I rapporti stratigrafici osservati per Litofacies 1 (LT3/B), Litofacies 2 (LT3/C) e Litofacies 3 (LT5) permettono di andare ad inserire queste nuove litofacies, all'interno del quadro stratigrafico generale già ipotizzato in precedenti studi (Rondelli, 2023a, 2023b).

Sulla base dei lavori precedentemente citati l'area di Montese, durante la deposizione del Membro di Sassoguidano, era contraddistinta dalla presenza di un ambiente sublitorale (LT3) evolutosi poi in un ambiente litorale (LT1). Mano a mano che ci si sposta verso nord, tra Zocca, Rocca Malatina e Guiglia, il Membro di Sassoguidano è formato da una associazione di litofacies, eteropiche tra loro, (LT3, LT3/B e LT3/C) con caratteristiche decisamente simili e riconducibili ad un ambiente sublitorale. Similmente ad altre sezioni analizzate in Appennino modenese, il Membro di Sassoguidano mostra nell'area di Guiglia e Rocca Malatina un andamento regressivo, con il passaggio da ambienti sublitorali prossimi alla piattaforma esterna (LT3/B) ad ambienti più prossimi (LT3/C) depositatisi in un ambiente sempre sublitorale ma contraddistinto da apporti provenienti dall'area costiera.

L'andamento generale della formazione è confermato anche per il sovrastante Membro di Montecuccolo che tra Lamè e Zocca, oltre che presso l'area di Semelano, passa dai depositi litoranei (LTA), presenti più a sud fino all'abitato di Maserno, a quelli sublitorali (LTB) con limite settentrionale costituito dai Monti della Riva. Il Membro di Montecuccolo non venne cartografato oltre questa località, per l'impossibilità di discriminarlo su base litologica dal Membro di Sassoguidano (comunicazione personale del Prof. Filippo Panini, già Unimore). La porzione superiore della successione, presente più a nord di Zocca, è costituita interamente dalla litofacies 3 (LT5). Questa litofacies

mostra un progressivo aumento di batimetria con il passaggio da ambienti sublitorali ad ambienti di piattaforma esterna. Tale andamento non è comune al Membro di Sassoguidano, generalmente regressivo, ma al sovrastante Membro di Montecuccolo tradizionalmente associato (Amorosi, 1991, 1992a, 1992b; Rondelli, 2023b) ad un *trend* trasgressivo. La Litofacies 3 (LT5) può dunque essere considerata una litofacies eteropica a (LTB); a cui corrisponderebbe verso mare in termini sequenziali. Il quadro dello sviluppo spazio-temporale delle litofacies identificate conferma ancora una volta l'esistenza di una piattaforma pericontinentale che, spostandosi da sud a nord in direzione parallela alla Valle del Panaro, degradava lentamente passando da ambienti più litorali a quelli maggiormente profondi, prima sublitorali poi di piattaforma esterna, in prossimità della attuale zona pedecollinare prossima alla pianura.

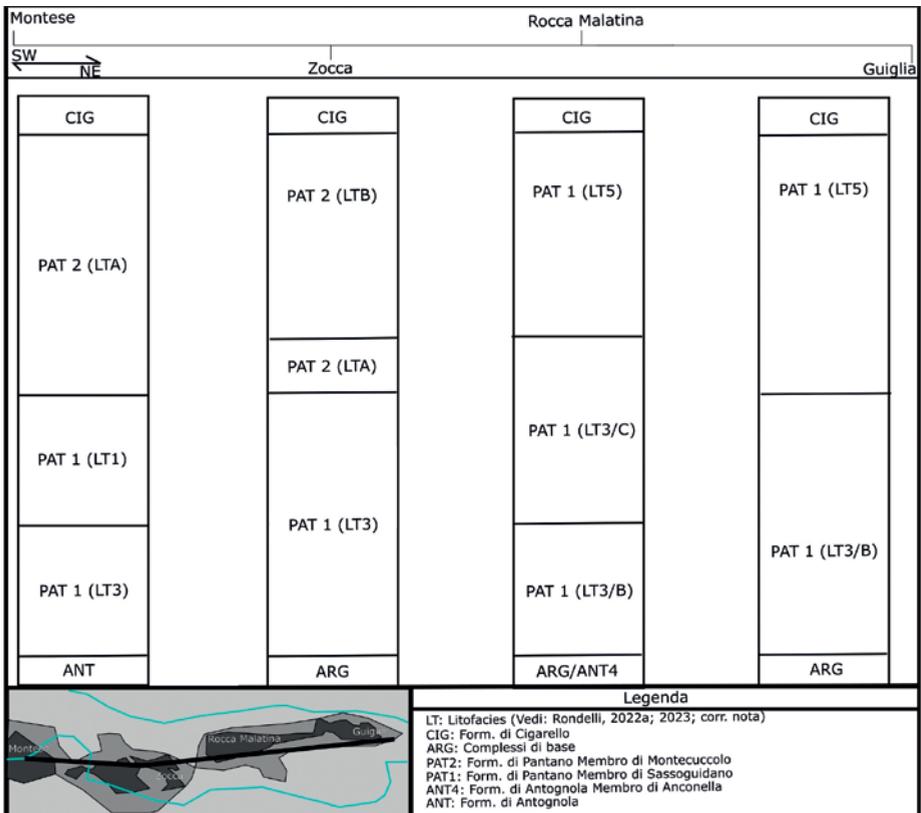


Fig. 6 – Rapporti stratigrafici tra le litofacies identificate all'interno della Formazione di Pantano lungo la valle del F. Panaro.

Le modalità di transizione tra la piattaforma interna, ora affiorante nell'area di Montese, e le aree di piattaforma distale e bacino della Valle del Fiume Reno sono invece piuttosto diverse.

Le litofacies distinte verso SE nel Bolognese, sia per il Membro di Sassoguidano che di Montecuccolo, (LT2, LT2/B e LTC: Rondelli, 2022a, 2023b, 2024) in un areale compreso tra Serra di Guidoni e Santa Maria Villiana indicano infatti una transizione piuttosto rapida, certamente caratterizzata da una maggiore acclività e forse controllata da elementi tettonici trasversali attivi. Presso Tolè, per esempio, la litofacies (LT3) e (AS1) sono praticamente a contatto senza sviluppo significativo di facies "intermedie" così da poter ipotizzare una sorta di anomala "eteropia" tra le due. È interessante inoltre notare come, secondo l'interpretazione sedimentologica proposta, gli ambienti sublitorali più distali fossero già sotto l'influenza delle conturiti, fenomeni più propri e tipici della piattaforma esterna (Rondelli, 2022b, 2024).

## **8. Le fasi evolutive della Formazione di Pantano tra Appennino modenese e bolognese**

L'identificazione delle litofacies basate sugli echinoidi relative al Membro di Sassoguidano (PAT<sub>1</sub> - LT1, LT2, LT2/B, LT3, LT3/B, LT3/C, LT4, LT5), Montecuccolo (PAT<sub>2</sub> - LTA, LTB, LTC) e la Formazione di Pantano indifferenziata (PAT - AS1, AS2) (vedi Tab. 2), permette di delineare la storia deposizionale della Formazione di Pantano affiorante nel medio Appennino modenese e bolognese. Pur non essendo possibili correlazioni stratigrafiche di dettaglio tra le varie località è stato identificato un identico andamento evolutivo, prima regressivo e poi trasgressivo, in tutto il margine appenninico modenese (Rondelli, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024). Grazie alla distribuzione degli echinoidi fossili contenuti nella Formazione di Pantano è stato infatti possibile definire quattro fasi, che descrivono con buon dettaglio l'evoluzione della piattaforma pericontinentale carbonatico-terrigena del Modenese e Bolognese, presente tra il Burdigaliano Superiore e il Langhiano.

### **8.1 – Fase 1 (Sequenza S1: Amorosi, 1991)**

La prima fase (Fig. 7), il cui inizio è riconducibile al Burdigaliano superiore (Amorosi *et al.*, 1996; Guerra, 1979; Panini *et al.*, 2002), è contraddistinta da quelle litofacies che hanno mostrato rapporti diretti con la sottostante Successione Epiligure, costituendo di fatto la base della Formazione di Pantano (base sequenza S1: Amorosi, 1991). L'analisi echinologica (Rondelli, 2022a, Rondelli 2022b, Rondelli, 2023a, Rondelli, 2024) ha evidenziato che nei settori più meridionali, corrispondenti alla zona di Pavullo nel Frignano e Montese, avveniva una sedimentazione di tipo sublitoraneo (LT3). Di pari passo anche

nei settori di transizione con le aree oggi prossime alla pianura, sia del Bolognese che del Modenese, avveniva una sedimentazione di tipo sublitorale esterno (LT3/B) e (LT2/B). I depositi prossimi al margine appenninico modenese vedevano la presenza di (AS1) ed in alcune località di (AS2), anch'essa contraddistinta da condizioni sublitorali interne. (AS2) comporta dunque una locale inversione del gradiente batimetrico tradizionalmente associato alla Formazione di Pantano, con aree in posizione nord-orientale relativamente sollevate e a profondità minori rispetto a località ubicate nel settore meridionale del Modenese. L'analisi del discontinuo e sottostante orizzonte grossolano basale della Formazione di Pantano (Rondelli & Battilani, 2024) ha evidenziato inoltre come nel Pedepennino modenese fossero presenti, in questa prima fase, aree limitrofe a differente batimetria, comprese tra l'ambiente sublitorale e la piattaforma esterna. L'analisi dell'orizzonte grossolano basale affiorante a Montese ha evidenziato la presenza di condizioni maggiormente litoranee rispetto a quelle presenti nel Pedepennino, contraddistinte dalla presenza di abbondanti macchie di briozoi (Rondelli & Battilani, 2024). Questa prima fase è dunque caratterizzata da peculiari condizioni locali nell'intero Appennino modenese. Anche all'interno di (LT3), evolutasi su areali decisamente più grandi, sono state notate caratteristiche locali di spiccata eterogeneità paleontologica. Nonostante tutti gli affioramenti dell'area condividano le stesse faune, quindi siano chiaramente riconducibili ad un ambiente sublitorale esterno, si sono riscontrate notevoli differenze locali, relative a stato di conservazione dei bioclasti, abbondanza e dimensioni degli echinoidi. Queste differenze evidenziano dunque in questa prima fase, nel comune contesto sublitorale, sensibili variazioni locali di profondità, dovute probabilmente a una tettonica sin-sedimentaria attiva.

Condizioni diverse, rispetto al Modenese, sono riscontrabili nel medio Appennino bolognese dove, nell'area di Montovolo e Monte Vigese, erano presenti condizioni marcatamente litoranee (LTA) già nella parte basale della Formazione di Pantano, ricalcando quanto osservato in Appennino reggiano anche per l'area della Pietra di Bismantova (PAT<sub>5</sub>). Nella bassa valle del Reno erano invece presenti condizioni di piattaforma esterna (AS1). In questa prima fase nel bolognese avveniva anche la deposizione del Membro di Calvenzano della Formazione di Pantano (PAT<sub>3</sub>). Il corpo torbiditico del Calvenzano occupa infatti una posizione basale nella Formazione di Pantano (Amorosi, 1992; Amorosi *et al.*, 1996), passando verso l'alto stratigrafico a facies di piattaforma esterna (AS1) appartenenti alla formazione di Pantano indif. (PAT). Il Membro di Calvenzano viene generalmente interpretato (Amorosi, 1992; Amorosi *et al.*, 1996) come originatosi in conseguenza di un ingente fenomeno di risedimentazione, probabilmente innescato da movimenti tettonici intimamente connessi all'iniziale fase regressiva osservabile all'interno della Formazione

di Pantano. La discesa delle correnti di torbida del Calvenzano, che andarono a colmare una depressione presente nel medio Appennino bolognese in un ambiente di Piattaforma esterna, può essere messa in relazione alla re-distribuzione di materiale in profondità, da aree deltizie o pro-deltizie instabili a causa di elevati tassi di sedimentazione o eventuali shock sismici.

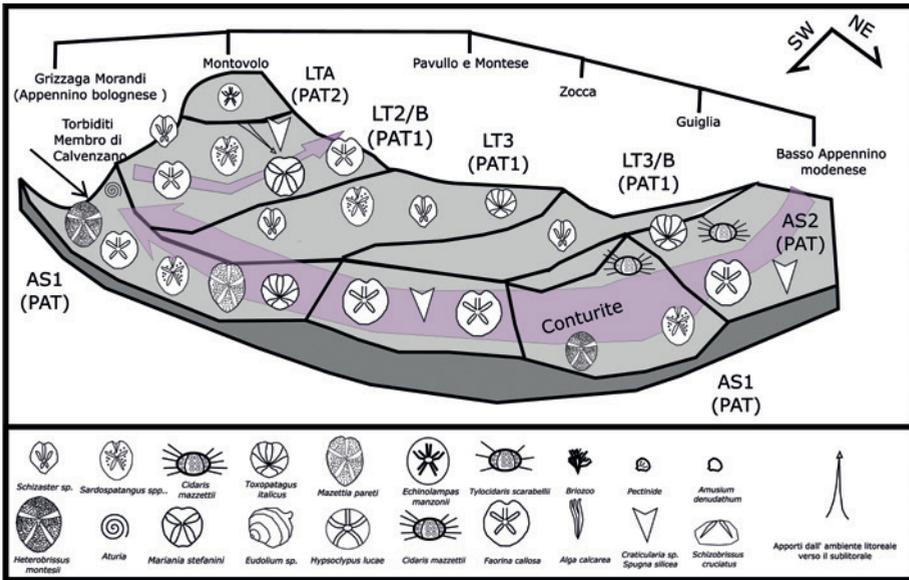


Fig. 7 – Distribuzione delle facies ad echinoidi durante la fase 1 della deposizione della Formazione di Pantano. Al Membro di Calvenzano, tradizionalmente considerato sterile, non vengono associati echinoidi.

### 8.2 – Fase 2 (Sequenza S1: Amorosi, 1991)

La seconda fase evolutiva della Formazione di Pantano (Fig. 8) è caratterizzata da spiccate differenze tra depositi posti nella parte sud-occidentale e nord-orientale della catena. Nelle aree del Modenese prossime alla pianura si assiste infatti ad un deciso approfondimento, con l'instaurarsi di condizioni diffuse di piattaforma esterna (AS1), comuni a quelle già presenti nella Valle del Reno nell'Appennino bolognese. In corrispondenza dei settori più sud-occidentali si assiste invece a una progressiva diminuzione della profondità dei depositi, con lo sviluppo di condizioni litoranee esterne (LT1 e LT4) per le aree di Pavullo nel Frignano e Montese. In questa fase l'area di Pavullo del Frignano, similmente all'area di Montovolo e Monte Vigese (LTA), era caratterizzata da un ambiente posto già sotto l'effetto del moto ondoso (LT4). Unicamente per l'area compresa tra Appennino modenese e bolognese, corrispondente

alle località di Santa Maria Villiana e Serra dei Guidoni, è stata identificata una litofacies (LT2) attribuibile a condizioni sublitorali interne, ma con notevoli apporti provenienti dall'ambiente litorale esterno in conseguenza della evoluzione di tipo regressivo della sedimentazione. Tale litofacies potrebbe rappresentare i depositi di transizione che raccordavano gli ambienti litoranei dell'area di Montese, e quelli analoghi dell'area di Montovolo, con quelli di piattaforma esterna della media Valle del Reno. Nel Modenese le litofacies di raccordo tra gli ambienti litoranei e quelli di piattaforma esterna erano contraddistinte da un ambiente sublitorale abbastanza articolato (LT3, LT3/B e LT3/C) progressivamente sempre più profondo.

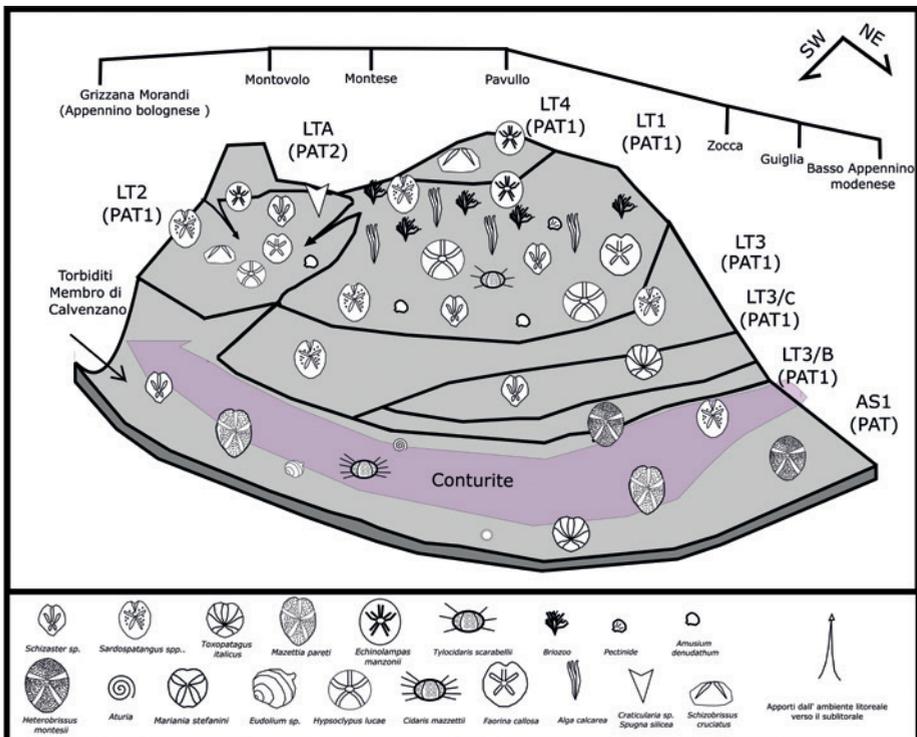


Fig. 8 – Distribuzione delle facies ad echinoidi durante la fase 2 della deposizione della Formazione di Pantano. Al Membro di Calvezano, tradizionalmente considerato sterile, non vengono associati echinoidi.

### 8.3 – Fase 3 (Sequenza S2: Amorosi, 1991)

Durante la terza fase (Fig. 9) nei settori meridionali del Modenese continua l'andamento regressivo, con il passaggio, spesso brusco (base sequenza

S2: Amorosi, 1991), al Membro di Montecuculo (LTA), testimoniando l'ampiamiento delle condizioni già presenti nelle precedenti fasi nel Pavullese e a Montovolo. Questa fase rappresenta l'acme regressivo per quasi tutta l'area studiata, con ampie porzioni della piattaforma in condizioni litorali, stabilmente sotto l'effetto del moto ondoso. Solo negli affioramenti presso Montovolo, pur con qualche dubbio in conseguenza delle difficoltà di correlazione per la loro posizione geografica isolata, è documentato un locale andamento trasgressivo, con la transizione a condizioni sublitoranee esterne (LT3 o LTB). Presso Montovolo infatti, in via teorica visto l'impossibilità di verificare tale affermazione in affioramento a causa di ingenti coperture, l'acme regressivo sembrerebbe trovarsi all'interno dei depositi basali attribuiti al Montecuculo. La parte superiore del Montecuculo e il sovrastante Sassoguidano, potrebbero quindi rappresentare la seconda sequenza di tipo trasgressivo.

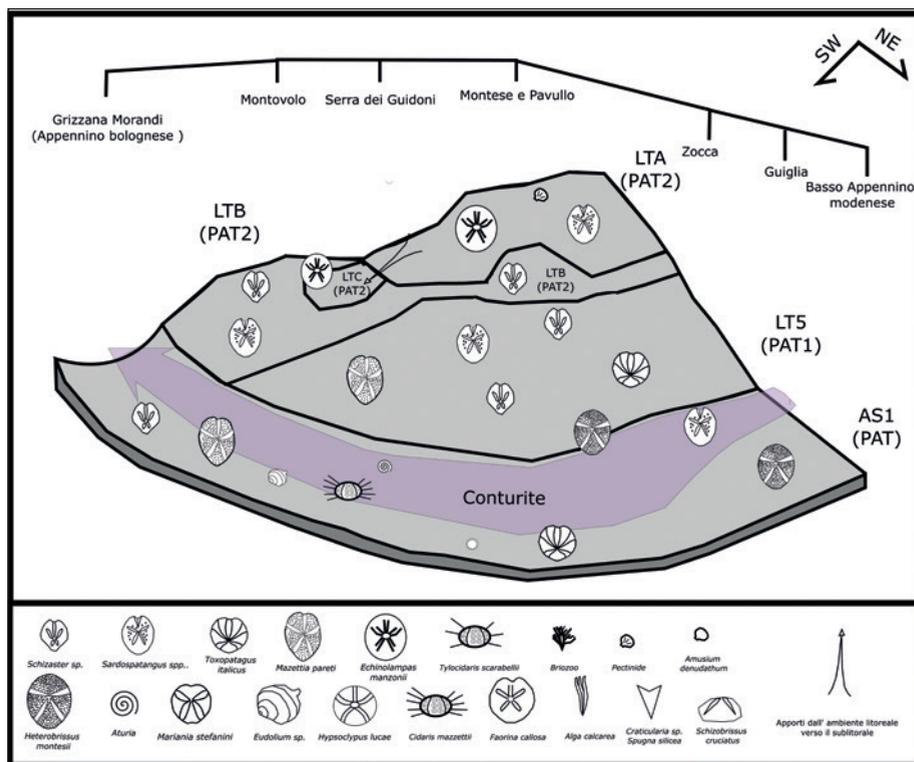


Fig. 9 – Distribuzione delle facies ad echinoidi durante la fase 3 della deposizione della Formazione di Pantano.

Le aree di transizione tra ambienti litoranei e di piattaforma esterna sono dominate da ambienti sublitorali (LTB) o già di piattaforma esterna (LT5) anche se ancora prossima all'ambiente sublitorale. Per l'area di Serra dei Guidoni la base della successione trasgressiva è marcata da un limitato spessore di breccie (LTC), in conseguenza della risedimentazione di materiale grossolano proveniente dall'ambiente litorale. Nei depositi prossimi alla pianura continua l'andamento trasgressivo con il mantenimento di condizioni di piattaforma esterna (AS1), sia per le aree del Modenese che del Bolognese.

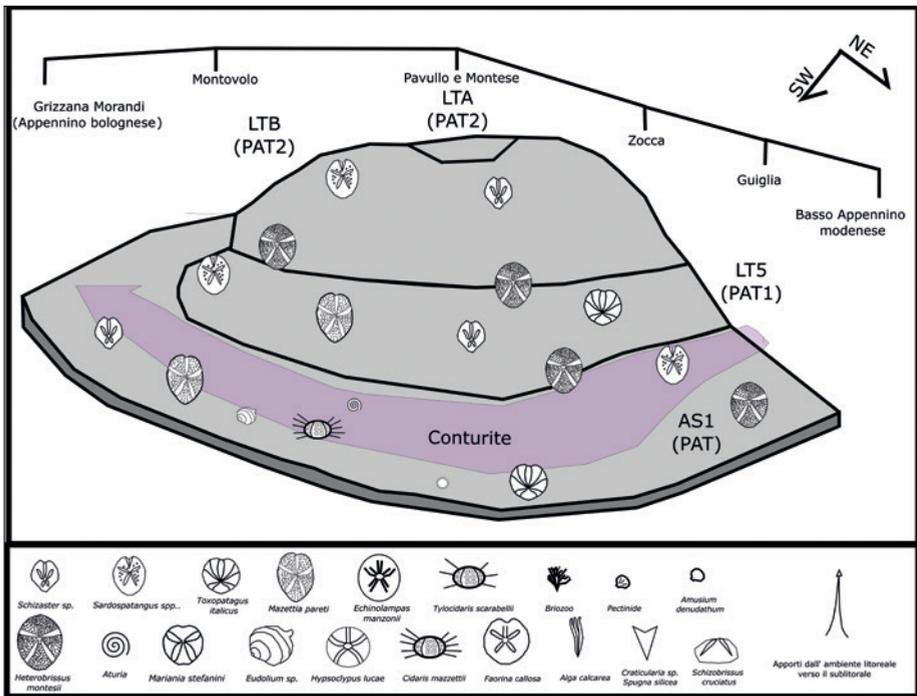


Fig. 10 – Distribuzione delle facies ad echinoidi durante la fase 4 della deposizione della Formazione di Pantano.

#### 8.4 – Fase 4 (Sequenza S2: Amorosi, 1991)

Nella quarta fase (Fig. 10) si assiste ad un'inversione dell'andamento regressivo, che aveva interessato i settori più meridionali del Modenese fino a questo momento. La transizione tra (LTA) e (LTB) marca il passaggio da un ambiente litorale ad uno sublitorale, definendo l'inizio di un andamento trasgressivo per molti dei settori più interni. Solamente per il Pavullese e la

zona di Montese sono documentate ancora condizioni litorali, anche se progressivamente sempre meno superficiali come testimoniato dalla progressiva diminuzione di granulometria e la scomparsa di strutture sedimentarie legate al moto ondoso. Nei settori di passaggio con i depositi più esterni si assiste alla definitiva affermazione di ambienti di piattaforma esterna prossimali (LT5). Anche per la zona di Montovolo continua la trasgressione, con la transizione dall'ambiente sublitorale (LT3) all'ambiente di piattaforma esterna (AS1). Nei depositi prossimi alla pianura permangono condizioni di piattaforma esterna (AS1). La generale trasgressione portò in seguito al passaggio generalizzato con la sovrastante Formazione di Cigarello (base sequenza S3: Amorosi, 1991), depositatasi in condizioni di maggiore profondità rispetto alla Formazione di Pantano e caratterizzata da litotipi pelitici di scarpata-bacino con intercalazioni di corpi arenitici di natura torbiditica.

## **9. Conclusioni**

Lo studio paleontologico e sedimentologico del Membro di Sassoguidano della Formazione di Pantano affiorante presso la dorsale di Guiglia e Zocca è costituita da tre litofacies. Due di queste litofacies (LT3/B) e (LT3/C) sono contraddistinte da arenarie calcare fini, interessate dalla rara presenza di spatangoidi come *Sardospatangus* e *Schizaster*, depositatesi all'interno di un ambiente sublitorale più o meno prossimale. (LT3/B) e (LT3/C) si sono rivelate affini ad altre litofacies affioranti presso località poste più a sud come Montese e Pavullo nel Frignano (LT3 - Rondelli, 2023a, 2023b). Litofacies 3 (LT5) è costituita invece dalla ritmica alternanza di strati arenitici fini e siltitici con variabili quantità relative di arenaria, limo, pelite. Essa è dominata da echinoidi come *Sardospatangus*, *Schizaster*, *Mazettia parvi* e *Toxopatus italicus* e si è depositata all'interno di un ambiente di piattaforma esterna prossimo al sublitorale. I rapporti stratigrafici osservati sul terreno confermerebbero come le litofacies identificate tra Guiglia e Zocca rappresentino una transizione verso sud alle litofacies litoranee dei Membri di Sassoguidano e Montecuccolo del medio Appennino modenese (Pavullese e area di Montese). Verso nord le medesime litofacies rappresentano invece una transizione verso le facies di piattaforma esterna appartenenti alla Formazione di Pantano indistinta del basso Appennino modenese e bolognese (PAT). Tale distribuzione geografica, come ipotizzato anche da altri studi (Rondelli, 2023b, 2024), sembra confermare la presenza, durante la deposizione dell'intera Formazione di Pantano, di una zona più sollevata e di alto strutturale relativo (Bettelli *et al.*, 1989), ubicata grossomodo in corrispondenza della attuale Valle del Panaro. Questa area rilevata degradava progressivamente ad ambienti più profondi verso la bassa valle del Reno e verso il Pedepennino modenese.

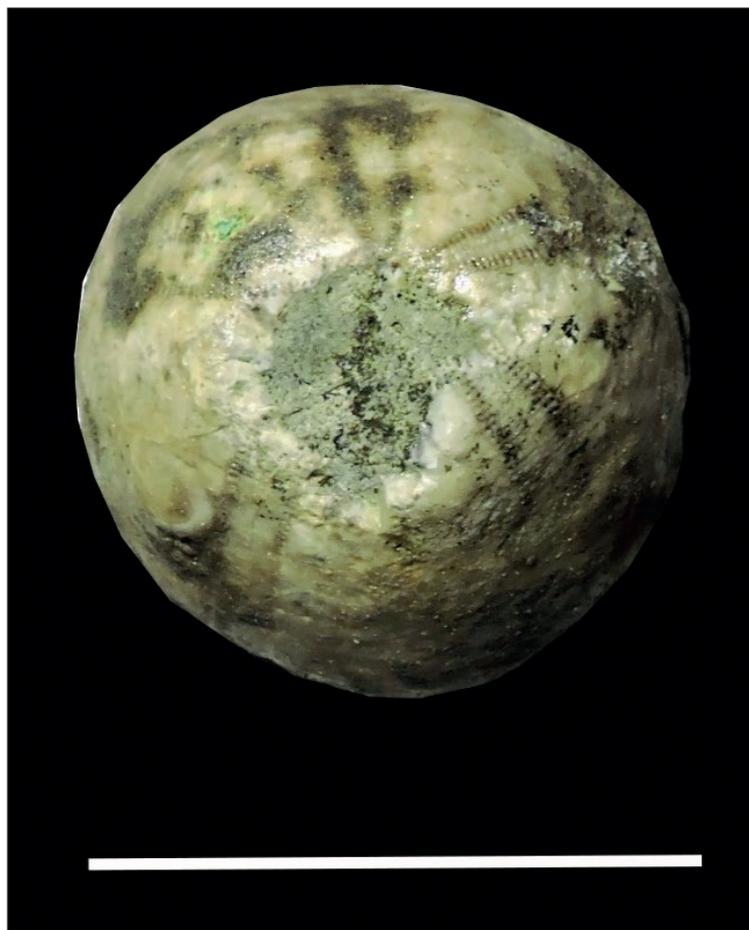


Fig. 11 – *Echinolampas manzonii* proveniente dal Membro di Sassoguidano affiorante nell'area di Rocca Malatina (barra bianca di riferimento: 2 cm) (Codice catalogo: IPUM 35049).

L'analisi delle litofacies descritte in questa nota e in altri lavori analoghi, che hanno investigato le associazioni ad echinoidi e le caratteristiche lito-sedimentologiche della Formazione di Pantano affiorante nell'Appennino bolognese e modenese (Rondelli, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024), ha permesso inoltre di delineare, in buona coerenza con lo sviluppo generale della formazione ipotizzato in precedenti studi (Amorosi, 1991; 1992a; 1992b; 1996; Fregni & Panini, 1995; Bettelli *et al.*, 2002; Panini *et al.*, 2002), quattro fasi temporali in cui si sarebbe articolata la deposizione di questa unità litostratigrafica.

Nella prima fase, corrispondente all'inizio della sedimentazione dopo la discontinuità sviluppatasi a seguito del generale sollevamento della catena paleoappenninica durante la fase tettonica burdigaliana, si sarebbe avuta la presenza di un generalizzato ambiente sublitorale evolutosi poi, con andamento differenziale, nei settori interni (sud-occidentali) ed esterni (nord-orientali) della catena.

Durante la seconda fase si assiste infatti alla transizione, per i settori più interni, a condizioni litoranee, mentre per i settori più esterni e prossimi all'attuale margine appenninico viene registrato un andamento di tipo trasgressivo. Nella terza fase si ha il picco della regressione per i settori più interni, con il passaggio al Membro di Montecuccolo caratterizzato da ambienti decisamente litorali sotto l'influenza di dinamiche tidali (Amorosi, 1991); per i settori più esterni continua invece l'andamento trasgressivo. Nella quarta ed ultima fase si assiste a una generale trasgressione, comune sia ai settori interni che a quelli esterni, con il conseguente passaggio alla sovrastante Formazione di Cigarello.

### ***Ringraziamenti***

*Desidero ringraziare Lorenzo Carrozzi e Sergio Magnani per il supporto, per la grande conoscenza del territorio e per il confronto sempre utile e costruttivo. Ringrazio inoltre Enrico Borghi e il Prof. Filippo Panini per la lettura critica del testo. Un sentito ringraziamento va inoltre a Elena Iori, GAE presso il Parco Regionale dei Sassi di Rocca Malatina, per le numerose informazioni sull'area di studio e sul materiale custodito presso il Centro visite del Parco.*

Tab. 2 – *Quadro riassuntivo delle litofacies a echinoidi definite per l'Appennino modenese (Rondelli, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024; Rondelli & Battilani 2024).*

*Sottolineati in tabella sono gli echinoidi presenti in maggior numero e quindi più significativi all'interno della litofacies.*

*\* Echinoidi la cui presenza è incerta all'interno della Formazione di Pantano.*

*\*\* Incerta attribuzione alla litofacies.*

Litofacies	Orizzonte grossolano di base	LT1	LT2	LT2/B
Membro	Sassoguidano	Sassoguidano	Sassoguidano	Sassoguidano
Litologia	Arenarie calcaree grossolane con glauconie e frammenti ofiolitici	Arenarie calcaree e calcareniti medie	Arenarie calcaree fini intercalate, verso l'alto stratigrafico, a arenarie medie e grossolane	Alternanza di strati arenitici fini e siltitici con variabili quantità relative di arenaria, limo, pelite
Echinofauna	<i>Schizaster</i> sp.	<u><i>Hyposcylpus</i> sp.</u> <u><i>Echinolampas manzonii</i></u> (Pomel, 1883) <u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Faorina callosa</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Schizobrissus cruciata</i></u> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1847) <u><i>Prionocidar</i></u> <u><i>avenionensis</i></u> (Des Moulins, 1837) <u><i>Tylocidar</i></u> <u><i>scarabellii</i></u> (Stefanini in Nelli, 1907) <u><i>Arbacina</i></u> <u><i>catenata</i></u> (Desor in Agassiz & Desor, 1846) <u><i>Studeria pantanellii</i></u> (Stefanini, 1908) <u><i>Pliolampas</i></u> <u><i>vassalli</i></u> (Wright, 1855). <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Lovenia anteroalta</i></u> (Gregory, 1891) <u><i>Tripneustes planus</i></u> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1846) <u><i>Brissopsis crescenticus</i></u> (Wright, 1855)	<u><i>Echinolampas manzonii</i></u> (Pomel, 1883) <u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Gregoryaster</i> sp.</u> (Lambert, 1907) <u><i>Hyposcylpus</i> sp.</u> <u><i>Schizobrissus cruciata</i></u> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1847) <u><i>Nudobrissus malatinus</i></u> (Mazzetti & Pantanelli, 1885) <u><i>Faorina callosa</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Pericosmus latus</i></u> (Agassiz, 1840) <u><i>Brissopsis crescenticus</i></u> (Wright, 1855) <u><i>Ditremaster scillae</i></u> (Wright, 1855) <u><i>Tylocidar</i></u> <u><i>scarabellii</i></u> (Stefanini in Nelli, 1907) <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Arbacina</i></u> <u><i>catenata</i></u> (Desor in Agassiz & Desor, 1846) <u><i>Studeria pantanellii</i></u> (Stefanini, 1908) <u><i>Pliolampas</i></u> <u><i>vassalli</i></u> (Wright, 1855) <u><i>Lovenia anteroalta</i></u> (Gregory, 1891) <u><i>Cyclaster</i> sp.</u> (Cotteau in Leymerie & Cotteau, 1856) <u><i>Echinocyamus pseudopusillus</i></u> * (Cotteau, 1895) <u><i>Echinolampas hemisphaerica</i></u> * (Lamarck, 1816)	<u><i>Faorina callosa</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Faorina maullui</i></u> (Stara & Borghi, 2012) <u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Nudobrissus malatinus</i></u> (Mazzetti & Pantanelli, 1885) <u><i>Mariania stefaninii</i></u> (Stara <i>et al.</i> , 2016) <u><i>Heterobrissus montesi</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Gregoryaster</i> sp.</u> (Lambert, 1907) <u><i>Brissopsis crescenticus</i></u> (Wright, 1855) <u><i>Tylocidar</i></u> <u><i>scarabellii</i></u> (Stefanini in Nelli, 1907) <u><i>Schizobrissus cruciata</i></u> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1847) <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Trachypatagus tuberculatus</i></u> (Wright, 1864)

Litofacies	Orizzonte grossolano di base	LT1	LT2	LT2/B
<b>Altri organismi</b>	Briozoi: <i>Cellepora</i> sp. (molto abbondante)	Rari pectinidi e gasteropodi (Vedi Nelli, 1910) briozoi ( <i>Cellepora</i> sp.) Alghe calcaree Denti di elasmobranchi: ** <i>Carcharocles</i> sp. ** <i>Carcharocles megalodon</i> (Agassiz, 1843) ** <i>Hemipristis serra</i> (Agassiz, 1835) ** <i>Spliaerodus cinctus</i> ** <i>Carcharias cuspidata</i> (Agassiz, 1843)	Spugne: <i>Craticularia</i> sp. Briozoi: <i>Cellepora</i> sp. (abbondanti negli orizzonti più grossolani) Brachiopode: <i>Terebratula sinuosa</i> Bivalvi: <i>Amusium denudatum</i> (abbondante) Pectinidi vari (Vedi Nelli, 1910) Gasteropodi vari (Vedi Nelli, 1910) Ostreidi (scarsi) Denti di elasmobranchi: <i>Carcharocles</i> sp. <i>Isurus oxyrinchus</i> (Rafinesque, 1810)	Spugne: <i>Craticularia</i> sp. Briozoi: <i>Cellepora</i> sp. (rari) Bivalvi: <i>Amusium denudatum</i> (abbondante) Pectinidi vari (Vedi Nelli, 1910) Brachiopodi: <i>Gryphus rovasendianus</i> Gasteropodi vari (Vedi Nelli, 1910)
<b>Tracce fossili</b>	-	<i>Chondrites</i> (Scarsa)	<i>Chondrites</i>	<i>Zoophycos</i> (rara), <i>Chondrites</i>
<b>Palcoambiente</b>	Ambiente litorale esterno a moderata energia	Ambiente litorale esterno a moderata energia	Ambiente sublitorale interno a moderata energia con apporti dal litorale esterno.	Ambiente sublitorale a bassa energia prossimo alla piattaforma esterna

Litofacies	LT3	LT3/B	LT3/C	LT4	LT5
<b>Membro</b>	Sassoguidano	Sassoguidano	Sassoguidano	Sassoguidano	Sassoguidano
<b>Litologia</b>	Arenarie calcaree fini massive o con stratificazione piano parallela, in alcuni casi debolmente cuneiforme.	Alternanza ritmica di siltiti marnose e arenarie siltose bioturbate a stratificazione mal definita	Arenarie calcaree fini massive, con locali orizzonti grossolani o piccoli <i>set</i> di laminazioni oblique.	Arenarie calcaree e calcareniti medie localmente con laminazioni incrociate a grande scala.	Ritmica alternanza di strati arenitici fini e siltitici con variabili quantità relative di arenaria, limo, pelite
<b>Echinofauna</b>	<u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Heterobrissus montesi</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Gregoryaster</i> sp.</u> <u><i>Cidaris mazzettii</i></u> (rari aculei) (Stefanini, 1908) <u><i>Arbacina catenata</i></u> (Desor in Agassiz & Desor, 1846) <u><i>Eupatagus pressus</i></u> (Mazzetti & Pantanelli, 1887)	<u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Cidaris mazzettii</i></u> (Rari aculei) (Stefanini, 1908)	<u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Arbacina catenata</i></u> (Desor in Agassiz & Desor, 1846) <u><i>Faorina callosa</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Faorina maullui</i></u> (Stara & Borghi, 2012) <u><i>Nudobrissus malatinus</i></u> (Mazzetti & Pantanelli, 1885) <u><i>Echinolampas manzonii</i></u> (Pomel, 1883)	<u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Echinolampas manzonii</i></u> (Pomel, 1883) <u><i>Schizobrissus cruciata</i></u> (Agassiz in Agassiz & Desor, 1847) <u><i>Trachypatagus tuberculatus</i></u> (Wright, 1864)	<u><i>Sardospatangus</i> spp.</u> <u><i>Schizaster</i> sp.</u> <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Mazettia pareti</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Heterobrissus montesi</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Nudobrissus malatinus</i></u> (Mazzetti & Pantanelli, 1885)

Litofacies	LT3	LT3/B	LT3/C	LT4	LT5
Altri organismi	Bivalvi: <i>Amusium denudatum</i>	-	-	Rare alghe calcaree	Legni compenetrati da colonie di teredini Picnodonti: <i>Neopicnodonte navicularis</i> Gasteropodi: <i>Eudolium</i> sp. (scarso) Rare vertebre e frammenti di pesce.
Tracce fossili	<i>Chondrites</i>	<i>Chondrites</i>	<i>Chondrites</i>	-	<i>Zoophycos</i> , <i>Chondrites</i>
Paleoambiente	Ambiente sublitorale esterno a bassa energia.	Ambiente sublitorale esterno a bassa energia prossimo alla piattaforma esterna	Ambiente sublitorale esterno a moderata energia con apporti provenienti dal litorale	Ambiente litorale interno ad alta energia	Ambiente di piattaforma esterna prossimale all'ambiente sublitorale

Litofacies	LTA	LTA/2	LTB	LTC
Membro	Montecuccolo	Montecuccolo	Montecuccolo	Montecuccolo
Litologia	Arenarie calcaree e calcareniti con laminazioni incrociate a media e grande scala.	Arenarie calcaree e calcareniti	Arenarie finissime e siltiti marnose bioturbate	Arenarie grossolane e breccie calcaree glauconitiche
Echinofauna	<i>Echinolampas manzonii</i> (Pomel, 1883) <i>Sardospatangus spp.</i> <i>Prionocidaris avenionensis</i> (Des Moulins, 1837)	<i>Prionocidaris avenionensis</i> (Des Moulins, 1837)	<i>Sardospatangus spp.</i> <i>Schizaster sp.</i> <i>Toxopatagus italicus</i> (Manzoni & Mazzetti, 1878)	<i>Echinolampas manzonii</i> (Pomel, 1883) <i>Faorina maullui</i> (Stara & Borghi, 2012)
Altri organismi	Pectinidi vari disarticolati Alghe calcaree Denti di elasmobranchi: ** <i>Carcharocles</i> sp. ** <i>Carcharocles megalodon</i> (Agassiz, 1843) ** <i>Hemipristis serra</i> (Agassiz, 1835) ** <i>Spliaerodus cinctus</i> ** <i>Carcharias cuspidata</i> (Agassiz, 1843)	Alghe calcaree Frammenti di spugne silicee	-	Coralli solitari Pectinidi vari Gasteropodi vari
Tracce fossili	-	-	<i>Chondrites</i>	-
Paleoambiente	Ambiente litorale interno ad alta energia	Ambiente litorale esterno	Ambiente sublitorale a bassa energia	Ambiente litorale esterno ad alta energia con rimaneggiamento di materiale litorale interno

Litofacies	Orizzonte grossolano di base	AS1	AS2
<b>Membro</b>	Formazione di Pantano indif.	Formazione di Pantano indif.	Formazione di Pantano indif.
<b>Litologia</b>	Arenarie calcaree grossolane con glauconie e frammenti ofiolitici; costituite da corpi massivi lentiformi e canalizzati	Ritmica alternanza di strati arenitici fini e siltitici con variabili quantità relative di arenaria, limo, pelite	Ritmica alternanza di strati arenitici fini e siltitici con variabili quantità relative di arenaria, limo, pelite
<b>Echinofauna</b>	<u><i>Heterobrissus montesi</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878)	<u><i>Mazettia pareti</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Heterobrissus montesi</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <u><i>Cidaris mazzettii</i></u> (Stefanini, 1908) <u><i>Sardospatangus spp.</i></u> <u><i>Schizaster sp.</i></u> <i>Ditremaster scillae</i> (Wright, 1855) <i>Faorina callosa</i> (Manzoni, 1879) <i>Arbacina catenata</i> (Desor in Agassiz & Desor, 1846) <i>Histocidaris rosaria</i> (Bronn, 1831) <i>Brissopsis crescenticus</i> (Wright, 1855)	<u><i>Faorina callosa</i></u> (Manzoni, 1879) <u><i>Echinolampas manzonii</i></u> (Pomel, 1883) <i>Cidaris sahelensis</i> (Pomel, 1887) <u><i>Sardospatangus spp.</i></u> <u><i>Schizaster sp.</i></u> <u><i>Toxopatagus italicus</i></u> (Manzoni & Mazzetti, 1878) <i>Cidaris mazzettii</i> (Stefanini, 1908)
<b>Altri organismi</b>	Denti di elasmobranchi: <u><i>Cosmopolitodus hastalis</i></u> (Agassiz, 1843) <u><i>Isurus oxyrinchus</i></u> (Rafinesque, 1810) <u><i>Carcharocles sp.</i></u> <u><i>Carcharocles chubutensis</i></u> (Ameghino, 1901) <b>**<i>Carcharocles megalodon</i></b> (Agassiz, 1843) <u><i>Parotodus benedini</i></u> (Le Hon, 1871) <u><i>Negaprion cfr. eurybathrodon</i></u> (Blake, 1862) <u><i>Charcharias cuspidata</i></u> (Agassiz, 1843) <u><i>Charcharias taurus</i></u> (Rafinesque, 1810) <u><i>Hemipristis serra</i></u> (Agassiz, 1835) <u><i>Atopias vulpinus</i></u> (Bonnaterre, 1788) <b>Sparidae indet.</b> <i>Gryphus rovasendianus</i> Piccoli pectinidi disarticolati Picnodonti Resti vegetali con teredini Rare vertebre di pesce	Coralli solitari ( <i>Flabellum extensum</i> ) Legni compenetrati da teredini Gasteropodi: <i>Eudolium</i> sp. (Abbondante) <i>Galeodea echinophora</i> <i>Cirsotrema crassica</i> <i>Ficus</i> sp. <i>Pholadomya</i> sp. <i>Cuspidaria</i> sp. <i>Pleurotomaria</i> sp. <i>Xenophora</i> sp. Cefalopodi: <i>Aturia morrisii</i> Bivalvi: <i>Solemya doederleini</i> Brachiopodi: <i>Eudolium</i> sp. <i>Aturia morrisii</i> <i>Solemya doederleini</i> <i>Gryphus rovasendianus</i> <i>Sphenarina</i> cf. <i>sicula</i> Colonie di <i>Neopicnodonte navicularis</i> Rare vertebre di pesce	Spugne ( <i>Craticularia</i> sp.) Colonie di <i>Neopicnodonte navicularis</i> Brachiopodi e bivalvi vari
<b>Tracce fossili</b>	-	<i>Zoophycos</i> , <i>Chondrites</i>	<i>Chondrites</i>
<b>Paleoambiente</b>	Ambiente sublitorale con deposizione di flussi ad alta energia	Ambiente di piattaforma esterna	Ambiente sublitorale

## Bibliografia

- AMBAR I., HOWE M.R., 1979 – *Observations of the Mediterranean Outflow II: the deep circulation in the Gulf of Cadiz. Deep Sea Research Part I. Oceanographic Research Papers*, **26**, pp. 555-568.
- AMOROSI A., 1991 – *Analisi di facies e stratigrafia sequenziale della Formazione di Bismantova ad est del Fiume Panaro ("placca" di Zocca-Montese, Appennino bolognese)*. *Giornale di Geologia*, ser. 3, **52**(1-2), (1990), pp. 159-177.
- AMOROSI A., 1992a – *Stratigrafia e sedimentologia del Miocene epiligure tra le valli del Panaro e del Marecchia (Appennino settentrionale)*. Tesi di dottorato (inedita), Università di Bologna e Modena, 205 pp., Bibl. Naz. Roma e Firenze.
- AMOROSI A., 1992b – *Correlazioni stratigrafiche e sequenze deposizionale nel Miocene epiligure delle Formazioni di Bismantova, S. Marino e M. Fumaiolo (Appennino settentrionale)*. *Giornale di Geologia*, ser. 3, **54**(1), pp. 95-105.
- AMOROSI A., 1993 – *Use of Glaucony for stratigraphic correlation: review and case histories*. *Giornale di Geologia*, ser. 3, **55**(1), pp. 117-137.
- AMOROSI A., COLALONGO M.L., VAIANI S.C., 1996 – *Revisione stratigrafica dell'Unità Bismantova (Miocene epiligure, Appennino settentrionale)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **115**, pp. 355-367.
- AZZAROLI A., 1953 – *Appunti sulla serie di Loiano*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **72**, pp. 27-32.
- BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P., PANINI F. 1989 – *Schema introduttivo alla geologia delle Epiliguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **39** (1987), pp. 215-244, Roma.
- BETTELLI G., PANINI F., PIZIOLO M., BONAZZI U., CAPITANI M., FAZZINI P., FIORONI C., FREGNI P., GASPERI G., MANTOVANI UGUZZONI M.P., BOSI R., FONTANA D., 2002 – *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 236 "Pavullo nel Frignano"*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geol., Sismico e del Suolo.
- BORGHI E., 2012 – *Il genere Spatangus (Echinoidea) nel Langhiano dell'Appennino reggiano*. *Notiziario Società Reggiana Scienze Naturali* (2010), pp. 43-61.
- BORGHI E., 2013 – *Il genere Mazettia (Maretiidae), un caratteristico echinoide del Miocene dell'Emilia-Romagna*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (2012), pp. 9-20.
- BORGHI E., 2020 – *Gli echinoidi della Formazione di Pantano (Miocene medio-inferiore) dell'Emilia*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (2019), pp. 30-48.
- BORGHI E., CIAPPELLI F., 2014 – *Prima segnalazione del genere Hypsoclypus (Echinoidea) nel Pliocene italiano*. *Notiziario Soc. Reggiana Sc. Nat.*, pp. 9-18.
- BORGHI E., STARA P., 2016 – *I cidaroidi (Echinoidea) del Miocene inferiore-medio dell'Emilia-Romagna e di San Marino*. *Parva Naturalia*, **11**, pp. 13-45.
- BORGHI E., CARROZZI L., RINALDI O., 2017 – *Tripneustes, un raro echinoide rinvenuto nel Miocene dell'Appennino reggiano*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (2016), **12**, pp. 7-12.
- BORGHI E., STARA P., 2020 – *Nudobrius (Lambert, 1920), un raro echinoide del Miocene medio-inferiore dell'Emilia e della Sardegna*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (2019), pp. 6-13.
- BORGHI E., MAGNANI S., 2020 – *Cidaridi completi (Echinoidea) con spine a ventaglio nel Miocene del Pescale (Modena)*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (2019), pp. 22-29.
- BORGHI E., BATTILANI D., 2021 – *First record of the Cyclaster genus (Echinoidea) in the European Miocene*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **152**, pp. 73-80.
- COPPI F., 1884 – *Il Miocene medio nei colli modenesi; appendice alla paleontologia modenese*. *Boll. R. Comitato Geologico d'Italia*, **15**(5-6), pp. 171-201.
- DE RIDDER C., LAWRENCE J.M., 1982 – *Food and feeding mechanisms: Echinoidea*. In: M. Jangoux & J.M. Lawrence (eds.) "Echinoderm Nutrition", pp. 499-519, Balkema, Rotterdam.
- DICKSON R., BROWNE D., 1994 – *The production of North Atlantic Deep Water: sources, rates, and pathways*. *Journal of Geophysical Research*, **99** (C6), pp. 12319-12341.
- FREGNI P., PANINI F., 1995 – *Dati stratigrafici della Formazione di Cigarello (Gruppo di Bismantova), Pavullo nel Frignano (Appennino modenese)*. "Scritti e documenti", *Acc. Naz. Scienze*, **14**, pp. 87-111.
- GASPERI G., BETTELLI G., PANINI F., PIZIOLO M., 2005 – *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 219 "Sassuolo"*. ISPRA, 195 pp.
- GIRTON J., SANFORD T., 2003 – *Descent and modification of the overflow plume in the Denmark Strait*. *Journal of Physical Oceanography*, **33**, pp. 1351-1364.
- GUERRERA F., 1979 – *Stratigrafia e sedimentologia dei livelli "tripolacei" del Miocene inferiore-medio appenninico*. *Boll. Serv. Geol. d'It.*, **99**, pp. 233-262.

- KROH A., 2002 – *The echinodermata of the Langhian (Lower Badenian) of the Molasse Zone and the northern Vienna Basin (Austria)*. Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, **104A**, pp. 155-183.
- KROH A., 2005 – *Catalogus Fossilium Austriae, Band 2, Echinoidea neogenica*. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 210 pp., Wien.
- KROH A., MENKVELD U., 2006 – *Echinoids from the Belpberg Beds (Obere Meeresmolasse, Middle Burdigalian) in the area of Bern (Switzerland)*. Eclogae Geologicae Helvetiae, **99**, pp. 193-203, Birkhauser Verlag, Basel.
- KUHLBRODT T., GRIESEL A., MONTOYA M., LEVERMANN A., HOFMANN M., RAHMSTORF S., 2007 – *On the driving processes of the Atlantic meridional overturning circulation*. Reviews of Geophysics, **45**, RG2001.
- LAUBE G.C., 1869 – *Die Echinoiden der österreichisch-ungarischen oberen Tertiärablagerungen*. Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt, **3(9)**, pp. 182-184, Wien.
- LAURERI S., 1963 – *Nuovi echinoidi elveziani della media val d'Enza (Reggio Emilia)*. Boll. Soc. Geol. It., **81(1)**, pp. 3-31, Roma.
- MANCOSU A., NEBELSICK J.H., 2016 – *Echinoid assemblages from the early Miocene of Funtanazza (Sardinia): a tool for reconstructing depositional environments along a shelf gradient*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **454**, pp. 139-160.
- MANZONI A., 1879 – *Gli echinodermi fossili dello Schlier delle colline di Bologna*. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, **39**, pp. 149-164.
- MANZONI A., 1880 – *Echinodermi fossili della molassa serpentinoso e supplemento agli echinodermi dello Schlier delle colline di Bologna*. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe, **42**, pp. 185-190.
- MANZONI A., 1881 – *Spugne silicee della molassa miocenica del Bolognese*. Atti Soc. Toscana Sc. Nat., Memorie, **5(1)**, (1880), pp. 173-176, Firenze.
- MANZONI A., MAZZETTI G., 1878 – *Echinodermi nuovi della molassa miocenica di Montese nella provincia di Modena*. Atti Soc. Toscana Sc. Nat., **3(2)**, pp. 350-356, Firenze.
- MAZZETTI G., 1872 – *Cenno intorno di fossili di Montese*. Annuario Soc. Nat. in Modena, **6**, pp. 1-12.
- MAZZETTI G., 1879 – *La molassa marnosa delle montagne modenese e reggiane e lo Schlier delle colline del Bolognese*. Annuario Soc. Nat. in Modena, **13(1)**, pp. 1-22.
- MAZZETTI G., 1881a – *Echinodermi fossili di Montese*. Annuario Soc. Nat. in Modena, serie 2, **15**, pp. 108-126.
- MAZZETTI G., 1881b – *Echinodermi fossili di Pantano*. Annuario Soc. Nat. in Modena, serie 2, **15**, pp. 127-129.
- MAZZETTI G., 1896 – *Catalogo degli Echinoidi fossili della collezione Mazzetti esistente nella Regia Università di Modena*. Memorie R. Accademia Scienze, Lettere e Arti, Modena, serie 2, **11**, pp. 409-461.
- MAZZETTI G., PANTANELLI D., 1885 – *Cenno monografico intorno alla fauna fossile di Montese. Parte prima*. Atti Soc. Nat. in Modena, Memorie, **4**, pp. 58-96.
- MAZZETTI G., PANTANELLI D., 1887 – *Cenno monografico intorno alla fauna fossile di Montese. Parte seconda*. Atti Soc. Nat. in Modena, Memorie, **6**, pp. 46-82.
- NELLI B., 1910 – *Fossili miocenici del Modenese*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. **XXVII**, Fasc. 3 (4° trimestre).
- PANINI F., BETTELLI G., PIZZIOLLO M., BONAZZI U., CAPITANI M., FIORONI C., FREGNI P., GASPERI G., BORSETTI M., MANTOVANI UGUZZONI M. P., BASOLI R., FONTANA D., 2002 – *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000; Foglio n. 237 "Sasso Marconi"*. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geol., Sismico e del Suolo.
- PELLEGRINI S., ZANASI C. (a cura di), 2018 – *Riproduzione digitale dei Diari di Fernando Malavolti. I diari delle ricerche 1935-1938*. ISBN 987-88-7814-656-3 e ISBN 978-88-7814-657-0, Firenze.
- PHILIPPE M., 1998 – *Les échinides miocènes du bassin du Rhône : révision systématique*. Nouvelles Archives Muséum d'Histoire Naturelle de Lyon, **36**, 441 pp.
- POMEL A., 1883 – *Paléontologie ou description des animaux fossiles de l'Algérie. Zoophytes. 2e fasc.: Echinodermes*, Adolphe Jourdan, 344 pp., Alger.
- PRICE J.F., BARINGER M.O., 1994 – *Outflows and deep-water production by marginal seas*. Progress in Oceanography, **33**, pp. 161-200.
- RAFFI S., SERPAGLI E., 1996 – *Introduzione alla Paleontologia*. 654 pp., UTET, Torino.
- RAHMSTORF S., 2006 – *Thermohaline ocean circulation*. In: S.A. Elias (ed.) "Encyclopædia of Quaternary Science", Elsevier, Amsterdam, pp. 739-750.

- REBESCO M., HERNÁNDEZ-MOLINA F.J., VAN ROOIJ D., WÄHLIN A., 2014 – *Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: state-of-the-art and future considerations*. *Marine Geology*, **352**, pp. 111-154.
- RONDELLI R., 2022a – *Paleoecologia della Formazione di Pantano (Membro di Sassoguidano) nei pressi di Montese tra Appennino modenese e bolognese*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **153**, pp. 67-88.
- RONDELLI R., 2022b – *Paleoecologia della Formazione di Pantano, medio Appennino modenese tra le valli del Fiume Secchia e del Torrente Tiepido*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **153**, pp. 99-126.
- RONDELLI R., 2023a – *Paleoecologia della Formazione di Pantano (Membro di Sassoguidano) presso Pavullo nel Frignano (Appennino modenese)*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **154**, pp. 65-88.
- RONDELLI R., 2023b – *Paleoecologia della Formazione di Pantano (Membro di Montecuccolo) in Appennino modenese*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **154**, pp. 89-122.
- RONDELLI R., 2024 – *Nuovi dati stratigrafici, paleontologici e paleoambientali sulla Formazione di Pantano (Membro di Sassoguidano) affiorante presso Serra dei Guidoni (Appennino modenese e bolognese)*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (2023), pp. 36-58.
- RONDELLI R., BATTILANI D., 2023 – *Il genere Gregoryaster nel Langhiano dell'Appennino emiliano*. *Atti Soc. Nat. Mat. di Modena*, **154**, pp. 141-156.
- RONDELLI R., BATTILANI D., 2024 – *Analisi paleontologica dell'orizzonte grossolano basale della Formazione di Pantano e revisione degli elasmobranchi miocenici inferiori dell'Appennino modenese*. *Notiziario Soc. Reggiana Scienze Naturali* (in preparazione).
- SERAFY K.D., 1979 – *Memoirs of the Hourglass Cruises, Echinoid (Echinodermata: Echinoidea)*. Department of Natural Resources, Marine Research Laboratory, Florida, 119 pp.
- SMITH A.B., 1978 – *A functional classification of the coronal pores of regular echinoids*. *Palaeontology*, **21**(4), pp. 759-789.
- SMITH A.B., 1980 – *The structure, function, and evolution of tube feet and ambulacral pores in irregular echinoids*. *Palaeontology*, **23**(1), pp. 39-83.
- SMITH A.B., STOCKLEY C.W., 2005 – *Fasciole pathways in spatangoid echinoids: a new source of phylogenetically informative characters*. *Zoological Journal of the Linnaean Society*, **144**, pp. 15-35.
- SMITH A.B., GALE A., 2009 – *The pre-Messinian deep-sea Neogene echinoid fauna of the Mediterranean: surface productivity controls and biogeographical relationships*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **281**, pp. 115-125.
- SMITH A.B., KROH A. (eds.), 2011 – *The Echinoid Directory*. World Wide Web electronic publication, <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/echinoid-directory> [accessed 05.02.2019].
- STARA P., BORGHI E., KROH A., 2016 – *Revision of the genus Mariania (Echinoidea) with the description of two new species from the Miocene of Italy*. *Bulletin of Geosciences*, **91**(1), pp. 65-88.
- STARA P., CHERBONNIER S., BORGHI E., 2018 – *Redefinition of Prospatangus thieryi Lambert, 1909 (Echinoidea, Spatangoida), in Sardospatangus nov. gen. with two new species from Sardinia, Italy*. *Annales de Paléontologie*, **104**, pp. 309-327.
- STEFANINI G., 1908 – *Echinoidi del Miocene medio dell'Emilia (parte prima)*. *Palaeontographia Italica*, **14**, pp. 65-119, Pisa.
- STEFANINI G., 1909 – *Echinoidi del Miocene medio dell'Emilia (parte seconda)*. *Palaeontographia Italica*, **15**, pp. 57-114, Pisa.
- STOCKLEY B., SMITH A.B., LITTLEWOOD T., LESSIOS H.A., MACKENZIE-DODDS J.A., 2005 – *Phylogenetic relationships of Spatangoid sea urchins (Echinoidea): taxon sampling density and congruence between morphological and molecular estimates*. *Zool. Scr.*, **34**, pp. 447-468.
- STOW D.A.V., FAUGÈRES J.C., 2008 – *Contourite facies and the facies model*. In: M. Rebesco & A. Camerlenghi (eds.) "Contourites. Developments in Sedimentology", **60**, pp. 223-256, Elsevier, Amsterdam.
- TORTONESE E., 1965 – *Echinodermata*. *Fauna d'Italia*, 422 pp., Ed. Calderini, Bologna.
- UGOLINI R., 1899 – *Sopra alcuni fossili dello Schlier del Monte Cedrone (Umbria)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **18**, pp. 290-296.
- WIEDENMAYER C. (1950) – *Zur Geologie des Bologneser Apennins zwischen Reno und Idice-Tal*. *Ecl. Geol. Helvet.*, **43**, pp. 115-144.
- WRIGHT T., 1855 – *On fossil echinoderms from the island of Malta with notes on the stratigraphical distribution of the fossil organisms in the Maltese beds*. *The Annals and Magazine of Natural History*, 2<sup>nd</sup> Series, **15**, pp. 101-127, 175-196, 262-277, London.

- WYNN R.B., STOW D.A.V., 2002 – *Classification and characterisation of deep-water sediment waves*. *Marine Geology*, **192**, pp. 7-22.
- YOUNG C.M., EKARATNE S.U.K., CAMERON J., 1998 – *Thermal tolerances of embryos and planktotrophic larvae of *Archaeopneustes hystrix* (Agassiz) (Spatangoidea) and *Stylocidaris lineata* (Mortensen) (Cidaroidea), bathyal echinoids from the Bahamian Slope*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **223**(1), pp. 65-76.





**Francesco Foggia\***, **Gian Paolo Sighinolfi\*\***, **Giovanni Tosatti\*\***

## **Lithological features and provenance of the material used for the construction of the Serravuda hilltop vitrified structure (Calabria, Italy)**

### **Abstract**

*A detailed lithological-petrographic study was carried out on rocks of the bedrock and on fragments of loose vitrified rocks found on top of Mt. Serravuda (Acri, Calabria), where the remains of a construction are present. The material used for building this structure was examined measuring the physical-compositional parameters of a great number of rock samples. The investigations carried out show that most of the material is made up of metamorphic fragments, at present scattered as erratic rocks in the weathered layer covering the hill slopes. On the one hand, this proves the provenance of the shattered material accumulated on Serravuda hilltop and, on the other hand, the role played by humans in the transport and construction of the structure. Moulds of wood are impressed in the vitrified matrix and show that vitrification took place because of heating produced by the combustion of timber, already present on the spot or deliberately placed by man in between lithic materials. The process of partial fusion led to the formation of considerable amounts of cementing fluids with partial vitrification of the structure. Vitrification is massive without discontinuities, and this points to a single heating event. The size, location and development of this building suggests that it originally might have had a defensive role, like "wall circuits", which were built mainly in the early Iron Age.*

### **Riassunto**

*Litologia e provenienza del materiale utilizzato per la costruzione della struttura vetrificata di Serravuda (Calabria). È stato condotto uno studio litologico-petrografico di dettaglio su frammenti di rocce vetrificate accumulati sulla sommità della collina di Serravuda (Acri, Calabria), sulle rocce del substrato e su frammenti litoidi sciolti presenti nel manto di alterazione lungo i versanti al fine di determinarne la provenienza. Il materiale usato per la costruzione di un'antica struttura, i cui resti sono presenti sulla sommità della collina, è stato esaminato attraverso misure di parametri fisico-composizionali su un gran numero di campioni. Le indagini svolte suggeriscono che gran parte*

---

\* Consultant Geologist, ACRI (CS), Italy; e-mail: ffoggia@yahoo.it.

\*\* Formerly Department of Earth Sciences, University of Modena and Reggio Emilia, MODENA, Italy; e-mails: sighinolfi@yahoo.it, john.tosatti@gmail.com.

di esso è costituito da frammenti di metamorfiti, attualmente dispersi come erratici nel manto di alterazione che ricopre i versanti della collina. Ciò da un lato comprova la provenienza del materiale frammentato accumulato sulla sommità di Serravuda e dall'altro il ruolo svolto dall'uomo per il suo trasporto e per la costruzione della struttura. Impronte lignee impresse nella matrice vetrosa indicano che la vetrificazione della struttura è avvenuta in seguito a un forte riscaldamento prodotto dalla combustione di legname presente sul posto o inserito dall'uomo fra i materiali litoidi. Il conseguente processo di fusione parziale ha portato alla formazione di notevoli quantità di liquidi cementanti con vetrificazione parziale. Il fatto che la vetrificazione risulti massiva, senza discontinuità, suggerisce che essa sia occorsa in seguito ad un unico evento di riscaldamento. Le dimensioni, la localizzazione e lo sviluppo di tale struttura fanno pensare che in origine si trattasse di una costruzione difensiva del tipo dei cosiddetti wall circuits, eretti soprattutto all'inizio della Età del Ferro.

**Keywords:** *Vitrified rocks, metamorphites, petrographic and morphological features, Serravuda, Calabria, Italy*

**Parole chiave:** *Rocce vetrificate, metamorfiti, caratteristiche petrografiche e morfologiche, Serravuda, Calabria*

## 1. Introduction

The presence of a vast outcrop of vitrified rocks on top of Serravuda hill, some 2.0 km NW of Acri (Calabria, Italy: lat. 39°30'10.50" N; long. 16°22'05.50" E), was reported for the first time in 1970 (Foggia, 1971). Later Bertolani (1972) described the spatial distribution of these rocks in two separate parts covering a surface of 52 m<sup>2</sup> and 47 m<sup>2</sup> respectively, with lengths of 25 m and 20 m, widths of 3 m to 5 m, thickness of about 1 m and a presumable original height of over 1.5 m. This Author carried out a petrographic study of these materials and the substrate rocks cropping out in the area.

The mineralogical paragenesis in fragments of rocks subject to pyro-metamorphism, which this Author described, suggests that high temperatures were reached during heating. In discussing the origin of this event, Bertolani considered both natural processes (wildfires, atmosphere electric discharges) and prehistoric or protohistoric anthropogenic activities. Recent mineralogical studies (Elmi *et al.*, 2021) confirm that during this pyro-metamorphic occurrence very high temperatures were attained (1000-1100 °C), which are compatible with those developed by natural events such as lightning strikes. Comparative observations on the lithological features of the substrate rocks cropping out at Mt. Serravuda and those of the detrital material accumulated on the surface (Sighinolfi *et al.*, 2022) suggest for the latter an allochthonous origin with the action of humans both for its transport and for construction. Man's activities were presumably finalised to ceramic or archaeo-metalurgical production. Finally, geochemical-isotopic analyses and TL dating

(Sighinolfi *et al.*, 2023; Galli *et al.*, 2024) confirm the anthropogenic origin of the construction and its relatively ancient age (probably ranging between the mid-Bronze and early Iron Age). At the same time, they raise intriguing questions regarding the vitrification process affecting the structure and on the possible role of man in this process.

Based on lithological-petrographic compositional data and physical-morphological parameters of the vitrified rock fragments and all lithic materials present over the study area, this research aimed to prove the allochthonous provenance of the former, thus confirming man's action in transporting and accumulating them on top of the hill in order to build a massive construction.

## 2. Outlines on regional geology and morphology of the study area

From the geological standpoint, the area where outcrops of fused rocks were found is characterised by crystalline, predominantly metamorphic rocks of Palaeozoic age (Permian-Carboniferous), commonly defined in literature as Sila Group Crystalline Formation (Bertolani, 1972; Bertolani & Foggia, 1975) (Fig. 1). Amodio-Morelli *et al.* (1976) considered the rock types cropping out on Serravuda hilltop as belonging to the Polia-Copanella Unit, which is a Cretaceous-Palaeogene Europe-verging unit. Later, other Authors investigated the regional geological features of this area (cf. Dewey *et al.*, 1989; Knott & Turco, 1991; Messina *et al.*, 1994; Tortorici *et al.*, 1995; Malinverno, 2012).

Most of the substrate rocks consists of a variety of medium-high metamorphic rock sequences in which kinzigitic gneisses (biotite-garnet-sillimanite-bearing rocks) are by far the most representative terms. Subordinated lithological units consist of interlayered mafic (Fe-rich) amphibolite bands and strongly tectonised granitoid bodies of debatable interpretation (granitic intrusives, migmatites?). Most of the medium-high grade metamorphites underwent widespread and intense regional retro-metamorphism to green schist facies. Morphologically, the area is characterised by a series of hills and reliefs exhibiting rounded peaks and arranged mainly with a north-south orientation. The southernmost part of Serravuda hill hosting the melted rocks is characterised by an apparently artificial flattened top (Fig. 2), quite distinct from the top of neighbouring hills (Bertolani, 1972).

A thick weathering cover is present all over the area (cf. Borrelli *et al.*, 2011) and this, together with the dense vegetation along the slopes of the hills makes adequate observations on the soil surface and of the substrate lithology rather difficult. A wildfire occurring in July 2023, which completely destroyed the vegetation, allowed detailed observations of the soil surface and all the lithic materials, including the substrate rocks and loose erratic rock fragments in the weathered layer covering the slopes (Fig. 3a). Based on these recent

observations, it was possible to draw geo-lithological maps at the original scales of 1:5,000 and 1:500, respectively (Figs. 1, 2, 4). As previously pointed out (Sighinolfi *et al.*, 2022), these maps show that on the hilltops (including Serravuda) granitoid rocks and quartz-feldspar-micaceous pegmatite dykes crop out. On the other hand, along the slopes, at lower altitudes, the substrate rocks are almost completely made up of various types of metamorphites, in particular gneisses and their retro-metamorphic equivalent rocks (cf. Bertolani, 1972; Bertolani & Foggia, 1975; Borrelli *et al.*, 2011).

### **3. The outcrops of Mt. Serravuda vitrified rocks – first studies and new findings**

Bertolani (1972) was the first to describe the morphological features of Serravuda hilltop and provided a detailed description of the vitrified rocks. The surface of the top is flat and almost elliptical in shape and measures 32 m E-W and 25 m N-S (Fig. 1). The vitrified rocks are located at the northern edge of the flat surface and form an E-W trending arcuate and elongated structure, over 45 m long and about 1 m thick. Test boreholes carried out in three places of the structure (Bertolani, 1972) and our observations at a recent excavation for industrial installations revealed that the thickness of the fused mass varies between 50 and 90 cm. Beneath the fused duricrust, there is a layer of reddened rock fragments, which rests on other blackened rock fragments. At a depth of 1.40-1.50 m, the mass of rock fragments apparently lies on top of granitoid substrate rocks.

According to observations by Bertolani (1972), the elongated vitrified structure with curved extremities, forming a sort of “wall”, was present only along the northern margin of the flattened Mt. Serravuda top surface. Our recent observations along the southern and western slopes of this hill – made easier by the total absence of vegetation following the aforementioned fire – have led to the discovery of considerable amounts of partially vitrified rock fragments showing macroscopic evidence of pyro-metamorphism (reddening) (Fig. 3b). On these sides of the hill, the amount of shattered rock material scattered on the soil surface is exceptionally high if compared with that present on the other slopes. Considering that it is located a few scores of metres away from the flattened Serravuda top, the theory that this material originally lay on the hilltop and that it moved along the slopes afterwards because of gravity can be justified (Fig. 3c). Therefore, we can hypothesize that even on the south face of the flattened hill surface there was a layer of rock fragments similar to the one still found on the N margin, forming a high-elongated structure built with the same construction method. The large amounts of vitrified fragments in between the detrital material suggest that all the original structure underwent the same vitrification process on each side, with the formation of a fairly continuous

vitrified “wall”. In this case, the existence of a man-made complex structure on Serravuda hilltop, with a ring-shaped circular or sub-circular perimeter of about 95 m, confining an inner area of some 462 m<sup>2</sup>, similar to ancient hill forts, should be hypothesized (cf. Fig. 5).

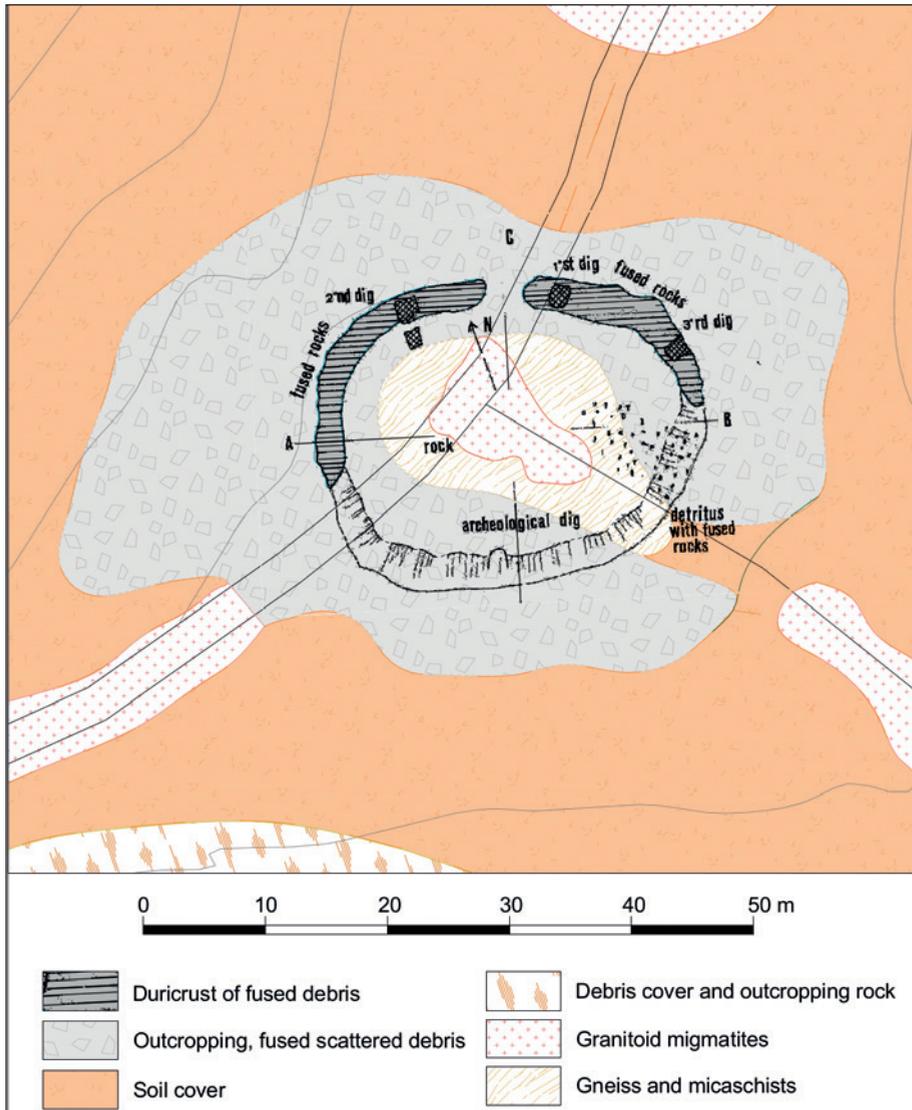


Fig. 1 – Simplified geological map of the top of Mt. Serravuda (updated after Bertolani, 1972).

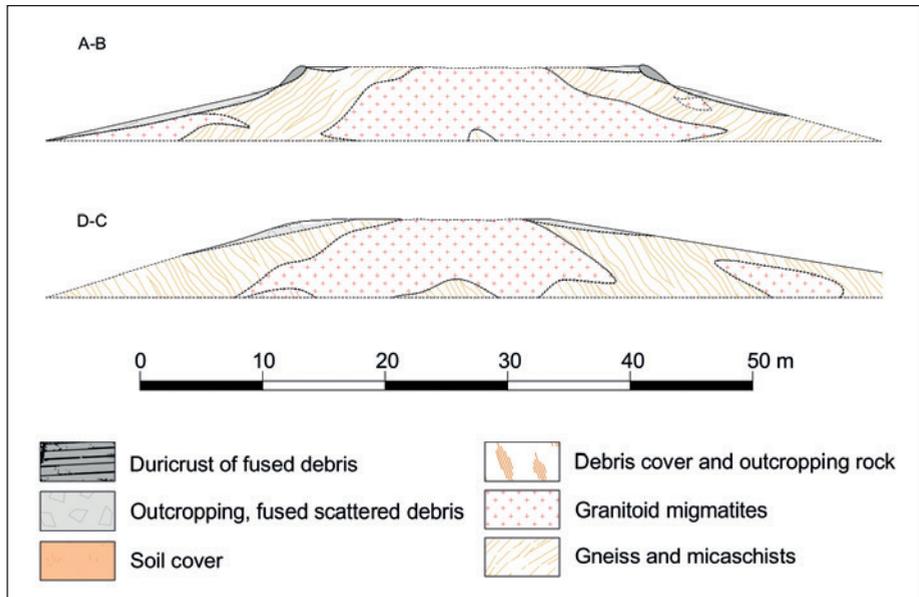


Fig. 2 – Geological sections of Mt. Serravuda (cf. Fig. 1).



Fig. 3a – Southern slope of Mt. Serravuda showing the effects of the wildfire of July 2023.



Fig. 3b – Southern slope of Mt. Serravuda after the wildfire: partially vitrified rock fragments showing macroscopic evidence of pyro-metamorphism (reddening).

The distribution of rock fragments within the vitrified structure, brought to light in the walls of a recent dig, shows that this structure was built by laying large rock pieces one on top of the other with smaller ones occupying the empty spaces. On the flattened hilltop, there are unusually large blocks of granitoid rocks (Figs. 6a and 6b). They have probably been brought to the surface by recent excavation works and it seems that originally they were selected and used by man to build the base of the construction, which lay directly on the substrate rocks.

The identification of a vitreous component in the loose rock fragments and conglomerate blocks making up the vitrified duricrust is made clear by its homogeneous black colour and vitreous aspect. The latter is variable according to other physical characteristics (from compact to bullous or pumice-like) and its position inside the duricrust (in the shape of more or less thin layers covering the rock fragments or veins and pockets, cf. Figs. 7 and 8). Typically, the pyro-metamorphic effects on fragments of granitoid rocks are quite distinct from those observable on metamorphites. The former are less involved in the partial fusion process and the amount of liquids produced is modest and leads to the formation of thin vitreous crusts covering the rock fragments. On the other hand, the gneiss metamorphites or their retro-metamorphic equivalents (green schist facies rocks) seem to be much more involved in the partial fusion process, with consequent production of much more abundant volumes of fluids, which could flow in between the solid materials. The latter are then found in

the form of veins having widely diversified thickness or in the form of vitreous pockets resulting from fluid stagnation.



Fig. 3c – Rocks scattered on the slope surface because of gravity.

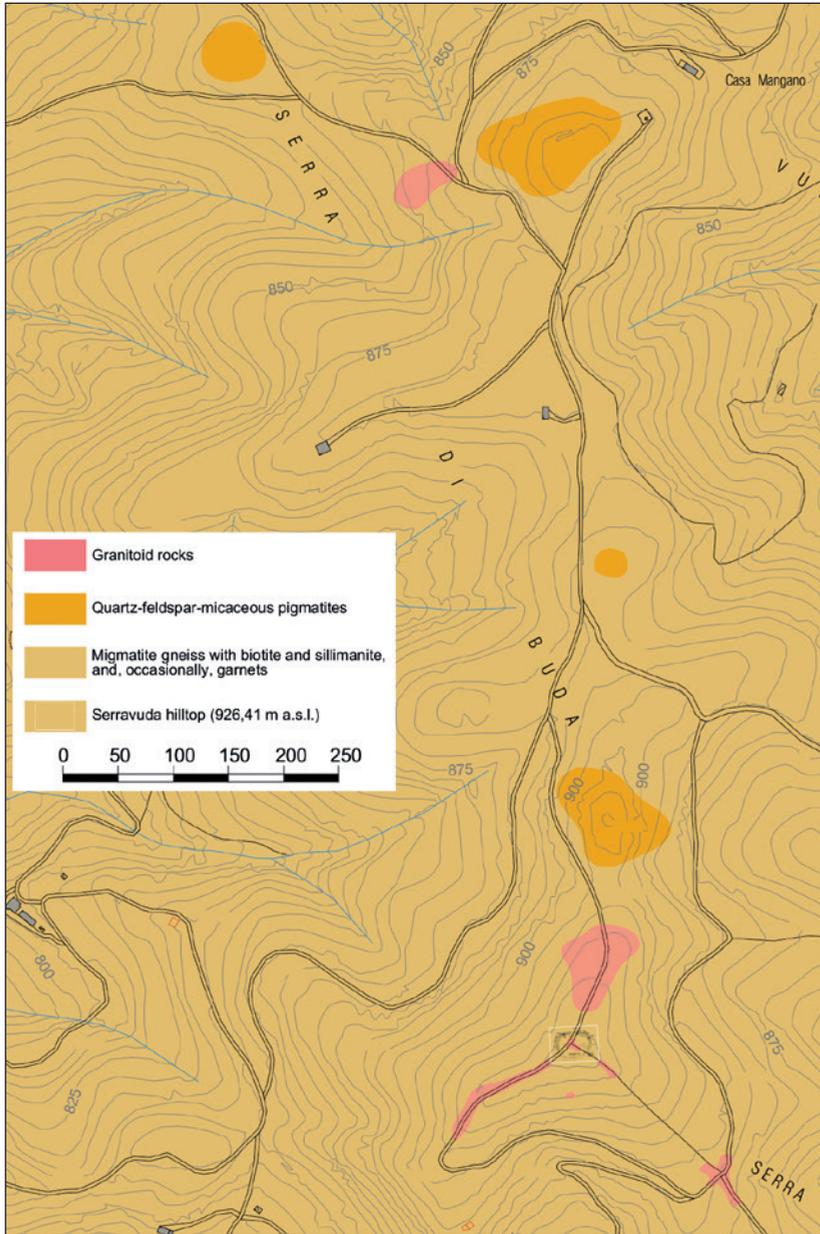


Fig. 4 – Geo-lithological map of Mt. Serravuda: on top of the reliefs granitoid rocks and quartz-feldspar-micaceous dykes crop out.

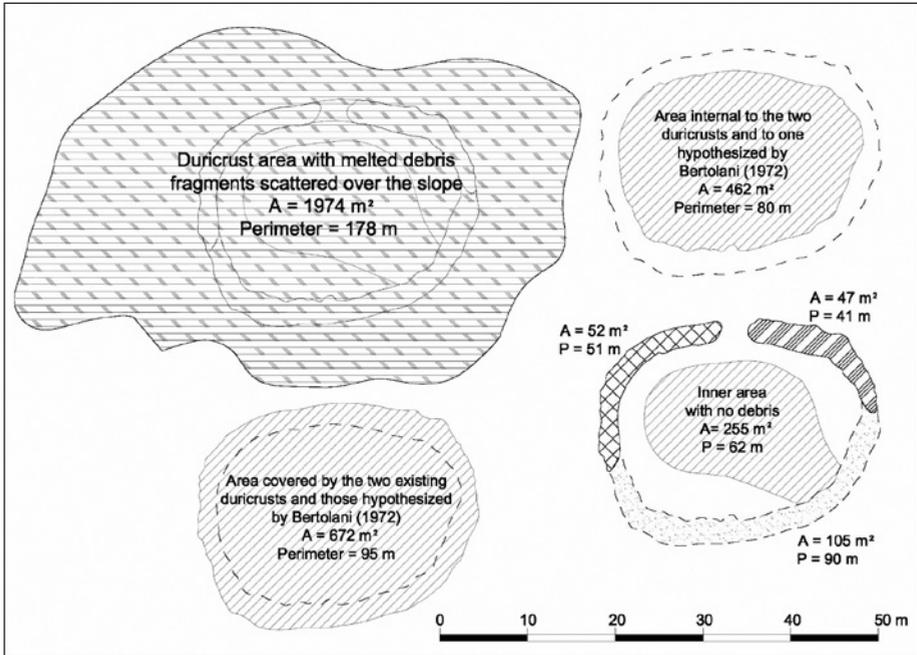


Fig. 5 – Planimetric sketch of the Serravuda hilltop showing the fused duricrusts, the vitrified debris and the slope formation debris.



Fig. 6a – Section of the vitrified conglomerate rock blocks one on top of the other and smaller ones occupying the empty spaces.

Inside the vitrified duricrust situated in the upper part of the deposit, in particular in the eastern portion of the elongated vitrified structure where the duricrust is considerably thick (assessed between 60 and 80 cm), sub-horizontal or gently inclined moulds of timber impressed on the vitreous mass are visible (Fig. 9). These features, previously described by Bertolani (1972) and Elmi *et al.* (2021), unequivocally show that the vitrification process of the upper part of the debris cover took place because of strong heating caused by the combustion of timber inserted in between the rock fragments. The lateral variation in size of these moulds and their shape indicate that the wood material used was made of tree branches and trunks with a maximum diameter not exceeding 20-30 cm.



Fig. 6b – Detail of large block of granitoid rocks on Serravuda hilltop.



Fig. 7 – Examples of bullous and compact vitrified rocks.



Fig. 8 – Vitrified thin crusts covering fragments of granitoid rocks.



Fig. 9 – Wood moulds on vitrified rock surfaces.

#### 4. Lithological characteristics of the rock fragments

In order to determine the provenance of the rock blocks and fragments utilised for building the Mt. Serravuda structure and provide evidence that the detrital material on the hilltop was accumulated by man, a petrographic study of the rocks present over the area was made, since they might correspond to potential source material. Among the materials taken into consideration, our attention was focused on the erratic rocks found along the slopes of Mt. Serravuda or present in the weathered layer covering most of the hill slopes. Indeed, these materials are the most accessible source for the construction on the hilltop, considering also the ease of transport. In order to prove this hypothesis, we carried out a comparative study of the material presumably accumulated by man on the hilltop and the loose rock fragments found on both the Serravuda hilltop and on the slopes. Therefore, we examined the fragmented material using both qualitative and quantitative parameters. In particular, we took into account the morphological features, the size and litho-petrographic composition of the single rock fragments. Analyses

and measurements were performed on a great number of samples (several hundreds) in order to allow a statistical application of the data thus obtained.

The morphological characterisation of the rock fragments was acquired by means of visual field observations of the samples. This activity was performed on 427 rock fragments from the Serravuda hilltop, most of which showed evidence of pyro-metamorphic processes, and on 321 samples of rock fragments collected along the hill slopes, most of which were present as erratics in the weathered top layer. From the morphological viewpoint, the great majority of the samples examined (>95%) seems to be ascribed to only two distinct rock types. One type consists of rock fragments which have developed in three-dimensional patterns, with rounded shapes and are typical of the granitoid rocks cropping out on top of the reliefs surrounding the study area. On the contrary, the other type consists of elongated and flattened shapes, bi-dimensional and with sharp edges, typical of their regolith nature. As it will be explained in the next chapter, the morphological features of the rock fragments are strictly bound to their lithological nature.

Regarding the size of the single fragments collected, we expressed their volume by means of approximate estimates of their size based on linear measurements along the three main orthogonal directions of the samples. The sizes of the fragments are therefore given in cubic centimetres on a linear scale starting from a minimum value of 50 cm<sup>3</sup> up to 5,000 cm<sup>3</sup> (up to a maximum of 11,913 cm<sup>3</sup> for the debris cemented by fused material and a maximum of 5,938 cm<sup>3</sup> for those scattered along the slopes). The calculation of the sizes was mostly done by means of *in situ* measurements. Only on a small portion of fragments of vitrified rocks, previously analysed from a litho-petrographic standpoint (Bertolani & Foggia, 1975), was the volume calculated utilizing the immersion in water method. By means of these analytical procedures, the sizes of 748 rock samples were determined. Out of these, 427 samples were vitrified material on the hilltop whereas 321 were loose fragments collected along the hill slopes.

Finally, the litho-petrographic characteristics of the rock fragments were defined based on the early field surveys and data from observations under the optical microscope carried out by Bertolani & Foggia (1975). These data were integrated by our recent surveys, macroscopic comparative observations and laboratory analyses on selected samples. On the basis of these investigations, the rock samples have been classified according to six litho-petrographic types: i) gneisses; ii) kinzigites; iii) micaschists; iv) amphibolites; v) granitoids and vi) quartz-rich rocks. The classification of the samples in the first five types was based on the research by Bertolani & Foggia (1975) and was relatively easy to obtain. The quartz-rich rock type, which was found exclusively in the material on top of Serravuda hill, consists of a few rock

fragments, usually quite small and round-shaped. They may correspond to either quartz metamorphic segregations from the crystalline basement rocks or allochthonous material scattered through superficial natural processes. Furthermore, it was not possible to attribute a litho-petrographic connotation to 91 small-sized rock fragments (<50 cm<sup>3</sup>) and to another 105 samples belonging to the vitrified structure as they were altered by the effects of pyro-metamorphism. Nevertheless, even in this case, the high number of samples considered (231 fragments accumulated on Serravuda hilltop and 321 pieces of erratic debris collected on the hill slopes) allows statistical interpretation of the data.

## **5. Analysis of the materials and results**

As discussed previously, the observations carried out on the samples show that all rock fragments might be classified in two morphological types, in turn related to the litho-petrographic nature of the materials. The fragments of granitoid rocks are usually characterised by roundish shapes with no unidirectional developments, although at times they show a flattened shape depending on the alignment of the constituting minerals (usually phyllosilicates). On the other hand, the fragments of metamorphic rocks, whatever their specific lithology, are normally characterised by elongated and often flattened shapes with sharp edges, which reflect both the physical characteristics of the rock they are derived from and the environment and processes of their formation. These are regolith materials resulting from the mechanical shattering of the substrate rocks, which have not been subject to transport but were deposited near their parent rocks. The great majority of the rocks examined reveal their origin starting from metamorphic protoliths. The mineral percentages of both the rock fragments accumulated on the hilltop and the erratic fragments found along the slopes are very similar (>80-85%). This shows that they were probably associated in nature and therefore had the same origin.

The data relative to the size of the rock fragments lead to similar conclusions. The graph of Fig. 10, which displays the sample percentages as a function of their size class, shows practically equal trends of relative abundance for both the materials accumulated on the hilltop and those present along the slopes. These data statistically demonstrate that all the samples taken into account belong to the same rock population, pointing to our hypothesis on the provenance of the material and the role of man in its transport and construction of the vitrified structure.

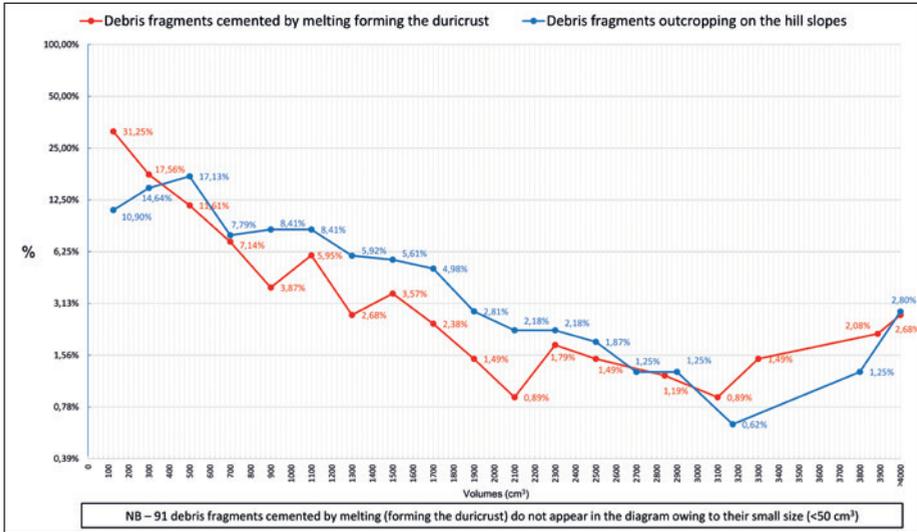


Fig. 10 – Percentages of the examined samples as a function of their volume (expressed in cm³).

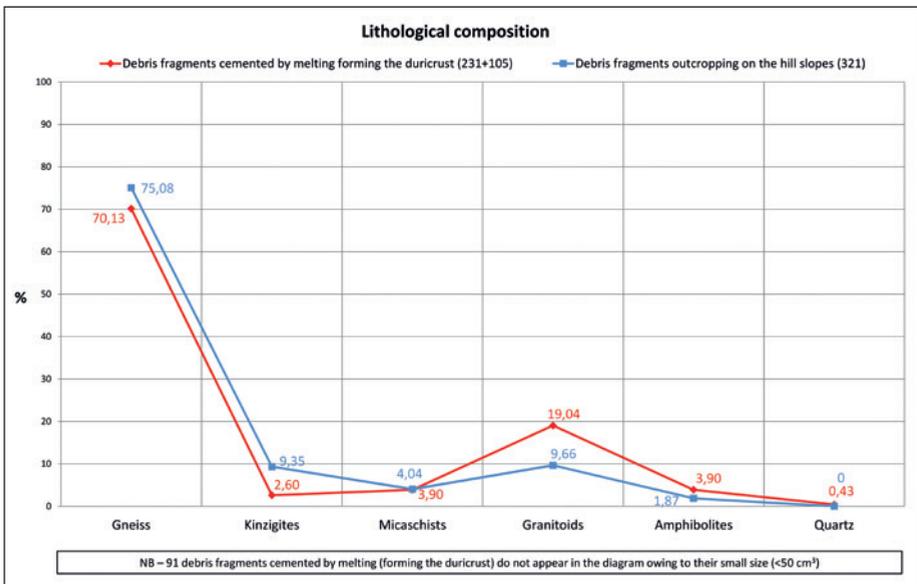


Fig. 11 – Percentages of the examined samples as a function of their lithological composition.

The unidirectional, elongated, flat development with sharp edges shown by the great majority of the rock debris (>80%) making up the vitrified structure, is perfectly compatible with the characteristics of the loose erratic material present along the Mt. Serravuda slopes. The litho-petrographic characterisation of the rock fragment samples also leads to similar conclusions. The petrographic types found in the material utilised for constructing the vitrified structure are practically identical to those of the loose erratic lithic fragments present along the hill slopes (cf. Fig. 11). Therefore, the results of this research clearly demonstrate the role of humans in selecting, collecting and transporting rock material to the hilltop in order to build a properly developed structure, both horizontally and vertically, though its purposes are still to be defined as is its vitrification.

## **6. Purpose of Mt. Serravuda structure and insights on the vitrification process**

Once the role of man has been established in the accumulation of rock pieces on top of Mt. Serravuda for the construction of a structure, the reason why it was built should be discussed. At this point, it would be of paramount importance to obtain information about the age of this construction. According to Bertolani (1972), there is morphological and technological evidence about its being ancient and the considerable presence of vitrified material seems to confirm its anthropogenic origin, probably related to archaeo-metallurgic or ceramic production. At present, there are not enough reliable data to confirm or refute this hypothesis. Preliminary dating by means of thermo-luminescence on fragments of vitrified rocks from this construction points to relatively ancient ages, ranging between the mid-Bronze and early Iron Age. In any case, the antiquity of the Mt. Serravuda structure would also be proved by the presence of ceramic artefacts going back to the IV-II century BCE (Foggia *et al.*, 2023). They bear witness to the presence of populations that were in contact and had commercial exchanges with other peoples settled in the Sybaris coastal area (Ionian Sea). If these ages are definitely confirmed, information on the possible purposes of this structure might be provided by construction techniques on a hilltop and its shape.

As we previously discussed, the spatial distribution of rock debris on the Serravuda hilltop confirms that a vertically developed structure was built, forming a sort of long and continuous wall on the northern margin of the flattened surface. Based on our recent surveys of vitreous material found along the southern slope of the hill, it results that this man-made structure extends also on the southern margin of the hilltop, thus forming an almost complete ring-shaped construction. The size and shape of this structure, the building

technique used and its location on top of a hill points to an affinity with “wall circuits”, which were fortifications mainly built during the early Iron Age in central and southern Italy (Gualtieri, 1987).

If the hypothesis that the Serravuda construction is an exclusively defensive structure, the rock vitrification could not be ascribed to other specific human activities such as ceramic or archaeo-metallurgic productions. In this case, the interpretation of how the vitrification process occurred would still be problematic. At present, the only defensive structures built in ancient times that underwent vitrification are “vitrified forts”, which are widespread over a very vast area of continental and insular Europe, stretching in a W-E trend from Portugal to Poland. These fortified structures, though, are much more recent (from the early Iron Age to the Middle Ages) than the Serravuda construction. In addition, techniques based on the intentional use of timber fuel to ignite fires and cause rock vitrification were used for their construction. Yet these techniques were unknown in the case of the defensive structures built in earlier periods in central-southern Italy, as in the case of Serravuda, and in other areas of the south Mediterranean.

Therefore, the origin of this construction is a unique case that remains enigmatic to date. In order to solve this problem, other aspects need to be considered such as the presence of large amounts of timber on the construction site, the causes of its combustion and the role that man might have exerted in these processes.

### **Acknowledgements**

*We wish to thank archaeologist Dr Massimo Di Salvatore for his useful advice and contribution in carrying out this research. We also thank Professor Andrea Mary Lord for revising the English text.*

### **Bibliography**

- AMODIO-MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARRETA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI E., ZUPPETTA A., 1976 – *L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., **17**, pp. 1-60.
- BERTOLANI M., 1972 – *An enigmatic outcrop of vitrified rocks near Acri (Cosenza)*. Boll. Soc. Geol. It., **91**, pp. 683-692.
- BERTOLANI M., FOGGIA F., 1975 – *La Formazione kinzigitica della Sila Greca*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, pp. 329-345.
- BORRELLI L., CRITELLI S., GULLÀ G., MUTO F., 2011 – *Rilievo del grado di alterazione delle rocce cristalline. Presentazione della carta del grado di alterazione e dei movimenti di massa della porzione centro-occidentale del bacino del F. Mucone (Calabria)*. “Geologi Calabria”, **11**, pp. 3-46, Catanzaro.
- DEWEY J.F., HELMAN M.L., TURCO E., HUTTON D.H.W., KNOTT S.D., 1989 – *Kinematics of the western Mediterranean*. Special Publication, Vol. **45**, pp. 245-283, Geological Society, London.

- ELMI C., CIPRIANI A., LUGLI F., SIGHINOLFI G.P., 2021 – *Insights on the origin of vitrified rocks from Serravuda, Acri (Italy): rock fulgurite or anthropogenic activity?* Geosciences, **11**, pp. 1-14.
- FOGGIA F., 1971 – *Reperti archeologici provenienti dalla località Serra di Buda (Acri) di età II o III sec. a.C.* Tesina di laurea a. a. 1970-71, Università di Modena (unpublished text).
- FOGGIA F., SIGHINOLFI G.P., TOSATTI G., 2023 – *Preliminary remarks on ceramic finds from the IV-II century BCE recovered at the Serravuda site (Acri, Calabria, Italy)*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **154**, pp. 157-172.
- GALLI A., SALEH M., FOGGIA F., SIGHINOLFI G.P., 2024 – *Tracing the Origins of an Anthropic Vitrified Structure with “Pre-Bleached with Blue LED” Thermoluminescence Dating: The Enigmatic Serravuda Hilltop Fortification in Calabria, Italy*. Appl. Sci., **14**(11), 4504.
- GUALTIERI M., 1987 – *Fortifications and Settlement Organization: an example from pre-Roman Italy*. World Archaeology, **19**, pp. 30-46, Taylor & Francis, Ltd.
- KNOTT S.D., TURCO E., 1991 – *Late Cenozoic kinematics of the Calabrian Arc, southern Italy*. Tectonics, **10**, pp. 1164-1172.
- MALINVERNO A., 2012 – *Evolution of the Tyrrhenian Sea-Calabrian Arc system: The past and the present*. Soc. Geol. It., **21**, pp. 11-15, Rende (CS).
- MESSINA A., RUSSO S., BORGHI A., COLONNA V., COMPAGNONI R., CAGGIANELLI A., FORNELLI A., PICCARRETA G., 1994 – *Il Massiccio della Sila, settore settentrionale dell’Arco calabro-peloritano*. Boll. Soc. Geol. It., **113**, fasc. 3, pp. 539-586.
- SIGHINOLFI G.P., FOGGIA F., TOSATTI G., 2022 – *Further insights on the origin of the vitrified rock structure of Serravuda (Acri, Calabria, Italy)*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **153**, pp. 143-148.
- SIGHINOLFI G.P., DI SALVATORE M., FOGGIA F., TURANO G., 2023 – *Preliminary results of a multidisciplinary study on the anthropogenic vitrified rock structure of Serravuda (Acri, Calabria, Italy)*. In: SIMP, SGI, SOGEI, AIV Joint Congress “The Geoscience Paradigm: resources, risk and future perspectives” (Abstract), 19-21 September 2023, Potenza, p. 154.
- TORTORICI L., MONACO C., TANSI C., COCINA O., 1995 – *Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy)*. Tectonophysics, **243**(1-2), pp. 37-55.





**Fulvio Baraldi\***

## **Segnalazione dell'icnofossile *Scolicia strozzii* in una pavimentazione stradale ad Alberoni, Lido di Venezia**

### ***Riassunto***

*Nella parte sud-occidentale del Lido di Venezia, sulla banchina che corre lato laguna a fianco della pista ciclabile tra Alberoni e Punta Rocchetta, sono state utilizzate come materiale di pavimentazione delle lastre di natura arenaceo-marnosa, sulle quali sono rinvenibili tracce dell'icnofossile *Scolicia strozzii*. Si tratta di tracce di locomozione, da attribuirsi a echinidi irregolari. Non è nota la loro provenienza, tuttavia questi icnofossili possono essere oggetto di studi specialistici, di attività didattiche o di turismo culturale.*

### ***Abstract***

*Report of the ichnofossil *Scolicia strozzii* in a pavement at Alberoni, Lido of Venice. In the southwestern part of Lido of Venice, on the quay that runs along the lagoon, next to the cycle path between Alberoni and Punta Rocchetta, arenaceous-marly slabs were used as paving material, on which traces of the ichnofossil *Scolicia strozzii* can be found. These are traces of locomotion, to be attributed to irregular echinoids. Their provenance is not known; however, these trace fossils can be the subject of specialist studies, educational activities or cultural tourism.*

***Parole chiave:*** *Icnofossili, Scolicia, Scolicia strozzii, echinidi irregolari, Alberoni, Lido di Venezia*

***Keywords:*** *Trace fossils, Scolicia, Scolicia strozzii, Irregular echinoids, Alberoni, Lido of Venice, Italy*

---

\* Geologo, Via F.lli Bandiera 33, 46100 MANTOVA; e-mail: baraldi.geologo@gmail.com.

## 1. Premessa

Gli icnofossili di organismi marini invertebrati sono testimonianze fossilizzate della loro attività biologica, conservate come strutture sedimentarie sulla superficie o all'interno degli strati. Secondo la disciplina che le studia, la paleoicnologia, le tracce fossili vengono suddivise in categorie etologiche in base alla funzione delle strutture lasciate sulle rocce. Inizialmente le categorie erano cinque (Seilacher, 1964), poi ampliate a nove. Secondo Raffi & Serpagli (1996) si possono distinguere: *Domichnia*, strutture di abitazione; *Fodinichnia*, strutture di nutrizione; *Pascichnia*, tracce di pascolo; *Agrichnia*, strutture e trappole agroalimentari; *Cubichnia*, tracce di riposo; *Repichnia*, tracce di locomozione; *Equilibrichnia*, strutture di riequilibrio; *Fugichnia*, strutture di fuga; *Praedichnia*, tracce di predazione.

Gli icnofossili rappresentano entità sia paleontologiche che sedimentologiche e, come tali, sono importanti indicatori paleoecologici e paleoambientali nel registro geologico in quanto sono conservati *in situ* o nella posizione lasciata dall'organismo che li ha prodotti. Il loro studio è uno strumento molto utile per la comprensione del significato ambientale dei depositi bioturbati, in quanto la traccia di un organismo è una struttura prodotta in stretto contatto con il sedimento (Monaco & Caracuel, 2007). A tale proposito si è sviluppato il concetto di *ichnofacies* (Seilacher, 1967), basato originariamente sull'osservazione che alcuni dei parametri che controllano la distribuzione delle tracce tendono a cambiare progressivamente con l'incremento della profondità (Fig. 1).

Le *ichnofacies* riflettono l'adattamento degli organismi bioturbatori ai fattori ambientali quali: tipo di substrato, rifornimento di cibo, energia idrodinamica, salinità, torbidità delle acque, tasso di sedimentazione, temperatura e ossigenazione (Seilacher, 1967); le *ichnofacies* aiutano inoltre a delineare strati geneticamente correlati e a identificare i confini delle facies (MacEachern *et al.*, 2012).

In generale, le tracce generate in acque poco profonde sono verticali, quelle in acque più profonde sono orizzontali. Sono state riconosciute in letteratura, per quanto riguarda gli organismi marini e continentali invertebrati, nove *ichnofacies*: *Scoyenia*, *Trypanites*, *Teredolites*, *Glossifungites*, *Psilonichnus*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos*, *Nereites* (Fig. 1); ciascuna di esse è rappresentata da un icnogenere.

Un altro modo per classificare le tracce fossili è quello di esaminare la loro relazione con il sedimento di origine, stabilendo quindi una classificazione toponomica. Martinsson (1970) ha fornito il sistema più ampiamente accettato, identificando quattro classi distinte di tracce (Fig. 2): *Epichnia*, tracce che si trovano sulla parte superiore degli strati di origine; *Endichnia*, tracce che si trovano interamente all'interno dello strato, e quindi possono essere state fatte solo da un organismo infaunale; *Hypichnia*, creste e scanalature che si trovano

alla base degli strati; *Exichnia*, tracce di materiale diverso dal mezzo circostante, essendo state attivamente riempite da un organismo o erose e ricoperte da un sedimento differente.

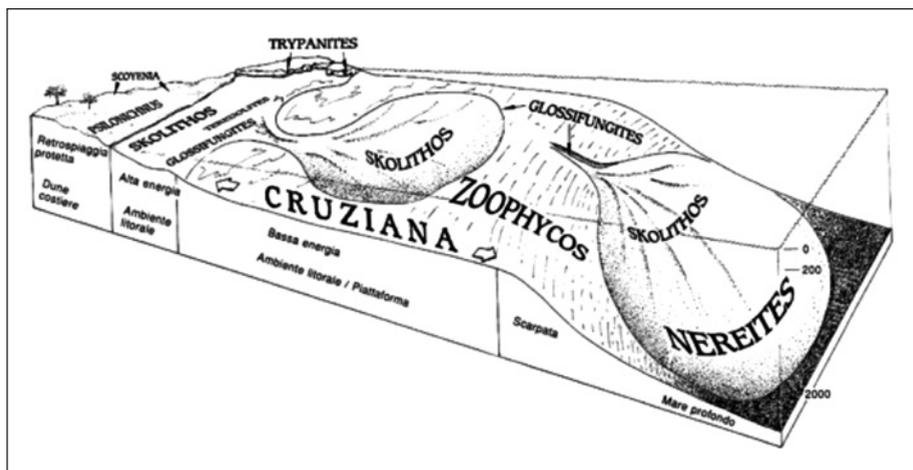


Fig. 1 – Principali ichnofacies e loro distribuzione batimetrica (da Raffi & Serpagli, 1996).

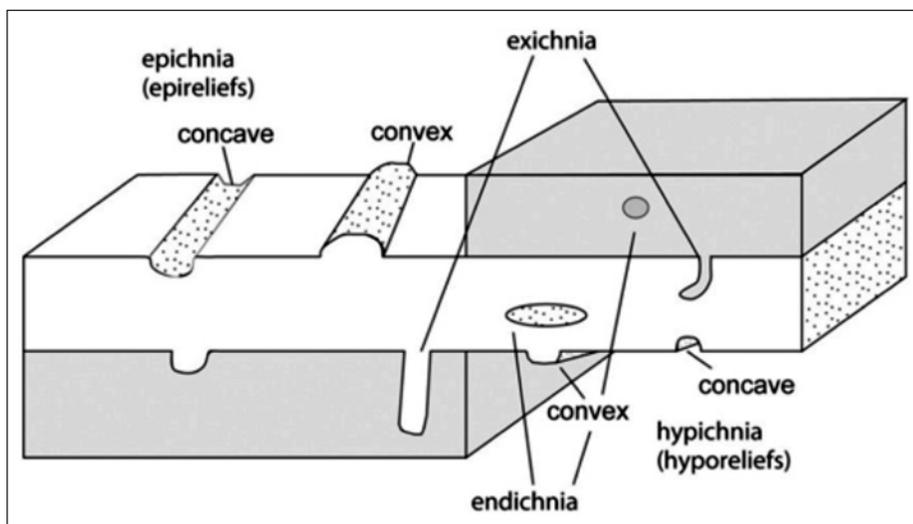


Fig. 2 – Classificazione toponomica di Martinsson, 1970 (da Cummings & Hodgson, 2011).

Un riferimento importante, per lo studio delle tracce fossili di invertebrati sia marini che continentali, si deve ad Adolf Seilacher (1925-2014), maestro universalmente riconosciuto di paleoicnologia, che in una sua pubblicazione riporta, in 75 tavole grafiche e 43 fotografie, innumerevoli esempi di icnofossili studiati in tutto il mondo (Seilacher, 2007). A Dirk Knaust si deve pure un importante atlante di tracce fossili ritrovate in carotaggi e affioramenti (Knaust, 2017).

Lo studio sistematico e scientifico degli icnofossili, databile a partire dai primi anni del XIX secolo, tuttora impegna numerosissimi ricercatori in tutto il mondo (MacEachern *et al.*, 2012; Baucon, 2013). La paleoicnologia si è inoltre recentemente arricchita di settori specifici, quali l'archoicnologia e l'astroicnologia; ad esempio, per quanto riguarda quest'ultima, recentemente sono state osservate sul pianeta Marte, nei depositi fluvio-lacustri del crinale "Vera Rubin", strutture simili a bastoncini per le quali, anche se l'analogia morfologica riscontrata non implica necessariamente biogenicità e sarà pertanto necessario procedere ad ulteriori verifiche, è stata ipotizzata l'attribuzione a icnofossili (Baucon *et al.*, 2020a).

L'attribuzione delle tracce fossili viene generalmente eseguita comparandole con quelle lasciate da organismi simili attuali; in particolare, nel caso di *Scolicia*<sup>1</sup>, la comparazione avviene con gli echinodermi spatangidi che si muovono su terreni morbidi e lasciano tracce molto caratteristiche, costituite da un solco mediano circondato da bordi laterali rilevati, una sorta di aratura della superficie lungo la quale questi organismi si muovono. Lo scavo del solco e la stabilità dello scavo sono garantiti rispettivamente da spine escavatrici e compattanti specializzate; la sezione trasversale schematica per il genere *Scolicia* può essere indicata come in Fig. 3.

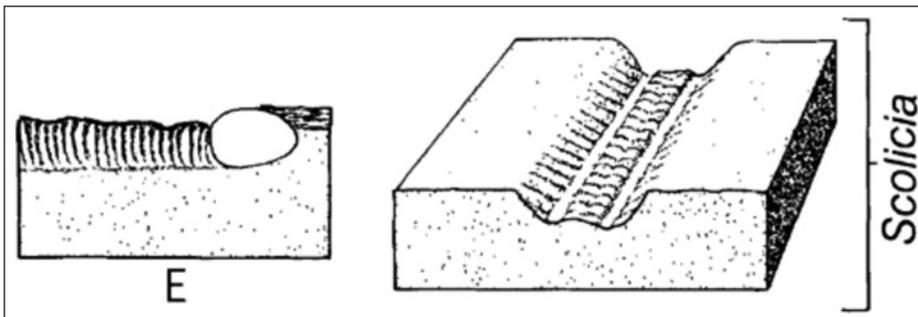


Fig. 3 – Sezione trasversale schematica di *Scolicia* (da Smith & Crimes, 1983).

<sup>1</sup> *Scolicia* de Quartrefages, 1849 è un parataxon di icnofossili presenti nelle rocce sedimentarie di facies marine, marginali lacustri, alluvionali o fluviali. Queste tracce fossili compaiono in un'ampia gamma geologica, dal Cambriano ai giorni nostri.

## 2. Gli studi italiani sugli icnofossili

Già nell'antichità studiosi italiani avevano intuito l'essenza degli icnofossili: Andrea Baucon ha analizzato gli studi sulle tracce fossili compiuti da Ulisse Aldrovandi (Baucon, 2009); lo stesso autore ha studiato sistematicamente i codici di Leonardo da Vinci, scoprendo un passo dimenticato del Codice Leicester, dove Leonardo descrive curiose forme nella pietra, interpretandole correttamente come icnofossili, ossia come tracce fossilizzate del movimento di antichi animali (Baucon, 2010).

Anche nella letteratura di viaggio le tracce fossili sono citate nei resoconti personali che narrano le esperienze di viaggio; tra questi si possono ricordare, ad esempio, il viaggio in Dalmazia di Alberto Fortis (Fortis, 1774) e, quasi un secolo dopo, Giovanni Capellini, il quale descrisse dettagliatamente, a seguito del suo viaggio in America Settentrionale nel 1863, gli icnofossili donati da Edward Hitchcock al museo Stony Library di Amherst in Massachusetts (Capellini, 1867).

Si può ricordare, ancora, che tracce fossili di molluschi litodomi sulle colonne del Tempio di Serapide (poi riconosciuto come mercato) di Pozzuoli, nell'area dei Campi Flegrei, consentirono a Charles Lyell di ipotizzare graduali movimenti verticali del suolo (bradisismo); egli utilizzò un'immagine delle colonne nel frontespizio della sua opera fondamentale *Principles of Geology* (Lyell, 1830-33).

È assodato che l'Italia è stata una delle culle della paleoicnologia degli invertebrati; in effetti, alcuni dei più famosi icnogenieri, come *Paleodictyon* (Savi & Meneghini, 1850), *Paleomeandron* (Peruzzi, 1881), *Taphrhelminthopsis* (Sacco, 1888), *Urohelminthoida* (Sacco, 1888), *Lorenzina* (Gabelli, 1900), furono definiti da paleontologi italiani più di un secolo fa (Serpagli, 2005).

Da tempo sono in corso molti studi specifici regionali: in passato Federico Sacco si interessò di tracce fossili, presenti in Piemonte, individuandone l'origine organica (Sacco, 1886); Ardito Desio studiò le tracce fossili, da lui definite "vestigia problematiche", osservate in Toscana (Desio, 1923) e in Libia (Desio, 1940), oltre che interessarsi della corretta nomenclatura da attribuire agli icnofossili (Desio, 1950). Ancora, il naturalista Georg Gasser (1857-1931) alla fine del XIX secolo riunì una ricca collezione paleontologica, che comprendeva numerose tracce fossili; la collezione è conservata presso il Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige, a Bolzano, ed è composta da 56 esemplari di tracce fossili recentemente studiate da Baucon *et al.* (2022).

Per l'attualità, ad esempio, nei dintorni del Passo di Pramollo, un valico alpino delle Alpi Carniche orientali, all'interno del territorio del comune di Pontebba (UD), è segnalato uno dei maggiori icnodepositi paleozoici delle Alpi, meritevole di tutela tramite l'istituzione di una *ichnolagerstätte*<sup>2</sup> (Baucon *et*

<sup>2</sup> Una *ichnolagerstätte* è un giacimento di rilevanza scientifica di numerosi icnofossili e, in quanto tale, area protetta.

al., 2008); al Monte Linare (Gioiosa Ionica, Calabria meridionale), in depositi oligo-miocenici sono state riscontrate e studiate tracce fossili di *Scolicia prisca* (Caruso & Sonnino, 2011); ancora, Enrico Serpagli ha segnalato nei sedimenti del Cretaceo superiore dell'Appennino modenese, nei pressi di Prignano, una nuova traccia fossile radiale, probabilmente da attribuirsi a piccoli crostacei, per la quale è stato istituito un nuovo taxon: *Atollites italicum* ichnosp. nov. (Serpagli, 2005).

### 3. L'icnofossile *Scolicia*

In Italia, i primi esemplari di *Scolicia* furono scoperti intorno alla metà del XIX secolo dal marchese Carlo Strozzi nelle sue proprietà in località Pontassieve (FI) e dallo stesso donati in gran numero al Museo geologico di Pisa; per varie vicende, non ultime il bombardamento della vecchia sede del museo durante la Seconda Guerra mondiale, la maggior parte dei reperti è andata perduta.

Questi reperti (Fig. 4) furono oggetto di studio da parte di Savi & Meneghini (1850), che istituirono la specie *Nemertilites*: «...non potendosi riportare che ad un gigantesco verme marino assai analogo a quelli viventi del genere *Nemertes*...».

Gli esemplari di Pontassieve vennero tutti riferiti da Savi & Meneghini (1850) ad un'unica specie denominata, in onore dello scopritore, *Nemertilites strozzi*; secondo questi autori si sarebbe trattato non di una impronta fisiologica dell'organismo, ma bensì dello stesso organismo fossilizzato, considerato come un verme marino gigante. Gli studi successivi misero in evidenza che si trattava di una pista fossile dovuta all'attività fisiologica di organismi marini, quali Echinidi irregolari (Quatrefages, 1849; Smith & Crimes, 1983).

Lo studio di Savi & Meneghini venne ripreso da Ragaini (1988), dal quale si cita: «*La traccia, che si sviluppa su una lastra calcarenitica di oltre due metri quadrati di superficie per uno spessore di pochi centimetri, raggiunge globalmente una estensione di quasi undici metri. È composta da sette "tronchi" di lunghezza assai variabile che nel loro percorso presentano tre punti di intersezione. La struttura si è conservata in iporilievo positivo, cioè come un semirilievo convesso localizzato sulla superficie inferiore dello strato. La morfologia della pista si mantiene pressoché costante per tutto il suo sviluppo ed è rappresentata da un rilievo lineare con andamento sinuoso a meandri irregolari, la cui larghezza varia da 30 a 37 mm mentre l'altezza massima, rispetto alla superficie della lastra, raggiunge i 17 mm. La traccia, che possiede una simmetria bilaterale in senso longitudinale, è caratterizzata da una struttura bilobata per la presenza di un solco centrale di larghezza variabile da 5 a 7 mm e con una profondità massima di 4 mm. La superficie della traccia si presenta liscia*».



Fig. 4 – Tracce di *Scolicia strozzii* conservate presso il Museo geologico di Pisa (Ragaini, 1988).

Ragaini indicò le tracce fossili come appartenenti a *Scolicia strozzii* e, sulla base dei precedenti studi di Ward & Lewis (1975), Seilacher (1977), Frey & Seilacher (1980) e Smith & Crimes (1983), le attribuì a tracce di locomozione di Echinodermi irregolari spatangoidi.

*Scolicia* è comune in depositi marini profondi appartenenti all'ichnofacies delle *Nereiti* e in ambienti marini poco profondi assegnabili all'ichnofacies *Cruziana*; preferisce ambienti sabbiosi o limosi, ricchi di sostanza organica.

#### 4. Icnofossili ad Alberoni (VE)

Nella parte sud-occidentale dell'isola Lido di Venezia in località Alberoni, Via Strada Nova (Fig. 5), sulla banchina che corre lato laguna a fianco della pista ciclabile tra Alberoni e Punta Rocchetta (quest'ultima sede dell'imbarcadero

del vaporetto che porta a Chioggia), sono state utilizzate come materiale di pavimentazione delle lastre di arenaria marnosa a granulometria media e di colore giallo-bruno, sulle quali sono rinvenibili tracce di icnofossili (*ichnofabrics*); il tratto interessato è lungo, con qualche interruzione, circa 150 m, le lastre di ricoprimento sono di forma sub-rettangolare, con dimensione minima di 50-70 cm. L'opera è stata eseguita più di quindici anni fa e non è risultato possibile accertare la provenienza delle lastre con presenza di icnofossili.



Fig. 5 – Ubicazione del tratto di banchina con icnofossili, linea gialla intera tra pallini gialli (a sinistra da Google Earth; a destra da Comune di Venezia).

Su tutte le lastre utilizzate per la pavimentazione gli icnofossili sono assai numerosi, variamente conservati e attribuibili in gran parte a tracce di locomozione, la cui categoria etologica viene denominata *Repichnia* (Fig. 6). La maggior parte delle tracce sono meandriche e quella di maggior lunghezza misura complessivamente 80 cm circa. Le tracce meandriche presentano una larghezza media di 3 cm, possiedono una netta simmetria bilaterale in senso longitudinale, sono caratterizzate dalla presenza di un solco centrale, di larghezza variabile da 0,8 a 1,1 cm e con una profondità massima di 4-6 mm, circondato da due bordi laterali simmetrici e paralleli rilevati di 1-1,2 cm. La tendenza a divagare, creando o meno meandri, dipende molto probabilmente dal valore nutritivo del substrato su cui l'organismo si muoveva (Uchman, 1998). Sulla base di confronti con altre strutture simili (Leszczyński, 2003; Monaco & Caracuel, 2007; MacEachern *et al.*, 2012; Šamánek *et al.*, 2022), le

tracce presenti ad Alberoni possono essere assegnate al gruppo degli icnofossili, icnogenere *Scolicia*, icnospecie *strozzii*.

Si può rammentare che al genere *Scolicia* appartengono pure *Scolicia prisca* (Quatrefages, 1849; Häntzschel, 1962; Książkiewicz, 1977), *Scolicia plana* (Książkiewicz, 1970) e *Scolicia vertebralis* (Książkiewicz, 1977; Monaco & Checconi, 2010).

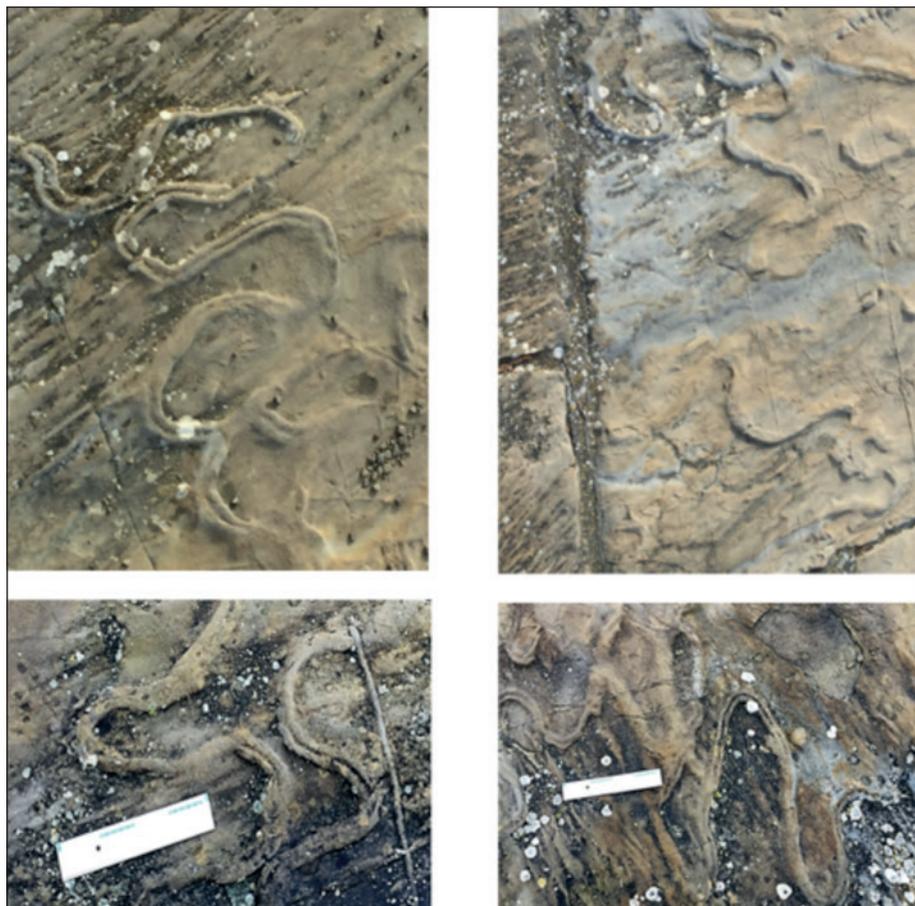


Fig. 6 – Icnofossili ad Alberoni, Lido di Venezia (righello di 22 cm; foto Baraldi).

Altre strutture di bioturbazione, presenti sulla pavimentazione, sono prive di solco mediano ma probabilmente da attribuirsi anch'esse al genere *Scolicia*. Attualmente sono disponibili molti studi inerenti alle tracce fossili di

*Scolicia strozzii*; le immagini riportate in queste pubblicazioni, ad esempio Uchman (1998) e Monaco (2022), richiamano quelle individuate in località Alberoni al Lido di Venezia (Fig. 7).

L'attività biologica locomotoria dello *Spatangus purpureus* attuale, che appartiene al *phylum* degli Echinodermi, alla classe degli Echinoidei e alla sotto-classe degli Irregolari, può dare l'idea delle modalità di tracciamento dei solchi e dei lobi laterali (Fig. 7).

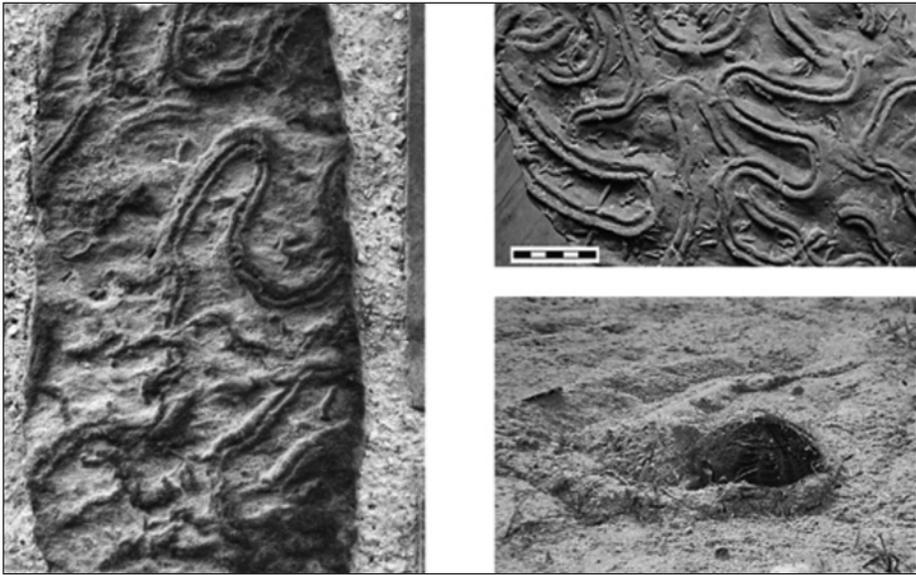


Fig. 7 – A sinistra tracce fossili di *Scolicia strozzii*, su pavimentazione nella città di Nocera Umbra (Monaco, 2022). In alto a destra tracce fossili di *Scolicia strozzii*, la scala è 5 cm (MacEachern et al., 2012); in basso a destra la traccia lasciata dall'attuale echinide irregolare *Spatangus purpureus* (<http://www.aiamitalia.it/>).

Le pietre da costruzione sedimentarie, sia per rivestimento di edifici che per pavimentazioni stradali particolari, sono frequentemente ricche di fossili. L'interesse per questi reperti si è concentrato in passato principalmente sui fossili di vertebrati, oppure invertebrati muniti di guscio, mentre, al contrario, poca attenzione è stata posta al valore geologico e paleontologico degli *ichnofabrics*, ossia gli strati sedimentari che sono stati bioturbati e rielaborati da organismi invertebrati. Esempi di questo tipo di studi sulle pietre da costruzione si possono ritrovare, ad esempio, per le città di Genova (Baucon et al., 2020b) e di Nocera Umbra (Monaco, 2022).

L'esposizione a cielo aperto di icnofossili ben conservati lungo una pista ciclabile ad Alberoni, così come di numerose ammoniti nei massi calcarei che costituiscono le opere di difesa marina presenti in tutto il Lido di Venezia, possono costituire materiale di studio specialistico, come pure di attività didattiche rivolte alle scuole, o di turismo culturale.

### Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Cesare Andrea Papazzoni per la lettura critica del testo e gli utili suggerimenti, nonché il Professor Giovanni Tosatti per la cura dell'editing e l'aggiunta di alcune note.

### Bibliografia

- BAUCON A., 2009 – *Ulisse Aldrovandi (1522–1605): the study of trace fossils during the Renaissance*. *Ichnos*, **16**(4), pp. 245-256.
- BAUCON A., 2010 – *Leonardo da Vinci, the founding father of Ichnology*. *Palaios*, **25**, pp. 361-367.
- BAUCON A., 2013 – *Network theory in ichnology: from behavioural topology to the depositional environment*. Ph. D. Thesis, Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Ciclo XXVI, Scuola di Dottorato Terra, Ambiente e Biodiversità, Università di Milano, 73 pp.
- BAUCON A., NETO DE CARVALHO C., 2008 – *From the river to the sea: Pramollo, a new ichnolagerstätte from the Carnic Alps (Carboniferous, Italy-Austria)*. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Geol.*, **83**, pp. 87-114.
- BAUCON A., NETO DE CARVALHO C., FELLETTI F., CABELLA R., 2020a – *Ichnofossils, Cracks or Crystals? A Test for Biogenicity of Stick-Like Structures from Vera Rubin Ridge, Mars*. *Geosciences*, **10**(2), 39.
- BAUCON A., BONCI M.C., BRIGUGLIO A., CABELLA R., CAPPONI L., NETO DE CARVALHO C., PIAZZA M., 2020b – *Buildings that 'Speak': Ichnological Geoheritage in 1930s Buildings in Piazza della Vittoria (Genova, Italy)*. *Geoheritage*, **12**(3).
- BAUCON A., TOMELLERI I., KUSTATSCHER E., 2022 – *The ichnological collection of Georg Gasser (1857-1931): between fucoids and trace fossils*. *Geol. Alp.*, **19**, pp. 153-163.
- CAPELLINI G., 1867 – *Ricordi di un viaggio scientifico nell'America settentrionale nel 1863*. Tipografia Giuseppe Vitali, Bologna.
- CARUSO C., SONNINO M., 2011 – *Osservazioni sedimentologiche ed icnologiche sulla Formazione di Stilo-Capo d'Orlando (Oligo-Miocene) nell'area di Monte Linare (Gioiosa Ionica, Calabria meridionale)*. *Rend. online Soc. Geol. It.*, **17**, pp. 41-46.
- CUMMINGS J.P., HODGSON M.H., 2011 – *Assessing controls on the distribution of ichnotaxa in submarine fan environments, the Basque Basin, Northern Spain*. *Sedimentary Geology*, **239**(3-4), pp. 162-187, Elsevier.
- DESIO A., 1923 – *Sopra una Lorenzina del Flysch dei dintorni di Firenze*. *Rivista Ital. Paleont.*, anno XXIX, fasc. I-II.
- DESIO A., 1940 – *Vestigia problematiche paleozoiche della Libia*. *Annali Museo Libico di Storia Naturale*, vol. II.
- DESIO A., 1950 – *Sulla nomenclatura delle vestigia problematiche fossili*. *Rivista Ital. Paleont.*, vol. LVI, n. I.
- FORTIS A., 1774 – *Viaggio in Dalmazia*. Presso Alvise Milocco, Venezia.
- FREY R.W., SEILACHER A., 1980 – *Uniformity in marine invertebrate ichnology*. *Lethaia*, **13**(3), pp. 183-207, Wiley.
- GABELLI L., 1900 – *Sopra un'interessante impronta medusoide*. *Il Pensiero Aristotelico nella Scienza Moderna*, anno I, fasc. II.
- HÄNTZSCHEL W., 1962 – *Trace fossils and problematica*. In: R.C. Moore (ed.) "Treatise on Invertebrate Paleontology", part W, Misc., Geol. Soc. of America, New York and University of Kansas Press, W177-W245.

- KNAUST D., 2017 – *Atlas of Trace Fossils in Well Core. Appearance, Taxonomy and Interpretation*. Springer Nature, 209 pp.
- KSIĄZKIEWICZ M., 1970 – *Observations on the ichnofauna of the Polish Carpathians*. In: T.P. Crimes & J.C. Harper (eds.) “Trace Fossils”, Geological Journal Special Issue, n. 3, Seel House Press, Liverpool.
- KSIĄZKIEWICZ M., 1977 – *Trace fossils in the flysch of the Polish Carpathians*. *Palaeontologica Polonica*, **56**, 274 pp.
- LESZCZYŃSKI S., 2003 – *Bioturbation structures in the Holovnia Siliceous Marls (Turonian-Lower Santonian) in Rybotyceze (Polish Carpathians)*. *Annales, Societatis Geologorum Poloniae*, **73**, pp. 103-122.
- LYELL C., 1830-1833 – *Principles of Geology*. John Murray, London.
- MACEachern J.A., BANN K.L., GINGRAS M.K., ZONNEVELD J.P., DASHTGARD S.E., PEMBERTON S.G., 2012 – *The Ichnofacies Paradigm*. In: D. Knaust & R.G. Bromley (eds.) “Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments”, *Developments in Sedimentology*, **64**, pp. 103-138, Elsevier.
- MARTINSSON A., 1970 – *Toponomy of trace fossils*. In: T.P. Crimes & J.C. Harper (eds.) “Trace fossils”, Geological Journal Special Issue, n. 3, Seel House Press, Liverpool.
- MONACO P., 2022 – *Ichno Italia. L'ichnologia italiana*. <https://www.facebook.com/people/Ichno-Italia-L'ichnologia-italiana/100079803618120/>.
- MONACO P., CARACUEL J.E., 2007 – *Il valore stratigrafico delle tracce fossili negli strato-evento (event-bed) del registro geologico: esempi significativi da Italia e Spagna*. Studi e Ricerche, Associazione Amici del Museo, Museo Civico “G. Zannato”, Montecchio Maggiore (Vicenza), **14**, pp. 43-60.
- MONACO P., CHECCONI A., 2010 – *Taphonomic aspects of the Miocene Ichnofossil-Lagerstätte from calcarenite turbiditic beds in the Verghereto marls formation (Northern Apennines, Italy)*. *Rivista Italiana di Paleontologia*, **116**(2), pp. 237-252.
- PERUZZI D.G., 1881 – *Osservazioni sui generi Paleodictyon e Paleomenadron dei terreni cretacei ed eocenici dell'Appennino settentrionale e centrale*. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Memorie*, **5**.
- QUATREFAGES M.A. (DE), 1849 – *Note sur la Scolicia prisca (A. de Q.) Annélide fossile de la craie*. *Annales des Sciences Naturelles, série 3, Zoologie*, **12**.
- RAFFI S., SERPAGLI E., 1996 – *Introduzione alla Paleontologia*. Collana “Scienze della Terra”, UTET, Torino.
- RAGAINI L., 1988 – *Sull'appartenenza di Nemertilites strozzii Savi e Meneghini all'icnogenere Scolicia De Quatrefages*. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Memorie*, **95**, Serie A, pp. 221-230.
- SACCO F., 1886 – *Intorno ad alcune impronte organiche dei terreni terziari del Piemonte*. *Atti R. Accademia delle Scienze di Torino*, vol. **XXI**.
- SACCO F., 1888 – *Note di Paleoicnologia Italiana*. *Soc. It. di Sc. Nat., Atti*, **31**.
- ŠAMÁNEK J., VALLON L., MIKULÁŠ R., VACHEK M., 2022 – *A glimpse into ancient food storage: Sequestrichnia and associated nucleocave Chondrites from Eocene deep-sea deposits*. *Acta Palaeontologica Polonica*, **67**(3), pp. 767-779.
- SAVI P., MENEGHINI G.G., 1850 – *Osservazioni stratigrafiche e paleontologiche concernenti la geologia della Toscana e dei paesi limitrofi*. In: R.I. Murchison (ed.) “Memoria sulla struttura geologica delle Alpi, degli Appennini e dei Carpazi”, Stamperia Granducale, Firenze.
- SEILACHER A., 1964 – *Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils*. *Sedimentology*, **3**.
- SEILACHER A., 1967 – *Bathymetry of trace fossils*. *Marine Geology*, **5**, Issues 5-6.
- SEILACHER A., 1977 – *Pattern analysis of Paleodictyon and related trace fossils*. In: T.P. Crimes & J.C. Harper (eds.) “Trace fossils”, Geological Journal Special Issue, n. 3, Seel House Press, Liverpool.
- SEILACHER A., 2007 – *Trace Fossil Analysis*. Springer Verlag, Berlin, 226 pp.
- SERPAGLI E., 2005 – *First record of the ichnofossil Atollites from the Late Cretaceous of the Northern Apennines, Italy*. *Acta Palaeontologica Polonica*, **50**(2), pp. 403-408.
- SMITH A.B., CRIMES T.P., 1983 – *Trace fossils formed by heart urchins - a study of Scolicia and related traces*. *Lethaia*, vol. **16**(1), pp. 79-92, Wiley.
- UCHMAN A., 1998 – *Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: revision of the Marian Książkiewicz collection and studies of complementary material*. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, **68**, pp. 105-218.
- WARD D.M., LEWIS D.W., 1975 – *Paleoenvironmental implications of storm-scoured ichnofossiliferous mid-Tertiary limestones, Waihao district, south Canterbury, New Zealand*. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **18**(6), pp. 881-908.



Federico Cervi\*, Gianluca Medioli\*\*, Andrea Dadomo\*\*

## A preliminary hydrochemical analysis of the 2016 low-flow period from the River Trebbia (Northern Apennines, Italy)

### **Abstract**

*The potentiality of using sparse discharges and hydrochemical data collected in rivers as a means to obtain hydrogeological information at a catchment scale is explored. The approach has been tested by using 24 discharges and hydrochemical data (water stable isotopes and physical-chemical parameters, namely electrical conductivity and temperature). The data were collected from the mountain sector of the River Trebbia (a tributary of the River Po, northern Italy) during three campaigns extending over summer 2016 (during low-flow, i.e. periods in which there is no influence of precipitation and surface runoff since river discharges are only made up of base flow fed by groundwater). This sort of approach demonstrated the aquifer-like behaviour of the basalt rocks outcropping in the basin, as they are the main control of low-flow. Hydrochemical data confirmed that prior to infiltration towards groundwater the isotopic contents of sampled water from the R. Trebbia had not been previously modified by pre-infiltrative evaporation and evapotranspiration processes or by sublimation/evaporation during snowmelt. This further demonstrates that, at least for the 2016 low-flow period, the groundwater storages feeding the R. Trebbia base flow were not hosted near the surface for a long time (and thus not within the upper parts of the detensioned rock masses or Quaternary deposits) but had been conveyed quickly to the deepest parts of hard-rock aquifers (mainly represented by fractured basalts).*

### **Riassunto**

*Analisi idrochimica preliminare del periodo di magra del 2016 del Fiume Trebbia (Appennino settentrionale). In questo articolo vengono testate le potenzialità nell'utilizzo di dati di portata ed idrochimici raccolti saltuariamente dai corsi d'acqua per ottenere informazioni idrogeologiche a scala di bacino. L'approccio è stato testato utilizzando 24 dati di portata (oltre ai dati idrochimici, in particolare gli isotopi stabili dell'acqua ed i parametri fisico-chimici di conducibilità elettrica e temperatura) raccolti in diverse sezioni del tratto montuoso del Trebbia (un affluente del Po) durante tre campagne nell'estate del 2016 (ed in particolare nel periodo di magra, ossia quando non vi è alcuna influenza sulla portata del corso d'acqua da parte delle precipitazioni né del deflusso sub-superficiale in quanto la stessa è costituita solo dai flussi idrici di base alimentati dalle acque sotterranee). Tale approccio dimostra il comportamento acquifero delle rocce basaltiche affioranti nel bacino in quanto le stesse costituiscono il principale controllo del deflusso di base del Trebbia. I dati*

---

\* Geologist, PhD – Via Maccagnano 170, 42122 REGGIO EMILIA; e-mail: fd.cervi@gmail.com.

\*\* Geologist – GEOINVEST Srl, Via della Conciliazione 45/A, 29122 PIACENZA

*idrochimici hanno confermato che il contenuto isotopico delle acque campionate dal Trebbia non è stato precedentemente modificato da processi di evaporazione pre-infiltrativa e/o evapotraspirazione o da sublimazione/evaporazione durante la fusione delle nevi. Ciò dimostra ulteriormente che, almeno per il periodo di magra del 2016, le acque sotterranee che alimentano il deflusso di base del Trebbia non sono rimaste per lungo tempo ospitate in prossimità della superficie (e quindi non nelle parti più superficiali degli ammassi rocciosi fratturati né nei depositi quaternari) ma sono state convogliate rapidamente nella parte più profonda degli ammassi rocciosi con comportamento acquifero (rappresentati principalmente da basalti fratturati).*

**Keywords:** *stable water isotopes, tracing tests, river flow, groundwater, Northern Apennines, Italy*

**Parole chiave:** *isotopi stabili dell'acqua, test di tracciamento, deflusso fluviale, acque di falda, Appennino settentrionale*

## 1. Introduction

In catchment hydrology and hydrogeology, the monitoring of low-flows from rivers (here understood as the quota of the stream flow sustained between precipitation and river feeding, is provided by delayed pathways developed under the soil surface) may deliver important information on subsurface connectivity and catchment storage processes (Cervi *et al.*, 2017; Merz & Blöschl, 2005, 2009a, 2009b). In fact, by considering a specific river cross section of a basin, a sufficiently long dry period leads to a gradual depletion of river discharge (recession period in the discharge hydrograph starting from the peak flow originated by a precipitation event) that ends when stream-flow begins to increase again due to subsequent precipitation. Hence, recession curves are the part of the hydrograph in which river flows are fed by the release of water from different natural storages hosted below the surface (quick flows, interflows and base flows; cf. Freeze & Cherry, 1979).

The further we go into the recession period the higher the contributions by the longest flow-paths developed with the saturated portions of the deepest aquifers become. This means that starting from a specific point of the recession period, the river low-flows (defined here as base flow) are only sustained by the groundwater flow whose flow-paths are developed along the saturated portion of the bedrock (and/or Quaternary deposits) with no contribution from the other subsurface routes, such as interflows following percolation into the soils. The specific sector of the recession curve, in which only the saturated portion of the aquifers sustains the river low-flows, is usually named 'depletion curve'. Its monitoring (also of more components than just flow rates, such as physical-chemical parameters, chemical elements or compounds, stable and radioactive isotopes) is usually exploited for gaining hydrogeological information on bedrocks and Quaternary deposits outcropping in the basins (Freeze & Cherry,

1979; Kendall & McDonnell, 2012; Cervi *et al.*, 2019; Engel *et al.*, 2019).

Rivers flowing out from the Northern Apennines are characterised by considerable flow-rate variations over the hydrological year with marked low-flow periods identified by unique recession curves that usually start in summer and end in early autumn. Discharges are monitored here by permanent measurement devices (common telemetry equipment installed over bridges) that monitor water levels in continuous at dozens of sections located over the mountainous sectors of the catchments; water levels are then converted into discharges by means of rating curves. Since these devices have been calibrated for civil protection issues, the reliability of these rating curves is high for floods, while estimates on flow rates during the low-flow periods are usually poor or even very poor (Cervi *et al.*, 2017).

The present study is based on the hypothesis that even sparse data of river discharges (and hydrochemical data as well) collected over recession periods (in particular during base flow periods) may provide information on the hydrogeological behaviour of bedrocks and Quaternary deposits that make up the catchment.

In the following sections, we provide evidence exploiting a dataset of 24 discharge values obtained from three different campaigns lasting over the summer of 2016 in eight sections from the mountainous catchment of the River Trebbia. Along with discharge data, we collected physical-chemical parameters (i.e. electrical conductivity and temperature) and water stable isotopes. The results of statistical analyses developed by considering some specific catchment characteristics as well as hydrochemistry and water stable isotopes are discussed in order to better understand the additional information delivered by this approach.

## **2. Study site**

The study area corresponds to the mountainous part of the River Trebbia catchment, a tributary of the River Po. The R. Trebbia originates in Liguria close to the watershed with the R. Lavagna, which flows toward the Tyrrhenian Sea. The sources are located along the slopes of Mt. Prelà (1406 m a.s.l.) and Mt. Lavagnola (1118 m a.s.l.), in the province of Genoa. This river flows toward east-north-east for about 15 km up to the village of Gorreto, where the R. Trebbia enters the westernmost part of Emilia-Romagna (province of Piacenza). The discharge starts to be sustained at about 450 m a.s.l., where the confluence with the R. Aveto leads to doubling the extension of the basin. Here, the R. Trebbia flows north-east up to the confluence with the R. Perino, which is the second most important tributary of the R. Trebbia. Some 90 km from the sources, the R. Trebbia enters the Po Plain through the apex of its alluvial fan near the village of Rivergaro.

From the climate point of view, the study area is characterised by a mean annual rainfall distribution in the 1990-2015 period of approximately  $1600 \text{ mmy}^{-1}$  (Cervi & Nistor, 2019) with maximum values recorded near the watershed (up to  $2500 \text{ mmy}^{-1}$  with cumulative annual snow cover that can reach 2-3 m). Mean annual rainfall progressively decreases toward the foothills ( $900 \text{ mmy}^{-1}$ ), and its distribution during the year is usually characterised by two marked positive peaks in the autumn and spring, respectively (in the summer precipitation is much lower as well as during the winter). Moreover, potential evapotranspiration is particularly active during the summer and is more intense at a lower altitude (cumulative annual values up to 650 mm in the hilly sector).

By considering the 2003-2019 period (ARPAE-EMR, 2024), the R. Trebbia at Rivergaro showed perennial discharges with a mean annual value of  $23.9 \text{ m}^3\text{y}^{-1}$  and marked changes during the hydrologic year (maximum peaks higher than  $500 \text{ m}^3\text{y}^{-1}$  in late autumn and minimum ones often lower than  $1 \text{ m}^3\text{y}^{-1}$  in late summer-early autumn). In detail, these remarkable changes in discharges during the year are likely to be caused by the low hydraulic conductivity of the bedrock. In the mountainous part of the catchment (with the exception of the areas closest to the main watershed, where geological formations made up of sandstones are common), the abundance of clay-rich sediments and rocks leads infiltration to dwindle and river discharge to closely follow the rainfall distribution during the year (Cervi *et al.*, 2017). This means that the R. Trebbia shows a marked pluvial discharge regime in which low-flows take place in the summer-early autumn (July, August, September) with minimum values of discharges that can be in the order of few hundreds  $\text{l s}^{-1}$ . As previously stated, floods usually occur in the autumn (October and November) and spring (March and April) with time lag of peak discharges after the most extreme precipitation events usually less than a day in these two wet periods.

### 3. Methods

Our research consisted of hydrological, hydrochemical and isotopic investigations carried out on surface water from eight sections located in the mountainous part of the R. Trebbia catchment. Firstly, three sampling campaigns were carried out during the low-flow period in summer 2016. During each campaign, discharges were estimated in each sector by means of salt-injection, while water samples for further isotopic analyses were collected. At the same time, physical-chemical parameters such as electrical conductivity (EC) and temperature (T) were gathered directly in the field. Secondly and for each river sector, we obtained the specific discharges ( $q$ ) as well as a selected set of sub-catchment characteristics. Thirdly, specific discharges, temperature and electrical conductivity were visually inspected by means of heat maps to

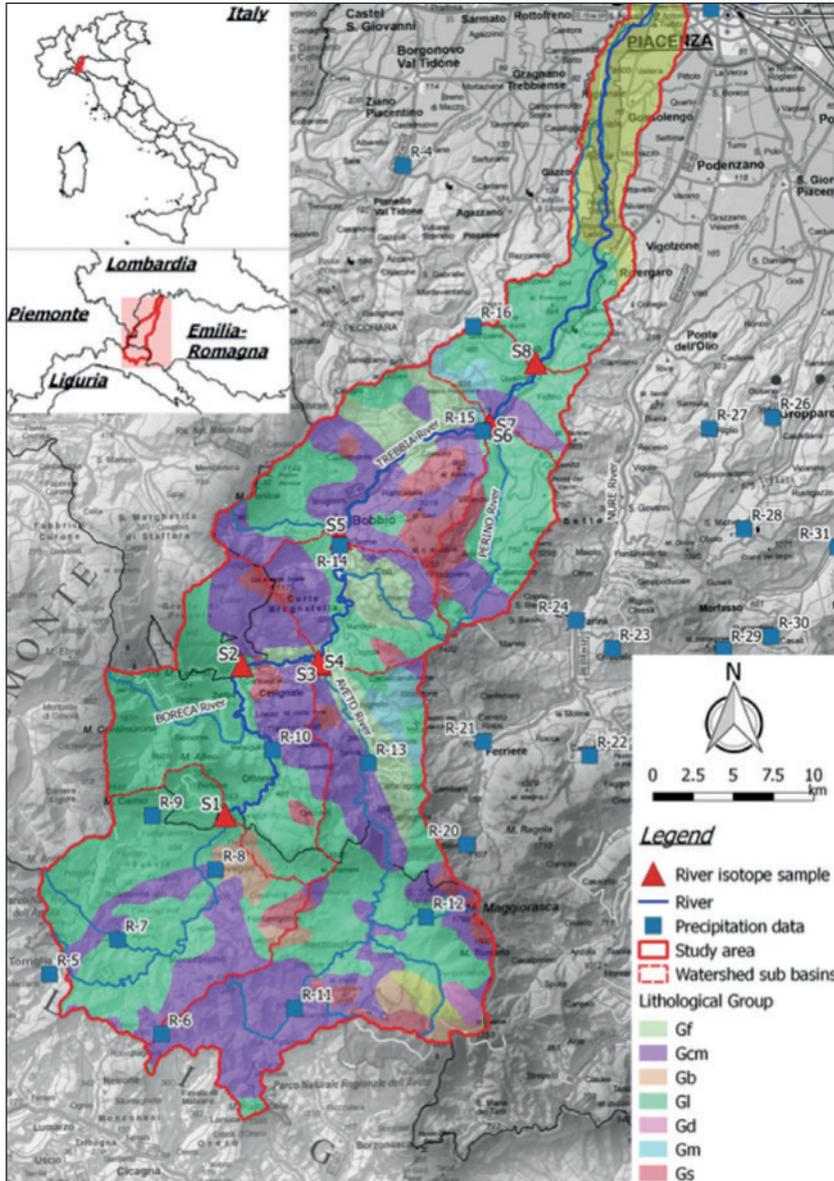


Fig. 1 – Sketch map of the R. Trebbia catchment (continuous red line) as well as sub-catchments (dashed red line) along with river sections in which salt slug injections were carried out (red triangles from S1 to S8) and rain gauges (blue squares from R1 to R31). Main hydrogeological complexes (see Section 3.3.1 for further details) are reported.

identify any discrepancies among several river sections. Fourthly, specific discharges and catchment characteristics were compared by means of bivariate (correlation matrices) and multivariate analyses (multi-regression) to identify linear or non-linear correlations among these variables. Finally, and thanks to water stable isotopes,  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  relationships were developed to verify the presence of secondary kinetic fractioning processes indicating potential pre-infiltrative evaporation and evapotranspiration processes or sublimation/evaporation during snowmelt.

For the sake of convenience (see also Fig. 1), the river sections are reported in numeric form from S1 to S8: “S1” - R. Trebbia at Montebruno, “S2” - R. Trebbia at Ornanasco bridge, “S3” - R. Aveto before the junction with the R. Trebbia, “S4” - R. Trebbia before the junction with the R. Aveto, “S5” - R. Trebbia at Bobbio, “S6” - R. Trebbia before the junction with the R. Perino, “S7” - R. Perino before the junction with the R. Trebbia, “S8” - R. Trebbia at Travo.

### **3.1 In-field activities**

#### *3.1.1. Hydrochemical monitoring and water sampling*

For all the sampling points (from S1 to S8), direct measurements of water temperature and electric conductivity at 25 °C were determined using a WTW pH/cond 340i SET instrument. Furthermore, water samples for further isotopic analyses (water stable isotopes) were collected. All water samples were filtered through cellulose membrane (0.45  $\mu\text{m}$ ) and collected in 100 ml PEHD-bottles with a double cap completely filled in order not to have air inside the bottle. Once the samples had been collected, they were stored at 4 °C until performing laboratory analyses. The three field campaigns were carried out on 3 July 2016 (1<sup>st</sup> campaign), on 31 July 2016 (2<sup>nd</sup> campaign) and on 7 August 2016 (3<sup>rd</sup> campaign).

#### *3.1.2. River Discharge Estimates*

During the three field campaigns mentioned in Section 3.1.1, 24 river discharge measurements involving eight river sections were carried out. Given the irregular shape of almost the majority of the river sections as well as the low water depth, direct measurements methods, such as current measuring gauges, are ineffective. For this reason, discharges (in  $\text{ls}^{-1}$ ) were obtained by means of slug injections of hyper-concentrated solutions of NaCl into the watercourse. This method requires the slug injection of a solution with a known tracer content in the river and the subsequent determination of the tracer concentration downstream by means of a conductivity probe.

With regard to this approach, it should be specified that it has already proven to be a reliable tool in estimating river discharge worldwide (Leibundgut *et al.*, 2011; Tazioli, 2011). More specifically, the rivers flowing out of the

Northern Apennines during low-flow periods (cf. Cervi *et al.*, 2014; Cervi & Tazioli, 2021) are usually characterised by low salinity and a lower content of suspended solids (i.e., clays) that allows for the use of smaller amounts of NaCl and a higher precision in discharge estimates.

The discharge assessment by salt-tracing technique is based on the integration method proposed by (Guizerix & Florkowski, 1983). From a mathematical standpoint, if we consider  $Q$  as the river discharge, the initial concentration of salt in the river water  $C_0$  (in the section where the conductivity probe is placed) can be written as follows:

$$C_0 = \int_0^{\infty} c dt$$

During a given time range  $T$ , which is equal to the time needed for the tracer to be transported downstream, an average value for the sample is found by sampling the tracer concentration present in the measurement station at regular time intervals.

Then:

$$\int_0^{\infty} c dt = ct$$

Finally, the discharge is calculated as:

$$Q = \frac{C_0 V}{C T}$$

where  $c$  is the concentration of the sample in volume  $V$ .

We respected the assumption that the average tracer concentration should be 10 times higher than the detection limit of the tracer itself (Tazioli, 2011; in our case we used 400 g of NaCl in 5 litres of water). Electrical conductivity at 25 °C was measured in-continuous 100 m downstream from the injection point (distance ensuring the good mixing between river flow paths and the hyper-concentrated solution) by using a conductivity probe (STS DL/70/N MULTI). The acquisition time was set at 10 s while the precision of the instruments are reported to be equal to 2%. In all the sections along the 100 m between injection points and locations where conductivity probes were placed, no pools or backwater areas were present, while changes in flows were visually checked and considered negligible. Each measurement was considered complete when values of electrical conductivity at 25 °C detected in river water returned to the pre-test ones, i.e. all the injected amount of tracer had passed through the sections.

All slug injections were carried out by going upstream (i.e., starting from S8 to S1) to avoid cross-contamination phenomena among the measures carried out in the sections.

### 3.2 Laboratory analyses

Stable isotope analyses on water samples were carried out by using Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS; Thermo Delta Plus Mass Spectrometer), in which oxygen isotope composition ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) was measured by water- $\text{CO}_2$  equilibration at 25 °C (Epstein & Mayeda, 1953), while hydrogen isotope composition ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) was measured by  $\text{H}_2$ -water equilibration at 25 °C (Horita, 1988). The results are reported as differences between the sample and the standard (Vienna Standard Mean Oceanic Water: V-SMOW) and presented in the  $\delta$ -notation as per mil (‰), where  $\delta = [(R_S/R_{V\text{-SMOW}})^{-1}] \times 1000$ ;  $R_S$  is either the  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  or the  $^2\text{H}/^1\text{H}$  ratio of the sample, and  $R_{V\text{-SMOW}}$  is  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  or the  $^2\text{H}/^1\text{H}$  ratio of the V-SMOW. Instrumental precision ( $1\sigma$ ) is in the order of  $\pm 0.1\text{‰}$  for  $\delta^{18}\text{O}$  and  $1\text{‰}$  for  $\delta^2\text{H}$ .

### 3.3 Focus on data processing involving catchment characteristics and subsequent statistical analyses

#### 3.3.1 Catchment characteristics

We considered a subset of catchment characteristics already discussed by Cervi *et al.* (2017) for the whole Northern Apennine range and consisting of 14 catchment characteristics (or descriptors) related to area (A), topographic height (H), precipitation (P), catchment influx (I), geology (G). A summary of the descriptors is shown in Tab. 1.

Catchment Characteristics														
River section (Code)	A (km <sup>2</sup> )	H <sub>min</sub> (m a.s.l.)	H <sub>max</sub> (m a.s.l.)	H <sub>mean</sub> (m a.s.l.)	P (mm <sup>-1</sup> )	I (m·km <sup>2</sup> )	G <sub>CM</sub> (%)	G <sub>F</sub> (%)	G <sub>B</sub> (%)	G <sub>L</sub> (%)	G <sub>D</sub> (%)	G <sub>M</sub> (%)	G <sub>O</sub> (%)	G <sub>S</sub> (%)
1	27	659	1406	1750	910	4645.8	23.5	0.0	0.0	76.5	0.0	0.0	0.0	0.0
2	314	375	1721	1356	949	42597.1	22.3	0.0	3.6	71.4	0.0	0.0	0.0	2.7
3	248	329	1800	1486	1011	36887.4	42.3	8.2	3.9	30.8	1.7	4.4	2.6	6.2
4	337	328	1721	1328	934	44768.6	25.1	1.1	3.4	66.8	0.0	0.0	0.0	3.6
5	655	259	1800	1334	942	87386.3	32.6	6.6	3.2	49.4	0.6	1.7	1.0	5.0
6	784	189	1800	1234	891	96825.2	34.0	8.5	2.7	45.5	0.5	1.5	0.8	6.4
7	60	190	1378	810	766	4840.8	17.5	1.5	0.0	66.3	0.0	0.0	0.0	14.8
8	885	163	1800	1183	861	104702.3	32.4	7.7	2.4	47.5	0.5	2.1	0.7	6.7

Tab. 1 – Selected catchment characteristics for the eight sections considered in this study.

The database of Emilia-Romagna was used to collect information on geological formations at a 1:10,000 scale (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, 2016). The database contains 125 different bedrock formations. The descriptors related to geology and reported in Tab. 2 (namely:  $G_{CM}$  - clay and silt/marl;  $G_F$  - flysch made up of repetitive sequences of regular beds composed of limestone, sandstones and clay-shales with different proportion;  $G_B$  - Basalts;  $G_L$  - Limestone,  $G_D$  - glacial till,  $G_M$  - Metamorphic rocks;  $G_O$  - Aeolian debris,  $G_S$  - Serpentinites; see Tab. 2) were obtained by grouping into 8 classes the 125 geological formations and Quaternary deposits included within the geological database (see Fig. 1) and finally added in the form of percentage values representing the area covered by a class relative to the catchment area.

This simplification is required in order to take into account the main hydrogeological features of the area, i.e. by considering the hydraulic conductivity and storativity of the formations related to their lithological characteristics, as suggested by Civita (2005).

In addition, the average precipitation ( $P$ , in mm) falling in the hydrologic year 2015-2016 (from October 2015 to September 2016) along with the influx into catchment ( $I$ , in  $m^3y^{-1}$ ) calculated by multiplying the average precipitation to the catchment area ( $A$ ). It should be pointed out that  $P$  values were obtained starting from 31 weather stations scattered over the R. Trebbia catchment (here considered at river section no. 8) or located in its proximity. The average values for catchments were then estimated by spatial interpolation via ordinary kriging (Isaaks & Srivastava, 1989). Area ( $A$ ) and topographic height ( $H_{min}$ ,  $H_{mean}$ ,  $H_{max}$ ) were derived from a  $5 \times 5$  m gridded digital terrain model that was created by digitalisation and linear interpolation of contour lines represented in the regional topography map at a 1:5000 scale. Here we recall that  $H_{min}$  identified the section in which discharges were estimated during the three different campaigns.

### 3.3.2 Bivariate analysis

As a bivariate analysis, we obtained scatterplot matrices to verify whether some correlations between the multiple variables mentioned in Section 3.3.1 (catchment characteristics) from each sectors were present or not. In particular, we focused on possible correlations existing between the values of specific discharges ( $q$ ) from the three different campaigns and the other catchment characteristics. For this purpose, we tested the possible presence of linear or nonlinear correlations by means of both Pearson ( $r$ ) and Spearman ( $rs$ ) coefficients, respectively (Davis, 2001). Both correlation coefficients ( $r$  and  $rs$ ) describe the strength and direction between the two variables and return a closer value to 1 (or -1) when the two selected variables have the strongest positive (or negative) relationship. Readers are referred to Davis (2001) and

Sheather (2009) for further details on statistical formulations. Here we recall that the significance probability (p-value) of both the Pearson and Spearman correlation coefficients calculated in this study was set at 0.05, meaning the p-values lower than 0.05 represented statistically significant relationships.

We also decided to determine the Spearman coefficient as many hydrological processes occurring at both slope and catchment scales are nonlinear (McDonnell, 2003); this behaviour may in turn be seen in some descriptors (Kirchner, 2016; Gallart *et al.*, 2020; Cervi & Tazioli, 2022).

### 3.3.3 Multivariate analysis

Finally, we tested by means of a multi-regression (MR) approach which set of catchment characteristics could explain the specific discharges (q) collected during the three sampling campaigns. The MR approach is based on the use of a linear relationship linking the specific discharges (i.e., the independent variables) to all the processes driving the flows, summarised here by the abovementioned selected catchment characteristics (i.e., the dependent variables). This approach has been widely used in literature for estimating low-flow in ungauged catchments (see as an example the work by Pyrcce, 2004) and its model can be written as follows:

$$y = c_0 + c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_kx_k + \varepsilon$$

where y is the estimate of the considered specific discharge (in our case the specific discharge q),  $x_k$  and  $c_k$  ( $k = 1, 2, \dots, j$ ) are the catchment characteristics and the regression model coefficients, respectively; and  $\varepsilon$  is the residual error of the model, which is assumed to be independent of  $x_k$ . The catchment characteristics related to topographic elevation (H), precipitation (P) and catchment influx (I) were scaled by an integer power of 10 to give similar magnitude, in order to avoid sensitivity of the analyses to different scales of the descriptors.

Analyses were carried out throughout a stepwise regression approach, in which only the most important independent variables were selected and inserted into the formula. Accordingly, variables are added one by one to the model and the F statistic (ratio between the mean regression and error sums of the square) has to be significant at a selected level (0.05). After each variable is added to the model, the stepwise method assesses all of the variables already included in the model and deletes any variable that does not produce a significant F statistic at the selected confidence level (Davis, 2001). Goodness-of-fit statistics were provided through the adjusted coefficient of determination  $R^2_{adj}$ .

## 4. Results

### 4.1 Specific discharges and catchment characteristics

Tab. 2 summarises the first statistics (in form of the following indices: mean, maximum and minimum) for each catchment descriptors. By looking at the specific discharges and with the exception of the minimum value of  $q_3$  ( $0.5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ), a decrease of all the above-mentioned indices is found by passing from the 1<sup>st</sup> sampling campaign to the 3<sup>rd</sup> one, further confirming the presence of a typical low-flow period scenario. Precipitations are between 810 mm and 1750 mm with the maximum values affecting the sub-catchments close to the main watershed divide. I ranges from about  $4650 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$  to  $105,000 \text{ m}^3 \text{ y}^{-1}$  and largely vary with the catchment area (A, from  $27 \text{ km}^2$  to  $885 \text{ km}^2$ ). From the geological point of view, sub-catchments are mainly made up of clayey and marly materials as well as limestones (minimum value of 17.5% for  $G_{\text{CM}}$  and 30.8% for  $G_{\text{L}}$ , respectively). In some catchments, there is a non-negligible spread of serpentine rocks and flysch ( $G_{\text{S}}$  and  $G_{\text{F}}$  up to 14.8% and 8.5%, respectively). Basalts ( $G_{\text{B}}$ ) may account for up to 5.3% of the catchments, while Quaternary deposits ( $G_{\text{Q}}$ ) are only seldom present over the catchments (less than 4.4%).

Acronym	Variable	Units	Minimum	Mean	Maximum
A	Catchment area	$\text{km}^2$	26.5	386.8	885.3
$H_{\text{min}}$	Altitude of stream gauge	m	163.4	334.5	658.7
Hmax	Maximum altitude	m	1377.7	1675.2	1800.5
Hmean	Mean altitude	m	766.1	913	1010.9
P	Precipitation	mm	809.7	1336.1	1750.4
I	Mean annual influx	$\text{m}^3 \text{ y}^{-1}$	4645.7	49892.9	104702.3
$G_{\text{CM}}$	Clay and marl	%	17.5	28.2	42.3
$G_{\text{F}}$	Flysch	%	0	3.7	8.5
$G_{\text{B}}$	Basalts	%	0	2.7	5.3
$G_{\text{L}}$	Limestone	%	30.8	60	76.6
$G_{\text{D}}$	Diamicton	%	0	0.4	1.7
$G_{\text{M}}$	Metamorphic	%	0	1.9	4.4
$G_{\text{S}}$	Serpentinite	%	0	5.3	14.8
$G_{\text{Q}}$	Aeolian Debris	%	0	1.1	4.4
$q_1$	Specific discharge (sampling campaign 1)	$\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$	1.4	5.9	9.2
$q_2$	Specific discharge (sampling campaign 2)	$\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$	0.4	4.1	6.6
$q_3$	Specific discharge (sampling campaign 3)	$\text{L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$	0.5	3.9	6.2

Tab. 2 – Catchment descriptors included in the analysis.

#### 4.2 Bivariate analyses

In Tab. 3, the matrix reporting the Pearson rank correlation matrix (Pearson assesses linear relationships) comparing the values of specific discharges from the three different campaigns ( $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$ ) with catchments characteristics (see Tab. 2) provide several selected significant correlations ( $p < 0.05$ ). The latter are diversified, being positive and negative in case of  $q_1$  (negative:  $q_1$ -A;  $q_1$ - $H_{\max}$ ; positive:  $q_1$ -I) as well as in case of  $q_2$  (negative:  $q_2$ - $G_S$ ;  $q_2$ - $H_{\min}$ ;  $q_2$ - $H_{\max}$ ;  $q_2$ -P;  $q_2$ - $G_O$ ). It is worth noting that the higher degree of association ( $p < 0.01$ ) is that with  $H_{\max}$  and I (in case of  $q_1$ ) and with I,  $G_O$  and  $G_S$  (in case of  $q_2$ ). With regard to  $q_3$ , the correlations already highlighted for  $q_2$  become slightly lower and exceed the selected threshold of significance (p-value always higher than 0.05).

If the Spearman rank correlation matrix (i.e., assessment of nonlinear relationships) is considered (Tab. 4), the abovementioned associations are usually present albeit with a lower degree of associations overall. Unlike the case of Pearson, we found a positive and significant ( $p < 0.05$ ) correlation also between  $q_3$ - $G_B$  and negatives ones between  $q_3$ - $G_S$ .

	$q_1$	$q_2$	$q_3$	A	$H_{\min}$	$H_{\max}$	$H_{\text{mean}}$	P	I	$G_F$	$G_{CM}$	$G_B$	$G_L$	$G_D$	$G_S$	$G_O$
$q_1$																
$q_2$	-0.48															
$q_3$	0.11	0.74														
A	<b>-0.84</b>	0.15	-0.19													
$H_{\min}$	-0.49	<b>0.83</b>	0.51	0.05												
$H_{\max}$	0.09	<b>0.75</b>	0.72	-0.49	<b>0.75</b>											
$H_{\text{mean}}$	<b>-0.91</b>	0.70	0.25	0.69	<b>0.75</b>	0.21										
P	0.62	<b>0.87</b>	0.51	0.21	<b>0.98</b>	0.67	<b>0.85</b>									
I	<b>0.87</b>	0.22	-0.13	<b>0.99</b>	0.15	-0.42	<b>0.75</b>	0.30								
$G_F$	-0.71	-0.10	-0.50	0.66	0.22	-0.47	0.60	0.28	0.67							
$G_{CM}$	-0.72	0.28	-0.16	0.45	0.64	0.00	<b>0.77</b>	0.67	0.51	<b>0.88</b>						
$G_B$	-0.61	<b>0.92</b>	0.58	0.23	<b>0.96</b>	0.69	<b>0.85</b>	<b>0.99</b>	0.32	0.20	0.58					
$G_L$	0.58	0.02	0.42	-0.39	-0.40	0.22	-0.56	-0.41	-0.42	<b>-0.93</b>	<b>-0.95</b>	-0.31				
$G_D$	-0.44	0.10	-0.28	0.10	0.58	0.08	0.50	0.54	0.15	<b>0.76</b>	<b>0.91</b>	0.43	<b>-0.94</b>			
$G_S$	-0.52	0.07	-0.35	0.23	0.52	-0.03	0.54	0.50	0.27	<b>0.82</b>	<b>0.93</b>	0.39	<b>-0.96</b>	<b>0.98</b>		
$G_O$	0.61	<b>-0.96</b>	-0.68	-0.35	<b>-0.81</b>	-0.63	<b>-0.81</b>	<b>-0.88</b>	-0.43	-0.02	-0.34	<b>-0.93</b>	0.04	-0.10	-0.10	

Tab. 3 – Matrix of the Pearson rank correlation (values as  $r$ ) among specific discharges ( $q_1, q_2, q_3$ ) and the catchment characteristics considered in this study ( $H_{\min}, H_{\max}, H_{\text{mean}}, P, I, G_F, G_{CM}, G_B, G_L, G_D, G_S, G_O$ ). A progressively darker green colour is associated with a higher correlation coefficient (always significant as  $p < 0.05$ ).

	$q_1$	$q_2$	$q_3$	A	$H_{min}$	$H_{max}$	$H_{mean}$	P	I	$G_F$	$G_{CM}$	$G_B$	$G_L$	$G_D$	$G_S$	$G_Q$
$q_1$																
$q_2$	0.11															
$q_3$	0.18	<b>0.86</b>														
A	<b>-0.82</b>	-0.11	0.00													
$H_{min}$	-0.04	0.75	0.68	-0.21												
$H_{max}$	0.50	<b>0.79</b>	0.71	-0.61	<b>0.82</b>											
$H_{mean}$	<b>-0.90</b>	-0.06	-0.06	0.66	0.30	-0.30										
P	0.04	0.75	0.68	-0.21	<b>1.00</b>	<b>0.82</b>	0.30									
I	<b>0.82</b>	-0.11	0.00	<b>1.00</b>	-0.21	-0.61	0.66	-0.21								
$G_F$	-0.75	-0.36	-0.50	0.39	-0.07	-0.54	0.78	-0.07	0.39							
$G_{CM}$	-0.71	0.11	0.04	0.36	0.46	-0.07	<b>0.90</b>	0.46	0.36	<b>0.82</b>						
$G_B$	0.07	<b>0.86</b>	<b>0.79</b>	-0.25	<b>0.96</b>	0.86	0.18	<b>0.96</b>	-0.25	-0.14	0.39					
$G_L$	0.64	0.32	0.46	-0.25	-0.07	0.39	-0.78	-0.07	-0.25	<b>-0.96</b>	<b>-0.86</b>	0.00				
$G_D$	-0.63	-0.11	-0.11	0.22	0.44	-0.07	<b>0.87</b>	0.44	0.22	0.78	<b>0.93</b>	0.30	<b>-0.85</b>			
$G_S$	-0.63	-0.22	-0.26	0.33	0.30	-0.22	<b>0.87</b>	0.30	0.33	0.74	<b>0.82</b>	0.19	<b>-0.85</b>	<b>0.88</b>		
$G_Q$	-0.14	<b>-0.89</b>	<b>-0.96</b>	0.04	-0.75	<b>-0.79</b>	0.06	-0.75	0.04	0.54	0.00	<b>-0.79</b>	-0.50	0.11	0.26	

Tab. 4 - Matrix of the Spearman rank correlation (values as  $r_s$ ) among specific discharges ( $q_1, q_2, q_3$ ) and the catchment characteristics considered in this study ( $H_{min}, H_{max}, H_{mean}, P, I, G_F, G_{CM}, G_B, G_L, G_D, G_S, G_Q$ ). A progressively darker green colour is associated with a higher correlation coefficient (always significant as  $p < 0.05$ ).

### 4.3 Multivariate regressions

As suggested in Section 3.3.3, the independent variables were selected by a stepwise regression approach that were carried out by selecting as dependent variables the specific discharges  $q_1, q_2$  and  $q_3$  separately. As a result, we obtained three different multivariate regressions, each characterised by a specific set of independent variables. When  $q_1$  is taken into account, only the  $H_{mean}$  and I were ultimately included within the model as follows:

$$q_1 = 20.1I - 55.4H_{mean} + 14.7$$

with a coefficient of determination  $R^2_{adj}$  of 0.82 and p-value of 0.04.

The resulting MR model in case of  $q_2$  is obtained by taking into account the only  $H_{max}$  and  $G_B$  as follows:

$$q_2 = 13.8G_B - 55.6H_{max} + 16.2$$

with a coefficient of determination  $R^2_{adj}$  of 0.91 and p-value of 0.02.

If  $q_3$  is taken into account, the MR model is developed again with  $H_{\max}$  and  $G_B$  as follows:

$$q_2 = 3.4G_B - 71.8H_{\max} + 91.2$$

with a coefficient of determination  $R^2_{\text{adj}}$  of 0.93 and p-value of 0.01.

#### 4.4 Hydrochemical monitoring and water stable isotopes

Here we report in the form of Heat –maps (Fig. 2) the variance of the parameters (T in °C; Conductivity at 25 °C as EC as well as the values of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$ ) along the R. Trebbia (for the sake of convenience we exclude the values collected from the tributary rivers Aveto and Perino, i.e. sections “S3” and “S7”, respectively). With regard to the EC values (Fig. 2a), these were between 303  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (“S1” in sampling campaign 2) to 440  $\mu\text{Scm}^{-1}$  (“S8” in sampling campaign 1). It is worthwhile mentioning that, for each sampling campaign, the EC values slightly increased by going downstream, but no clear evidence of changes among the three sampling campaigns is noticeable in each section.

Akin to the data of EC, T (°C) almost increased by going downstream (Fig. 2b) with lower values always detected in section S1 (minimum value of 16.8 °C in sampling campaign 3) and the highest ones in section S8 (maximum value of 22.7 °C in sampling campaign 1). No remarkable changes in the EC and T magnitudes after the junctions with the two main tributaries Aveto (values of EC and T close to 330  $\mu\text{Scm}^{-1}$  and 18 °C, respectively) and Perino (values of EC and T in the order of 420  $\mu\text{Scm}^{-1}$  and 23.5 °C, respectively) were noticed.

Unlike the abovementioned physicochemical parameters, stable water isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$ ; see Fig. 2c and 2d) did not increase/decrease progressively by going downstream. Maximum values of both isotopes were always detected in section S1 (up to -6.2‰ for  $\delta^{18}\text{O}$  and -35.7‰ for  $\delta^2\text{H}$  in sampling campaign 3), while minimum ones affected both section S2 and S3 with values that reached -7.8‰ in the case of  $\delta^{18}\text{O}$  (sampling campaigns 1 and 2) and -48.3‰ for  $\delta^2\text{H}$  (sampling campaign 2). Values of  $\delta^{18}\text{O}$  remained constant among sections S5 and S8 and did not show remarkable changes among the three sampling campaigns. Unlike  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  slightly decreased by going downstream starting from section S5; this behaviour was noticed in all the three campaigns. With regard to the 3<sup>rd</sup> campaign,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  data among sections were characterised by low changes in magnitude as compared with the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> campaigns. The isotopic contents of the R. Aveto (S3;  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  close to -7.6‰ and -46.2‰) did not bring about significant changes to the main stream. On the contrary, the isotopic content characterising the R. Perino ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  in S7 were up to -8.97‰ and -58.8‰, respectively) is remarkably different from the main stream in S6 and S8.

If we consider the  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  relationships (see Tab. 5), the substantial invariance of slopes and intercepts among the three different sampling campaigns (slopes between 8.5 and 8.7 and intercepts included between 17.0 and 19.3) is confirmed. Tab. 5: slopes and intercepts from the  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  alignments obtained starting from water samples collected in the three sampling campaigns. Goodness-of-fit in form of  $R^2$  is also reported.

Sampling campaign	Slope	Intercept	R <sup>2</sup>
1	8.6	19.2	0.99
2	8.7	19.3	0.99
3	8.5	17.0	0.98

Tab. 5 – Slopes and intercepts from the three different regression lines involving the  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  data.

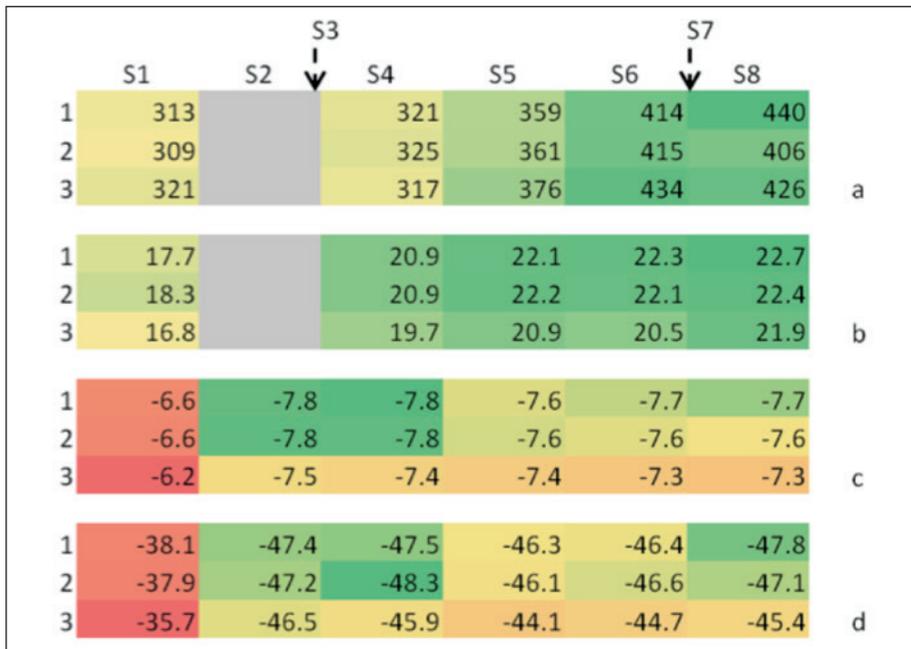


Fig. 2 – Heat-maps reporting electric conductivity EC (in  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ; a), water temperatures T (in  $^{\circ}\text{C}$ ; b),  $\delta^{18}\text{O}$  (in ‰; c) and  $\delta^2\text{H}$  (in ‰; d) for all the sections with the exception of those belonging to the tributary rivers Aveto (section “S3”) and Perino (section “S7”). Grey colour shows unavailable data.

## 5. Discussion

The Pearson and Spearman rank correlation matrices confirmed that only a few catchment characteristics showed a statistically significant correlation (i.e., those characterised by a significance probability p-value lower than the selected threshold of 0.05) with the specific discharges during the low-flow period. With the exception of the first campaign ( $q_1$ ; positive linear relationships with I while negative ones with A and  $H_{\text{mean}}$ ) the second ( $q_2$ ) and third ( $q_3$ ) campaigns carried out further during the 2016 base flow period showed both linear and nonlinear positive and negative relationships with some specific descriptors related to geology, i.e. basalts ( $G_B$ ; positive correlations) and serpentines ( $G_S$ ; negative correlations). With reference to multiple regression models, descriptor  $G_B$  were found to be the only positive explanatory independent variable that seems to control the specific discharges  $q_2$  and  $q_3$ . In case of  $q_1$  and in accordance with the Pearson rank correlation matrix, the only explanatory independent variable that was found to be significant in the multiple regression model was the Mean Annual Influx I. As estimating low-flows with multiple regression models allows us to capture the hydrogeological behaviour of the relevant catchment, this means that starting from a specific period during the base flow period, the percentage of basalts plays a certain role in controlling the discharges flowing out from the Trebbia catchment.

This seems to be confirmed by the EC data indicating poorly mineralised waters. In fact, EC were poorly scattered among the three measurement campaigns and remain similar moving in the different river sections, indicating a base flow that was sustained by aquifers hosted in rocks whose mineralogical assemblage does not allow for intense dissolution phenomena (just like basalts are).

From a hydrogeological point of view, these results are in agreement with the contents of some recent works indicating, for the Trebbia valley, the aquifer-like behaviour of these basaltic rocks that are enhanced by the extensive networks of fractures and fissures affecting their outcrops (Chelli *et al.*, 2016; Segadelli *et al.*, 2017, 2021). Their groundwater storage is replenished during the recharge period and then slowly released toward the river feeding the base flow, which takes place in the summer season. The hydrogeological control made by volcanic rocks (in particular ophiolite rocks) over the rivers flowing out from the Northern Apennines (a homogeneous region of approximately uniform low-flow behaviour to which the River Trebbia also belongs) had already been evidenced by Cervi *et al.* (2017) at the Northern Apennine scale. On the other hand, Cervi *et al.* (2017) have pointed out that the geological formations made up of limestones (here grouped into the  $G_L$  class) play the most influential hydrogeological control on low-flows. This was not found in the current study as no clear evidence of the link between the percentage of

limestones and base flow was detected. This fact may be due to the lack of highly permeable karst gypsum formations along the Trebbia catchment which, on the contrary, widely crop out in other basins of the Northern Apennines.

As for water stable isotopes, the elaborations of the  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  regression lines from water collected in R. Trebbia have highlighted the similarities with the Global Meteoric Water Line (GMWL), which was obtained by processing dozens of precipitation waters from rain collectors worldwide and is written as follows:  $\delta^2\text{H} = 8.0\delta^{18}\text{O} + 10$  as in Craig (1961). In particular, values of slopes from our case study lay close those of the GMWL with no evidence of outliers. If the Local Meteoric Water Lines (LMWLs) involving the Northern Apennines were taken into account, slopes would be even closer to those of local precipitation (slopes up to 8.7; see Cervi *et al.*, 2019; Tazioli *et al.*, 2019). This means that the isotopic content of river waters was not modified by progressive in-stream evaporation along the catchment or by evapotranspiration processes as slopes from  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  alignments would have been significantly lower than those of precipitation.

Thus, there is no evidence of pre-infiltrative evaporation/evapotranspiration modifying the waters before their infiltration towards the aquifer and, subsequently, to the base flow of rivers. This further indicates that recharge takes place in the winter and percolates into the deepest part of the hard-rock aquifers throughout a network of fissures, and then is conveyed to the river in the recession period.

We pinpoint that the key role in sustaining low-flows by fault networks (and, in particular, normal faults affecting hard-rock masses) has already been demonstrated by in-field experimental studies carried out by Gargini *et al.* (2008) on some rivers from the Northern Apennines and in general from catchments worldwide (without claiming to be exhaustive, cf. Oxtobee & Novakowski, 2002, 2003; Millares *et al.*, 2009).

For the future, we believe that further efforts should be made by gathering discharge data during the recession periods both upstream and downstream of the main tectonised bands crossing the riverbeds, and the subsequent implementation of fault data (i.e. number, width and persistence of fractures in the bedrock, as well as their inclination) as catchment characteristics in the statistical analyses to be carried out. Additionally, the preliminary clustering of all the geological formations into macro-groups, at the mountain range scale, may not be sufficiently adequate for regionalisation procedures. We are referring, in particular, to spatially highly-represented classes, such as flysch, for which clustering within the same class does not seem to be appropriate. In fact, flysch rocks can behave alternatively as aquicludes, aquitards or aquifers depending on the thickness of the clayey beds, their structural characteristics, and their response to tectonic stresses.

Considering also the complexity of carrying out in-field hydrogeological data regarding the geological formations from mountainous areas (i.e., pumping tests in dedicated wells, processing of the spring discharges data, geological/geomechanical analyses of the aquifer outcrops etc.), it is evident that merging the available discharge data (as well as chemical and isotopic data) from nested catchments at the mountain chain scale would improve the understanding of the hydrogeological characteristics of some specific geological formations, such as flysch, which widely crop out in the Northern Apennines.

## 6. Conclusions

In this research, the hydrogeological information contained in the sparse discharge and hydrochemical data collected along the R. Trebbia during the recession period of the summer of 2016, has been applied. The data collected have allowed us to demonstrate the aquifer-like behaviour of some specific hard-rocks (in particular, basalts that are characterised by a remarkable storage capacity if affected by faults and their related fissures and fractures) whose flow-paths are conveyed to the riverbed and are capable of sustaining base flow. When data are available at the catchment scale, they are a key point for acquiring information on the hydrogeological features of the outcropping formations, in particular when aquifer and aquitard hard-rocks are present and require the extensive use of hydrogeological investigations, such as drilling tests and spring data monitoring and processing.

In this way, sparse data of discharge and hydrochemistry have been extensively gathered in the last few decades from Italian rivers affected by dams during low-flow periods. We believe there is a potential to extend this approach to the whole mountain chain scale.

## Acknowledgements

*Authors warmly thank Professor Giovanni Tosatti for his helpful advice that allowed the final version of the manuscript to be significantly improved.*

## Bibliography

- ARPAE-EMR (Regional Agency for Environmental Protection in Emilia-Romagna Region), 2024 – *Annali Idrologici*. Available online: <https://www.arpae.it/sim/> (accessed on 30 April 2024).
- CERVI F., MARCACCIO M., PETRONICI F., BORGATTI L., 2014 – *Hydrogeological characterization of peculiar Apennine springs*. In: “Evolving Water Resources Systems, Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions”, Proceedings of ICWRS-2014, IAHS Publ. **364**, pp. 333-338.
- CERVI F., BLÖSCHL G., CORSINI A., BORGATTI L., MONTANARI A., 2017 – *Perennial springs provide information to predict low-flows in mountain basins*. *Hydrological Sciences Journal*, **62**(15), pp. 2469-2481.

- CERVI F., NISTOR M.M., 2019 – *High resolution of water availability for Emilia-Romagna region over 1961-2015*. *Advance in Meteorology*, 2489758.
- CERVI F., DADOMO A., MARTINELLI G., 2019 – *The analysis of short-term dataset of water stable isotopes provides information on hydrological processes occurring in large catchments from the Northern Italian Apennines*. *Water*, **11**(7), 1360 pp.
- CERVI F., TAZIOLI A., 2021 – *Quantifying streambed dispersion in an alluvial fan facing the northern Italian Apennines: implications for groundwater management of vulnerable aquifers*. *Hydrology*, **8**(3), p. 118.
- CERVI F., TAZIOLI A., 2022 – *Inferring Hydrological Information at the Regional Scale by Means of  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  Relationships: Insights from the Northern Italian Apennines*. *Hydrology*, **9**(2), 41 pp.
- CHELLI A., SEGADELLI S., VESCOVI P., TELLINI C., 2016 – *Large-scale geomorphological mapping as a tool to detect structural features: The case of Mt. Prinzera ophiolite rock mass (Northern Apennines, Italy)*. *Journal of Maps*, **12**(5), pp. 770-776.
- CIVITA M., 2005 – *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 800 pp.
- CRAIG H., 1961 – *Isotopic variations in meteoric waters*. *Science*, **133**, pp. 1702-1703.
- DAVIS J.C., 2001 – *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, New York.
- ENGEL M., PENNA D., BERTOLDI G., VIGNOLI G., TIRLER W., COMITI F., 2019 – *Controls on spatial and temporal variability in streamflow and hydrochemistry in a glacierized catchment*. *Hydrology and Earth System Sciences*, **23**(4), pp. 2041-2063.
- EPSTEIN S., MAYEDA T., 1953 – *Variation of  $\text{O}^{18}$  content of waters from natural sources*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **4**, pp. 213-224.
- FREEZE R.A., CHERRY J.A., 1979 – *Groundwater*. Hemel Hempstead, Prentice-Hall International, 604 pp.
- GALLART F., FREYBERG J.V., VALIENTE M., KIRCHNER J.W., LLORENS P., LATRON J., 2020 – *An improved discharge sensitivity metric for young water fractions*. *Hydrology and Earth System Sciences*, **24**, pp. 1101-1107.
- GARGINI A., VINCENZI V., PICCININI L., ZUPPI G.M., CANUTI P., 2008 – *Groundwater flow systems in turbidites of the Northern Apennines (Italy): natural discharge and high-speed railway tunnel drainage*. *Hydrogeology Journal*, **8**(16), pp. 1577-1599.
- GUIZERIX J., FLORKOWSKI T., 1983 – *Streamflow measurements*. In: "Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology", IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 65-80.
- HORITA J., 1988 – *Hydrogen isotope analysis of natural waters using an  $\text{H}_2$ -water equilibration method: a special implication to brines*. *Chemical Geology*, **72**, pp. 89-94.
- ISAAK E.H., SRIVASTAVA R.M., 1989 – *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press.
- KENDALL C., McDONNELL J.J., 2012 – *Isotope tracers in catchment hydrology*. Elsevier.
- KIRCHNER J.W., 2016 – *Aggregation in environmental systems - Part 1: Seasonal tracer cycles quantify young water fractions, but not mean transit times, in spatially heterogeneous catchments*. *Hydrology and Earth System Sciences*, **20**, pp. 279-297.
- LEIBUNDGUT C., MALOSZEWSKI P., KÜLLS C., 2011 – *Tracers in Hydrology*. John Wiley & Sons, New York.
- McDONNELL J.J., 2003 – *Where does water go when it rains? Moving beyond the variable source area concept of rainfall runoff response*. *Hydrological Processes*, **17**, pp. 1869-1875.
- MERZ R., BLÖSCHL G., 2005 – *Flood frequency regionalisation - spatial proximity vs. catchment attributes*. *Journal of Hydrology*, **302**(1-4), pp. 283-306.
- MERZ R., BLÖSCHL G., 2009a – *Process controls on the statistical flood moments - a data based analysis*. *Hydrological Processes*, **23**(5), pp. 675-696.
- MERZ R., BLÖSCHL G., 2009b – *A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria*. *Water Resources Research*, **45**, W01405.
- MILLARES A., POLO M.J., LOSADA M.A., 2009 – *The hydrological response of base flow in fractured mountain areas*. *Hydrology and Earth System Sciences*, **13**(7), 1261 pp.
- OXTOBEE J.P., NOVAKOWSKI K., 2002 – *A field investigation of groundwater/surface water interaction in a fractured bedrock environment*. *Journal of Hydrology*, **269**(3), pp. 169-193.
- OXTOBEE J.P., NOVAKOWSKI K., 2003 – *Ground water/surface water interaction in a fractured rock aquifer*. *Ground Water*, **41**(5), pp. 667-681.
- PYRCE R., 2004 – *Hydrological low-flow indices and their use*. Watershed Science Centre, Report no. 04-2004, Peterborough, UK.
- SEGADELLI S., VESCOVI P., OGATA K., CHELLI A., ZANINI A., BOSCHETTI T., CELICO F., 2017 – *A conceptual hydrogeological model of ophiolite aquifers (serpentinised peridotite): The test example of Mt. Prinzera (Northern Italy)*. *Hydrological Processes*, **31**(5), pp. 1058-1073.

- SEGADELLI S., FILIPPINI M., MONTI A., CELICO F., GARGINI A., 2021 – *Estimation of recharge in mountain hard-rock aquifers based on discrete spring discharge monitoring during base-flow recession*. *Hydrogeology*, **29**, pp. 949-961.
- SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2016 – Available from: [https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia](https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia) (accessed on 24 May 2024).
- SHEATHER S., 2009 – *A Modern Approach to Regression with R*. Springer Science & Business Media, New York.
- TAZIOLI A., 2011 – *Experimental methods for river discharge measurements: Comparison among tracers and current meter*. *Hydrological Sciences Journal*, **56**, pp. 1314-1324.
- TAZIOLI A., CERVI F., DOVERI M., MUSSI M., DEIANA M., RONCHETTI F., 2019 – *Estimating the isotopic altitude gradient for hydrogeological studies in mountainous areas: are low-yield springs suitable? Insights from the Northern Apennines of Italy*. *Water*, **11**(9), 1764.



**Mauro Mandrioli\***

## **La natura in una galla: lo studio delle galle tra scienze naturali e storia della scienza**

### **Riassunto**

*Le galle, strutture di varia forma la cui presenza sulle piante può essere indotta da virus, batteri, funghi, insetti e acari, sono state oggetto di studio e di accesa discussione a partire dal Seicento. Sebbene oggi poco studiate, la discussione sulla loro presenza e sul variare delle loro forme ha caratterizzato gran parte della storia delle scienze della vita da Francesco Redi a Charles Darwin tanto che al loro interno si celano non solo interazioni simbiotiche complesse, ma anche un'ampia parte della storia delle scienze della vita. Ripercorrere lo studio delle galle (disciplina nota come cecidologia) ci permette quindi di ricostruire l'opera di importanti naturalisti del calibro di Francesco Redi, Marcello Malpighi e Antonio Vallisneri, ma anche di riscoprire l'opera di Alessandro Trotter, botanico che a Modena mosse i primi passi come giovane studente nella seconda metà dell'Ottocento.*

### **Abstract**

*The nature of galls: the study of galls in natural sciences and the history of science. Galls are structures of various shapes which have been investigated since the 17<sup>th</sup> century. They develop on plants due to viruses, bacteria, fungi, insects and mites. Although nowadays they are seldom studied, their presence and evolution has been discussed throughout the history of life sciences from Francesco Redi to Charles Darwin. Within galls, can be found not only complex symbiotic interactions but also a significant part of life science history. The analysis of the natural history of galls (a discipline known as cecidology) may allow not only the reconstruction of research carried out by important naturalists such as Francesco Redi, Marcello Malpighi and Antonio Vallisneri, but also the rediscovery of the work of the botanist Alessandro Trotter, who began his career as a young student in Modena in the second half of the 19<sup>th</sup> century.*

**Parole chiave:** galle, simbiosi, evoluzione, cecidologia

**Keywords:** galls, symbiosis, evolution, cecidology

---

\* Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via G. Campi n. 213/D, 41125 MODENA; e-mail: mauro.mandrioli@unimore.it.

## 1. Le galle e la generazione spontanea: Francesco Redi e l'origine di galle e insetti

Le galle, conosciute anche come cecidi, sono malformazioni a carattere escrescente che si formano sulle foglie, sui rami, sul tronco e sulle radici dei vegetali e dovute alla parassitosi di funghi, batteri, insetti o acari (Fig. 1). È in genere semplice riconoscere il tipo di parassita poiché ognuno di essi produce una galla differente per mezzo di un agente diverso.

Con le loro forme peculiari, le galle hanno attirato ben presto l'attenzione di numerosi naturalisti, tra cui quella del medico e naturalista italiano Francesco Redi (1626-1697), che a queste insolite strutture dedicò un intero manoscritto (Santini *et al.*, 1981). In particolare, Redi guardò con grande interesse non solo alla forma delle galle, ma anche alle possibili spiegazioni sulla loro origine, tanto che lui stesso riporta che per capirne la formazione «*nello spazio di tre o quattro anni, credo di aver aperto più di ventimila gallozzole*» (Onelli, 2017).

Alla luce di queste ripetute osservazioni, Redi suggerisce che, a suo avviso, «*la gallozzola nasce perché, arrivando la mosca nel tempo della primavera e facendo una piccolissima fessura né rami più teneri della quercia, in quella fessura nasconde uno de' suoi semi, il quale fosse cagione che sbocciasse fuori la gallozzola, e che mai non si vedessero galle o gallozzole o ricci o cornetti o calici o coccole, se non in que' rami nei quali le mosche avessero depositate le loro semenze; e mi dava ad intendere che le gallozzole fossero una malattia cagionata nelle querce dalle punture delle mosche*» (Redi, 1668). Le osservazioni di Redi lo inducono, quindi, a suggerire che la galla si formi nella pianta per l'azione di alcuni animali e, in particolare, in risposta all'attività di insetti. Nelle sue *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti* Redi, infatti, scrive: «*ardirò di dire francamente che (...) non ho mai potuto trovare in esse un sol ragno, ma sempre mosche e varie generazioni di moscherini e di vermi, secondo la diversità di quei mesi nei quali io le apriva. (...) Egli è però vero che alle volte in qualche gallozzola, ma però sempre pertugiata, io vi ho trovato alcun ragnateluccio, il quale, nato ed allevato fuor di quella, si è per avventura intanato nel suo foro per ripararsi dalle ingiurie della stagione, in quella guisa appunto che giornalmente veggiamo negli screpoli degli alberi e ne' buchi delle muraglie quasi tutti gli altri ragni ricoverarsi*» (Redi, 1668).

Sulla base di ulteriori analisi (le galle sono ricorrenti negli appunti di Redi negli anni 1666 e 1667, in cui sono riportate esperienze fatte a Livorno, Firenze, Pisa e Vallombrosa; cfr. Tongiorgi Tomasi & Tongiorgi, 1997), Redi ritiene di avere capito perfettamente il significato funzionale della galla, tanto che scrive che facendo attente osservazioni «*si vede evidentissimamente che la prima e principale intenzione della natura è formare dentro di quelle un animale volante; vedendosi nel centro della gallozzola un uovo che, col crescere e col maturarsi di essa gallozzola, va crescendo e maturando anch'egli, e cresce*



Fig. 1 – Esempi di galle conservate nell'erbario cecidologico del Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

*altresi a suo tempo quel verme che nell'uovo si racchiude; il qual verme, quando la gallozzola è finita di maturare e che è venuto il termine destinato al suo nascimento, diventa, di verme che era, una mosca; la quale, rompendo l'uovo*

*e cominciando a roder la gallozzola, fa dal centro alla circonferenza una piccola e sempre ritonda strada, al fine della quale pervenuta, abbandonando la nativa prigione, per l'aria baldanzosamente se ne vola a cercarsi l'alimento»* (Redi, 1668).

Come riportato in un manoscritto inedito, conservato presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Redi ritenne particolarmente significative alcune sue osservazioni condotte su una pianta di quercia, in cui ebbe modo di osservare che *«la galla coronata che di luglio fiorisce nelle querce da principio è di color rosso, e piccolissima al tatto viscosa, quindi ingrossando diventa verde e poscia capellina ridotta ch'elle alla conveniente maturità. Questa galla ha come nel centro di se medesima un solo uovo reale e vero col suo guscio bianco tal quale appunto è quello degli uccelli, dentro di cui si trova un verme bianchissimo che a poco a poco spuntando quattro ali, due delle quali sopravanzano colla lunghezza l'estensione del ventre inferiore, si cangia in mosca di color lionato con due lunghi cornetti in testa dello stesso colore composti di sottilissime articolazioni»* (Santini et al., 1981).

Già nella seconda metà del Seicento, Redi aveva dunque intuito che la formazione delle galle era indotta da alcuni animali e da insetti in particolare. Inoltre, a suo avviso la loro origine doveva essere necessariamente studiata ricorrendo a osservazioni sul campo, così da disporre di evidenze chiare, aspetto che, per sua stessa dichiarazione in *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti*, lo caratterizzano come *«nelle cose naturali il più incredulo uomo del mondo»*. Secondo Redi, quindi, si potevano formulare solamente su ciò era stato osservato direttamente, mentre tutto il resto non poteva che rimanere nel campo delle ipotesi (Onelli, 2017).

Il richiamo al metodo usato è interessante perché Redi, prendendo atto del fatto di non essere mai riuscito a osservare il momento esatto in cui il parassita depone l'uovo da cui trae origine la galla, ritenne di non avere sufficienti prove per sostenere che le galle fossero originate esclusivamente per l'induzione operata da animali, tanto da arrivare a suggerire che *«stimo non esser gran peccato in filosofia il credere che i vermi de' frutti sieno generati da quella stessa anima e da quella stessa natural virtude che fa nascere i frutti stessi nelle piante; e se bene in alcune scuole si tien per certo che una cosa men nobile non possa generarne una più nobile della generante, io me ne fo beffe, ed il solo esempio delle mosche e de' moscherini che nascono nelle gallozzole delle querce parmi che tolga via ogni dubbio: oltrechè questi nomi di più nobile e di men nobile son termini incogniti alla natura ed inventati per adattargli al bisogno delle opinioni or di questa or di quella setta, secondo che le fa di mestiere. Ma quando pure per le strepitose strida degli scolastici dovesse in ogni modo esser vero che dall'ignobili cose non si potessero produrre le più nobili, io non so per me vedere qual gran vergogna o quale stravagante paradosso*

*mai sarebbe il dire che le piante, oltre alla vita vegetativa, godessero ancora la sensibile, la quale le condizionasse e le facesse abili alla generazione degli animali che da esse piante son prodotti» (Redi, 1668). Secondo il naturalista italiano, infatti, l'origine degli insetti nelle galle era tutt'altro che univocamente provata, per cui «se poi que' così fatti bachi delle nocciuole sieno generati dalla virtù prolifica dell'albero, o pure vi sieno entrati per di fuori, non è così facile il determinarlo, imperocchè, dal vedersi che quasi tutte l'altre maniere di frutti generano da per sé i vermi, parrebbe che anco il nocciuolo dovesse generargli; dall'altra parte potrebb'essere argomento non dispregevole che v'entrino per di fuora» (Redi, 1668).*

Sebbene non si possa escludere che la prudenza di Redi sia da ricondurre, almeno in parte, alla volontà di non andare in conflitto con la chiesa cattolica (Santini *et al.*, 1981), al termine del proprio lavoro il naturalista italiano optò per una posizione di compromesso, che per altro divenne ben presto anche occasione di conflitto con il medico, anatomista e fisiologo Marcello Malpighi (1628-1694). Come infatti riporta Malpighi, secondo Redi si poteva ipotizzare che le galle avessero due differenti origini, per cui «una, perché venendo i bachi per di fuora e cercando l'alimento, col rodere si aprono la strada ed arrivano alla più interna midolla de'frutti e de'legni. L'altra maniera si è, che io per me stimerei che non fosse gran fatto disdicevole il credere che quell'anima o quella virtù, la quale genera i fiori, ed i frutti nelle piante viventi, sia quella stessa che generi ancora i bachi di esse piante. E chi sa forse che molti frutti degli alberi non sieno prodotti, non per un fine primario e principale, ma bensì per un uffizio secondario e servile, destinato alla generazione di que' vermi, servendo a loro in vece di matrice, in cui dimorino un prefisso e determinato tempo; il quale arrivato, escan fuora a godere il sole» (Malpighi, 1675-1679).

Considerato il ridotto interesse che oggi destano le galle in ambito scientifico, può essere sorprendente constatare che nella seconda metà del Seicento lo studio delle galle era al centro di un acceso dibattito tra coloro che sostenevano la generazione spontanea e quanti invece iniziavano a trovare questa proposta insostenibile in base alle osservazioni realizzabili in natura.

Per approfondire ulteriormente la posizione di Redi e capirne la natura [prudenza o eccesso di zelo?], può essere interessante riprendere alcuni punti presenti in una lettera che il naturalista toscano inviò al medico ferrarese Giuseppe Lanzoni (1665-1730). Il richiamo a questa lettera permette non solo di allargare lo sguardo sulla posizione di Redi sulle galle, ma anche di includere nella discussione alcune idee del botanico italiano Alessandro Trotter (1874-1967), che come vedremo nelle prossime sezioni di questo articolo, è stato tra i più attivi studiosi di cecidiologia in Italia tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento. In particolare, Trotter mise in serio dubbio che Redi fosse realmente convinto dell'origine spontanea degli insetti galligeni nelle

piante (Trotter, 1899) e questa sua proposta era in accordo con quanto avevano già proposto prima di lui sia Ranieri Gerbi nel 1794 che Carlo Livi nel 1858. Trotter, in particolare, ritenne interessante riprendere il passaggio di una lettera inviata da Redi a Giuseppe Lanzoni (la stessa citata anche da Livi) in cui Redi scriveva *«al suo buon gusto, o gentilissimo Sig. Lanzoni, non piace (...) la mia opinione circa l'anima delle piante che fa nascere li moscherini delle gallonzole delle querce (...); e per vero dire, me la lasciai cader dalla penna quasi per forza; spero però, se avrò vita e salute, di spiegarmi un poco meglio nel pubblicare altre mie osservazioni, quali vado ripulendo di giorno in giorno ed allora vedrà la luce la Storia de' vari e diversi frutti ed animali, che dalle querce e da altri alberi sono generati da me già promessa alla curiosità degli investigatori delle cose naturali»* (Trotter, 1899). Secondo questo testo, Redi non era in alcun modo un sostenitore della generazione spontanea, ma riteneva che fossero per lui necessarie ulteriori evidenze per giungere ad una conclusione scientificamente supportata, per cui Redi dichiarava di voler tornare con la dovuta calma su questo tema.

Una posizione diversa era stata, invece, suggerita da Gerbi (1794) che da un lato criticava Redi, ma dall'altro invitava a valutarne l'opera nel complesso tanto da scrivere: *«attribuì egli alle piante un'anima vegetativa, cui dette l'incarico di produrre queste escrescenze, e i loro abitatori, ma temendo che per un'anima semplicemente vegetativa fosse questa per avventura un'azione troppo nobile, era questi disposto a farla divenir sensitiva. Ella è in Vero cosa assai umiliante per lo spirito umano, e tale da ispirare la massima diffidenza di sé anche ai più esatti, e felici ragionatori, il vedere, che un uomo di sì raro ingegno abbraccia una sì ridicola ipotesi, e l'abbraccia dopo di averla lungamente tenuta in confronto con la verità, poiché egli era in principio molto inclinato a credere, che gl'insetti deponessero sulle foglie, e sulla scorza delle piante le loro uova, onde nascessero i vermetti, che trovansi entro le galle. La quale opinione si dice, che egli pienamente abbracciasse in ultimo, quando ebbe notizia delle osservazioni del Malpighi. Lo dice il Malpighi stesso in Oper. Posthum. Edit, Venet. pag. 78»* (Gerbi, 1794). Secondo Gerbi, pertanto, l'opera di Redi deve essere valutata nel suo complesso e tenendo conto del modo in cui il naturalista aretino affrontava i problemi scientifici che studiava.

Un interessante invito a giudicare con prudenza la posizione di Redi sulle galle venne formulato anche dal modenese Leonardo Salimbeni, secondo il quale l'aspetto principale risiedeva nel metodo usato da Redi (Salimbeni, 1863). In particolare, secondo Salimbeni, la chiave per risolvere il problema della presunta generazione spontanea degli insetti nelle galle risiedeva nell'avere a disposizione osservazioni precise: *«da lungo tempo l'uomo avido di sapere studiava il fenomeno della generazione e cercava di carpire alla natura il segreto delle riproduzioni animali e vegetali (...). Soltanto quando si imparò*

*ad osservare, si vide che gli individui di una data specie procreano individui della medesima specie e che la Provvidenza ha governato con prudenti e mirabilissime leggi la conservazione e propagazione degli animali che hanno vita, moto e senso in diverso grado*». La posizione di Redi doveva essere quindi ricondotta all'assenza di osservazioni dirette della deposizione delle uova, tanto che «*conviene però notare che il Redi stesso non mostrava in tale credenza quella convinzione che negli altri suoi scritti scaturisce piena e ferma, quale frutto di pazienti indagini e studi maturi*» (Salimbeni, 1863).

L'opera di Redi sulle galle non venne mai pubblicata, ma grazie ai suoi numerosi testi oggi disponibili, è ragionevole accogliere la proposta di Trotter e Salimbeni di non annoverare Redi tra i sostenitori della generazione degli insetti dalle piante, prendendo atto del fatto che la sua ipotesi «*benché assurda, sia stata solo temporanea*» (Salimbeni, 1863) e fu quindi il frutto di un lavoro che necessitava di ulteriori osservazioni prima di giungere a conclusioni da lui giudicate sufficientemente supportate.

## **2. Marcello Malpighi e Antonio Vallisneri: lo studio delle galle per la confutazione della generazione spontanea**

La proposta di Redi che le galle derivassero dalle virtù zoogenetiche delle piante venne aspramente critica da numerosi naturalisti italiani, tra cui in particolare Marcello Malpighi, che per primo si adoperò per porre in evidenza l'errore di Redi.

Partendo da attente osservazioni condotte sui “*bachi della frutta*” e sulla deposizione delle loro uova nei frutti, Malpighi aveva sviluppato l'idea che anche le galle delle querce avessero un'origine del tutto analoga. In particolare, Malpighi (a differenza di Redi) era riuscito a osservare un insetto galligeno nell'atto di pungere e introdurre nei germogli di una quercia il proprio apparato ovodepositore, giungendo pertanto alla conclusione che le galle fossero generate da un liquido che l'insetto iniettava nei tessuti vegetali, con la funzione di proteggere l'uovo deposto e poi alimentare la larva che ne sarebbe nata (Malpighi, 1675-1679). In particolare, le galle nella proposta di Malpighi si formavano per la reazione fra il veleno inoculato dagli insetti e un supposto acido vetriolico, contenuto nei tessuti vegetali. Questa proposta, in realtà suggerita senza reali evidenze, venne poi fatta propria (senza il riferimento all'acido vetriolico) anche da naturalisti del calibro di Friederich Hartig, Charles Darwin e Henri de Lacaze-Duthiers, che elevarono questa proposta a teoria (Malpighi, 1675-1679).

Nell'idea di Malpighi quanto osservato sulle galle era perfettamente in linea con le osservazioni fatte su altri viventi che vivono e si nutrono di tessuti o parte di piante. Quest'ultime sono, infatti, continuamente danneggiate da

molti insetti che le usano sia come alimento che per deporvi le uova con la conseguente produzione di strutture (le galle appunto), che svolgerebbero per la larva la funzione di una sorta di “*utero sostitutivo*” (Malpighi, 1675-1679). Malpighi assimila, quindi, gli animali che inducono le galle (oggi chiamati zoocecidi) alle “*mosche*”, che depongono le proprie uova nella frutta per favorire lo sviluppo delle loro larve. In particolare, Malpighi assimila l’ovopositore degli insetti galligeni a quello dell’ape per il fatto che in entrambi i casi è presente una struttura cava, tramite cui viene iniettato un veleno, che nel caso degli zoocecidi non serve per uccidere la preda o il nemico, ma per indurre la formazione della galla.

Questo raffronto è decisamente evocativo, perché anche il naturalista inglese Charles Darwin ne *L’Origine delle specie* (1864) fece un paragone del tutto simile, tanto che da suggerire che «*il pungiglione dell’ape sia in origine stato impiegato da un remoto progenitore a guisa di strumento per perforare o per segare (non altrimenti di ciò che si osserva in molti altri membri dello stesso grande ordine), e che fu poi modificato, ma non perfezionato, per l’oggetto a cui serve presentemente, col veleno dapprima adatto ad altro ufficio, come, per esempio, a produrre delle galle*» (Darwin C., 1864).

Un aspetto di novità introdotto da Malpighi è legato al fatto che secondo le sue osservazioni al variare delle necessità alimentari e più in generale delle esigenze degli insetti galligeni, potevano cambiare sia le piante ospiti usate, che la parte della pianta utilizzata, a giustificare il fatto che le galle avessero forme differenti e comparissero solamente su alcune piante e non su altre (Malpighi, 1675-1679). Come però ben evidenziato dal botanico Caro Benigno Massalongo (1898), Malpighi non realizzò che forme diverse a volte rispecchiavano semplicemente un diverso stadio di sviluppo della stessa galla e dall’altro «*Malpighi non sembra aver intuito che determinati animali fossero sempre gli autori di determinate galle, in guisa cioè che dai caratteri di quest’ultime si poteva determinare la specie del cecidiozoo che le generava*» (Massalongo, 1898).

La proposta di Malpighi sull’origine delle galle venne ulteriormente sviluppata da Antonio Vallisneri (che con Malpighi si era formato all’Università di Bologna), il quale si dedicò con grande attenzione al tema ampiamente dibattuto dell’origine delle galle delle querce, dei salici e di altre piante al fine di confutare la tesi della loro generazione spontanea proposta da Redi (Generali, 2019). Le difficoltà incontrate dal naturalista padovano non furono però poche, data la molteplicità di insetti che, pur senza averle prodotte, può utilizzare le galle come rifugio (Giannetti *et al.*, 2021). Vallisneri, inoltre, non poteva sapere che non sono solamente gli insetti che possono indurre la formazione di galle (che possono essere causate anche da acari, batteri, virus e funghi), così come ignorava il fatto che anche gli afidi (che essendo partenogenetici non

producono uova) ne possono indurre la formazione (Massalongo, 1898). Nonostante queste difficoltà, Vallisneri riuscì a mettere in atto una straordinaria attività di ricerca, che lo portò a sviluppare «tecniche e abilità di osservazione particolarmente raffinate, in grado di cogliere con chiarezza anche particolari minuti in contesti ambientali assai difficoltosi da penetrare per il naturalista» (Generali, 2019).

Mettendo a frutto l'esperienza acquisita studiando i parassiti di diversi animali, Vallisneri si dedicò allo studio delle galle presenti su querce, olmi e altre piante, registrando numerose osservazioni nei suoi *Quaderni* (Generali, 2019). In particolare, il naturalista padovano studiò con attenzione il ciclo biologico degli insetti che vedeva nelle galle, mostrando che alcuni di questi in realtà realizzavano il proprio ciclo vitale usando galle già presenti sulle piante (e non da loro create), raccolse galle che rinchiuso in vasetti e annotò moltissime osservazioni, tanto da arrivare a supportare la proposta di Malpighi con una enorme quantità di prove ed osservazioni (Generali, 2019).

La memoria scientifica più significativa fu pubblicata da Vallisneri prima nel 1706, con lo pseudonimo di Ettore della Valle, e poi nel 1713 in forma di *Lettera al Signor Lorenzo Patarol*. In tali opere il naturalista patavino illustrava con numerosi dettagli il ciclo biologico della mosca dei rosai (responsabile della formazione delle galle sulla rosa canina), includendo anche la descrizione delle modalità di deposizione delle sue uova nella corteccia delle rose e la struttura del suo aculeo ovopositore. A queste opere, Vallisneri fece poi seguire la pubblicazione delle *Riflessioni intorno la maniera sinora creduta del nascere degl'insetti*, in cui confutava definitivamente non solo la tesi della generazione spontanea, ma anche quella della nascita dei galligeni dalle piante (Generali, 2019). Le pagine dedicate da Vallisneri alle galle sono, ancora oggi, di particolare interesse storico, perché mostrano non solo la sua scrittura vivace ed efficace nel dare testimonianza delle osservazioni fatte, ma anche le sue capacità di inserirle in una prospettiva teorica solida, mirata alla comprensione delle leggi naturali, di cui le galle divengono casi esemplari.

### **3. Tra galle e collezioni cecidologiche: Alessandro Trotter e lo studio delle galle tra fine Ottocento e inizio Novecento**

Tra i naturalisti che hanno fornito i contributi più interessanti alla storia naturale delle galle vi è sicuramente il botanico Alessandro Trotter, che si dedicò non solo alla ricerca di galle e alla loro sistematica, ma anche alla ricostruzione della loro storia naturale. In particolare, Trotter arrivò a suggerire che la forma e la struttura delle galle fosse il frutto di una continua evoluzione, in cui la capacità cecidiogena negli animali si era andata perfezionando nel corso del tempo, così come quella delle piante di ridurre il danno che le galle potevano

arrecare. «*Quale è – si chiedeva Trotter – la compartecipazione propria dei due simbiotici nel determinare le particolarità morfologiche della galla? Quale cioè la parte spettante al cecidozoo e quale alla pianta?*» (Trotter, 1922).

Come ben riassumeva Trotter, per molto tempo si è attribuito «*al cecidozoo una facoltà quasi onnipotente, come se da questa dovesse esclusivamente dipendere tutta la costruzione della galla, fino nei suoi più minuti particolari*». Tra coloro che proponevano una simile visione di evoluzione delle galle possiamo annoverare anche il naturalista inglese Charles Darwin che, nel capitolo dell'*Origine delle specie* (1864) dedicato agli effetti dell'abitudine e dell'uso e non-uso degli organi, suggeriva che il variare della forma delle galle riflettesse un cambiamento nella composizione del "veleno" dell'insetto che induceva la galla. Scriveva infatti Darwin: «*alcuni fatti, come sarebbero i tumori complicati e straordinari che si formano invariabilmente nelle piante per effetto di una gocciolina di veleno di un insetto che produce galle, dimostrano quali particolari modificazioni possano risultare nelle piante da un cambiamento chimico nella natura del succo*».

Nella proposta di Trotter la pianta giocava, invece, un ruolo attivo nella formazione della galla, che spiegherebbe anche il fatto che le galle di una data specie di insetto si formano solamente in alcune parti della pianta e non in altre: «*La compartecipazione morfologica della pianta è invece, io ritengo, diretta e attiva, non inferiore, per lo meno, a quella che dobbiamo ritenere propria dell'insetto*» (Trotter, 1922). La galla è dunque frutto dell'interazione tra la capacità del cecidozoo di indurne la formazione e quella della pianta di costruire la galla in determinati momenti e tessuti raggiungendo, quindi, una sorta di compromesso tra le necessità dell'ospite/parassita e quello della pianta o, volendo riprendere la proposta di Trotter, il compromesso «*tra due forze contrarie (...) ma tendenti all'equilibrio*» (Trotter, 1922). Spingendosi ulteriormente in avanti nella propria proposta, Trotter arrivò anche a suggerire che «*lo schema morfologico sia fornito dalla pianta e per nulla determinato dal cecidozoo*» (Trotter, 1922), ad indicare che la galla fosse una sorta di deviazione nello sviluppo morfologico della pianta, ma che tale variazione era però vincolata dalle specifiche caratteristiche dei tessuti in cui essa veniva a formarsi. Il galligeno non determinerebbe quindi la forma della galla, ma semplicemente l'instaurarsi della deviazione morfologica, rendendo il cecidozoo «*destinato a fornire un eccitamento generico alla produzione della galla*» (Trotter, 1922). Andando nei fatti (seppure non citato) a riprendere il ragionamento suggerito da Darwin sulle galle, Trotter riteneva che «*l'ammettere per ogni specie di galla la necessità di un liquido qualitativamente diverso, dalla cui influenza diretta dovrebbero sorgere tutte le più piccole particolarità morfologiche strutturali della galle, parmi ipotesi così artificiosa ed incompleta (...) da non potersi neppure discutere*» (Trotter, 1922).

Le galle sarebbero pertanto, nella proposta formulata da Trotter, attestazioni della plasticità morfologica delle piante e sarebbero in grado di svilupparsi solamente in piante con una *attitudine o predisposizione* (Trotter, 1922) innata alla produzione di nuove strutture. La presenza di modificazioni o variazioni nelle galle non rispecchierebbe altro che l'azione di fenomeni evolutivi anche perché «*essendo le galle produzioni di remotissima esistenza, debbono aver accompagnato l'evoluzione della pianta (...) seguendola nelle sue vicissitudini geografiche*» (Trotter, 1922).

Quest'ultimo passaggio è molto interessante perché da un lato pone il tema dell'antichità della formazione delle galle e dall'altro però lascia aperti importanti quesiti sul perché si formino le galle. Su quest'ultimo punto Trotter prende le distanze da posizioni comuni a inizio Novecento che nei fatti rimandano a idee lamarckiane dell'evoluzione. Ad esempio, secondo il naturalista e botanico italiano Edoardo Beccari: «*mi sembra che vi siano motivi per credere che anche nella produzione delle galle (...) abbia una gran parte l'eredità. Forse in principio, gli insetti offendendo i rami e foglie di certe piante per depositare le uova non davano luogo a produzioni di galle, ma cagionavano solo delle ferite ingiuriose. Nel seguito, il continuo stimolo ha dato origine alle escrescenze o galle rendendo così compatibile la presenza degli insetti colla salute delle piante. Secondo questo modo di vedere, la galla non potrebbe formarsi altro che in quelle specie, varietà o razze nelle quali gli stimoli degli insetti galligeni hanno avuto luogo costantemente e per lungo tempo*» (Beccari, 1884-1886).

La galla rappresenterebbe la risposta a uno stimolo ripetuto della pianta da parte del galligeno. Questa idea è ulteriormente ribadita da Beccari che nello stesso articolo scrive: «*nelle lesioni in cui si vengono ad interessare delle cellule nelle quali il protoplasma sia allo stato plastico, questo potrà irritarsi, contrarsi, agglomerarsi e dar luogo a segmentazione anormale e a sviluppo straordinario di tessuto cellulare. Ciò è quanto si osserva nella produzione delle galle. L'alterazione subita potrà rendersi ereditaria, se la lesione sarà più volte ripetuta nel medesimo luogo ed in identiche circostanze*» (Beccari, 1884-1886).

La proposta di Beccari riprende pienamente diversi elementi della teoria formulata dal naturalista francese Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829), che vedeva le modificazioni morfologiche come il risultato di uno stimolo persistente e la possibilità di una loro successiva trasmissione grazie all'eredità dei caratteri acquisiti (Lamarck, 1809). È, inoltre, molto interessante il riferimento all'*irritarsi e contrarsi* del protoplasma, che richiama l'opera del medico inglese Erasmus Darwin – nonno di Charles – anch'esso sostenitore dell'eredità dei caratteri acquisiti, secondo cui i sistemi sensoriali sia animali che vegetali si baserebbero sugli effetti dell'irritazione dello *Spirito di Animazione* da cui deriverebbero contrazioni alla base del sistema sensoriale degli animali (Darwin E., 1803).

A differenza di Beccari, Trotter non ritenne particolarmente interessante fare ipotesi su come le piante hanno evoluto la capacità di formare le galle, quanto di doversi concentrare sui meccanismi alla base della loro formazione. In merito a questo aspetto, Trotter riprese alcune proposte formulate dallo zoologo ed entomologo inglese Theodore Dru Alison Cockerell (1866-1948), secondo cui le galle rappresentano una sorta di compromesso tra galligeno e pianta. Nello specifico, la galla non sarebbe una risposta non controllata dei tessuti della pianta all'azione del galligeno (non sarebbe quindi una sorta di tumore), quanto una precisa strategia per arginare i danni che le infestazioni di insetti potrebbero arrecare alle piante: *«supponiamo ora che tutti i vegetali che si nutrono internamente fossero originariamente minatori di foglie, ma che alcuni avessero la tendenza a causare rigonfiamenti in cui si nutrivano. Questi ultimi sarebbero meno dannosi alle piante, e maggiore sarà la vitalità delle piante, maggiore sarà il loro nutrimento; e così a poco a poco le galle globulari e le altre galle altamente specializzate e meno dannose si svilupperebbero, per selezione naturale, a beneficio non solo dell'insetto, ma anche della pianta»* (Cockerell, 1890). Secondo l'entomologo inglese in assenza di galle le piante sarebbero danneggiate eccessivamente dai galligeni, tanto che a suo avviso *«se tutti i produttori di galle oggi esistenti potessero improvvisamente essere trasformati in minatori di foglie, i generi Quercus, Rosa e Salix, ora così dominanti, scomparirebbero in breve tempo dalla faccia della terra»* (Cockerell, 1890).

La proposta di Cockerell apparve a Trotter eccessivamente finalistica, tanto da classificarla come una sorta di teleologismo evolutivo, ma il botanico italiano trovò invece interessante il suggerimento che piante e cecidozoi potessero contribuire in pari modo alla formazione delle galle, la cui presenza era il frutto di una coevoluzione. Sebbene fosse perplesso sulla possibilità che ci potessero essere parallelismi tra la filogenesi delle piante e quelle dei galligeni, Trotter osservava che esiste *«uno sviluppo assai variabile della attitudine cecidogenetica presso le specie talora di uno stesso genere (...). In altri termini a galle poco differenziate potrebbero corrispondere tipi più evoluti di cecidozoi od anche viceversa»* così che esisterebbe una *«indipendenza evolutiva delle galle dall'evoluzione sistematica dei cecidozoi»* (Trotter, 1922). Trotter suggeriva dunque che la comparsa della capacità di formare galle non fosse il frutto di una evoluzione lineare, quanto di una convergenza evolutiva indipendente, comparsa, probabilmente, in tempi differenti in un insieme molto eterogeneo di *taxa* che rappresentano gli attuali cecidozoi. Questo aspetto è di particolare interesse perché Trotter rifuggiva dalla tentazione di usare le forme attuali delle galle per costruire serie evolutive lineari nella loro evoluzione, consapevole del fatto che ciò che noi oggi vediamo può solo in parte raccontare ciò che è avvenuto in passato.

A questo proposito Trotter si interrogava anche in merito a quanto fosse antica la capacità di indurre la formazione delle galle e in particolare si chiedeva se essa fosse comparsa una sola volta nel corso dell'evoluzione oppure se si fosse originata molteplici volte in modo indipendente nelle specie galligene: «*La facoltà cecidogenetica ha essa preceduto o seguito la differenziazione sistematica dei cecidozoi? In altre parole, tale facoltà si è sviluppata nei cecidozoi attuali posteriormente alla differenziazione dei loro caratteri morfologici specifici?*» (Trotter, 1921-1923). Purtroppo, l'assenza di adeguati strumenti di indagine rese impossibile nella prima parte del Novecento dare risposte adeguate a questo quesito, che solo nell'ultimo decennio è stato risolto grazie alla genetica molecolare.

#### **4. Lo studio delle galle nelle bioscienze moderne**

A distanza di oltre trecentocinquanta anni dalla pubblicazione di Redi (1668), le galle continuano ad essere un ricorrente oggetto di studio, anche grazie al ricorso a vere e proprie collezioni definite raccolte cecidologiche (Fig. 2). Ad oggi, ad esempio, è nota la loro presenza in circa 15.000 specie di piante vascolari in tutto il mondo (Dreger-Jauffret & Shorthouse, 1992; Espírito-Santo & Fernandes, 2007; Mandrioli *et al.*, 2024), così come è stata ampiamente studiata sia la loro forma che il modo in cui la forma delle galle è legata sia alla tipologia di pianta che di specie galligena (Raman *et al.*, 2005). Le galle possono, infatti, avere forme diverse, che vanno da semplici strutture sferiche a forme più complesse, che includono spine o strutture intricate, ma il loro aspetto esterno è solitamente influenzato in particolare dallo specifico agente galligeno (Raman *et al.*, 2005; Mandrioli *et al.*, 2024). Ad esempio, una caratteristica distintiva delle galle originate da insetti risiede nella loro simmetria esterna, che può essere radiale o bilaterale, mentre le galle di origine batterica e fungina hanno solitamente morfologie amorfe (Raman *et al.*, 2005; Mandrioli *et al.*, 2024).

In modo sorprendente, considerata la grande abbondanza di piante che formano galle e l'elevato numero di naturalisti che le hanno studiate, la conoscenza dei meccanismi molecolari alla base della formazione delle galle è ancora scarsa e, sorprendentemente, numerose domande sulla loro origine sono ancora senza risposta (Giron *et al.*, 2016; Takeda *et al.*, 2019; Maderspacher, 2021). Ad esempio, è ancora in corso un'ampia discussione in merito a quanto le proprietà della galla siano determinate dai geni della specie galligena e quale sia invece il ruolo dei geni delle piante (Maderspacher, 2021), sebbene un crescente numero di pubblicazioni stia da alcuni anni suggerendo che siano i geni della pianta a determinare sia la forma che la posizione della galla sulla pianta (Takeda *et al.*, 2019). È però interessante osservare che le galle indotte

da insetti di specie filogeneticamente molto vicine sulla stessa specie vegetale (come accade con diverse specie di vespe cinipidi su piante di quercia) sono facilmente distinguibili per forma, tanto che la varietà delle galle è utilizzata per definire la biodiversità dei galligeni presenti.



Fig. 2 – Esempio di raccolta cecidologica. Questa raccolta venne assemblata e distribuita dal botanico ed entomologo Willem Marius Docters Van Leeuwen ed è oggi conservata presso il Museo Botanico dell'Università di Padova.

Il fatto che vi sia una stretta relazione tra la forma della galla e il genoma della specie galligena ha spinto alcuni Autori a suggerire che le galle possano rappresentare una sorta di fenotipo esteso [riprendendo un termine introdotto dall'evoluzionista inglese Richard Dawkins nel 1982] del galligeno, in cui un gene in un organismo (l'induttore della galla) manifesta il fenotipo corrispondente unicamente in un'altra specie (la pianta) da cui è separata da miliardi di anni di evoluzione (Raman *et al.*, 2005; Maderspacher, 2021).

Grazie alla possibilità, oggi molto comune, di studiare processi biologici a livello molecolare, è emerso che i geni utilizzati da batteri, acari e insetti per indurre la formazione di galle non solo sono diversi, ma appartengono a famiglie geniche che svolgono funzioni molto differenti (Zhao *et al.*, 2015; Schultz *et al.*, 2019; Korgaonkar *et al.*, 2021), a suggerire che la capacità di indurre le galle potrebbe essere stata più volte “inventata” nel corso dell'evoluzione da più specie galligene in modo indipendente. In modo analogo, è stato osservato che alcune piante hanno sviluppato una sorta di resistenza all'azione delle specie galligene, tanto che, ad esempio, all'interno di uno stesso genere (quale, ad esempio, il genere *Quercus*) possono essere presenti piante in cui nessun ospite è in grado di indurre la formazione di galle (Dreger-Jauffret & Shorthouse, 1992). Ciò significa che le piante hanno, in un certo senso, costretto le specie galligene a evolvere nuovi meccanismi molecolari per alterare lo sviluppo della pianta e favorire la formazione delle galle (Zhao *et al.*, 2015; Schultz *et al.*, 2019; Korgaonkar *et al.*, 2021). È interessante osservare che le specie galligene nei fatti sono dei formidabili *biohacker* che hanno evoluto la capacità di manipolare con precisione il genoma vegetale a proprio vantaggio (Schultz *et al.*, 2019).

A rendere ancora più interessante l'evoluzione dei meccanismi molecolari per la formazione delle galle, vi è l'osservazione secondo cui in alcuni insetti un ruolo determinante nell'induzione della galla è svolto da batteri simbiotici dell'insetto (Gätjens-Boniche, 2019). Partendo da osservazioni simili, gli entomologi Bartlett & Connor (2014) hanno ipotizzato che alcuni insetti potrebbero non aver evoluto in modo indipendente la capacità di indurre le galle, ma avrebbero acquisito i geni necessari da batteri che ospitavano come endo-simbionti. Nel complesso, quindi, le galle sembrano essere esempi perfetti di quelle infinite forme belle e meravigliose che Darwin citava a conclusione de *L'origine delle specie*.

Sebbene siano ancora oggi necessarie ulteriori analisi per comprendere meglio l'induzione delle galle, è però possibile abbandonare l'idea che le galle siano banali escrescenze vegetali o semplicemente ammassi assimilabili a tumori, perché esse sono strutture ben definite, che derivano da precise, seppure ancora non chiarite, interazioni molecolari, motivo per cui, non sarà il solo Redi ad “aver aperto più di ventimila gallozzole” per carpirne i segreti.

## Bibliografia

- BARTLETT L., CONNOR E.F., 2014 – *Exogenous phytohormones and the induction of plant galls by insects*. *Arthropod-Plant Interactions*, **8**, pp. 339-348.
- BECCARI O., 1884-1886 – *Piante ospitatrici. Raccolta di osservazioni botaniche intorno alle piante dell'arcipelago Indo-Malese e Papuano pubblicata da Odoardo Beccari, destinata principalmente a descrivere ed illustrare le piante da esso raccolte in quelle regioni durante i viaggi eseguiti dall'anno 1865 all'anno 1878*. Reale Istituto di Studi Superiori Pratici e di Perfezionamento, vol. **2**, pp. 7-284, Firenze.
- COCKRELL T., 1890 – *Galls*. *Nature*, **41**, pp. 344-386.
- DARWIN C., 1864 – *Sulla origine delle specie per elezione naturale, ovvero conservazione delle razze perfezionate nella lotta per l'esistenza*. Traduz. a cura di Giovanni Canestrini & Leonardo Salimbeni, Zanichelli, Modena.
- DARWIN E., 1803 – *Zoonomia ovvero leggi della vita organica*. 6 Voll., Pirotta, Milano.
- DAWKINS R., 1982 – *The extended phenotype*. Oxford University Press - New York, USA.
- DREGER-JAUFFRET F., SHORTHOUSE J.D., 1992 – *Diversity of gall-inducing insects and their galls*. In: J.D. Shorthouse & O. Rohfritsch (eds.) "Biology of insect-induced galls", pp. 8-33, Oxford University Press.
- ESPIRITO-SANTO M.M., FERNANDES G.W., 2007 – *How many species of gall-inducing insects are there on earth, and where are they?* *Annals of the Entomological Society of America*, **100**, pp. 95-99.
- GÄTJENS-BONICHE O., 2019 – *The mechanism of plant gall induction by insects: revealing clues, facts, and consequences in a cross-kingdom complex interaction*. *Revista de Biologia Tropical*, **67**, pp. 1359-1382.
- GENERALI D., 2019 – *Un fronte della battaglia contro la tesi della generazione spontanea. Gli studi di Antonio Vallisneri sull'origine degli insetti delle galle e di altri parassiti di piante e animali*. In: D. Generali (a cura di) "Ex ovo omnia. Parassitologia e origine delle epidemie nelle ricerche e nell'opera di Antoni Vallisneri", Olschki Editore, Firenze.
- GERBI R., 1794 – *Storia naturale di un nuovo insetto*. Cambiagi, Firenze.
- GIANNETTI D., MANDRIOLI M., SCHIFANI E., CASTRACANI C., SPOTTI F.A., MORI A., GRASSO D.A., 2021 – *First report on the acrobat ant *Crematogaster scutellaris* storing live aphids in its oak-gall nests*. *Insects*, **12**, e108.
- GIRON D., HUGUET E., STONE G.N., BODY M., 2016 – *Insect-induced effects on plants and possible effectors used by galling and leaf-mining insects to manipulate their host-plant*. *Journal of Insect Physiology*, **84**, pp. 70-89.
- KORGAONKAR A., HAN C., LEMIRE A.L., SIWANOWICZ I., BENNOUNA D., KOPEC R.E., ANDOLFATTO P., SHIGENOBU S., STERN D.L., 2021 – *A novel family of secreted insect proteins linked to plant gall development*. *Current Biology*, **31**, pp. 1836-1849.
- LAMARCK J.B., 1809 – *Philosophie zoologique*. Dentu, Paris. Traduz. italiana di G. Barsanti "Filosofia zoologica", La Nuova Italia, Firenze (1976).
- LIVI C., 1858 – *Opuscoli di storia naturale di Francesco Redi con un discorso e note di Carlo Livi*. Le Monnier, Firenze.
- MADERSPACHER F., 2021 – *Cecidology: anatomy of a biohack*. *Current Biology*, **31**, pp. R430-R433.
- MALPIGHI M., 1675-1679 – *Anatome Plantarum*. Johannis Martyn, Londini.
- MANDRIOLI M., TONETTI L., BELTRAME T., CANADELLI E., 2024 – *From galls to cecidological herbaria: the role of gall collections in modern life sciences*. *Life*, **14**, e452.
- MASSALONGO C., 1898 – *Le galle nell'Anatome Plantarum di M. Malpighi*. *Malpighia*, **12**, p. 25.
- ONELLI C., 2017 – *La retorica dell'esperimento: per una rilettura delle Esperienze intorno alla generazione degli insetti (1668) di Francesco Redi*. *Italian Studies*, **72**, pp. 42-57.
- RAMAN A., SCHAEFER C.W., WITHERS T.M., 2005 – *Galls and gall-inducing arthropods: an overview of their biology, ecology, and evolution*. In: A. Raman, C.W. Schaefer & T.M. Withers (eds.) "Biology, ecology, and evolution of gall-inducing arthropods", pp. 1-33, Science Publishers Inc., New Hampshire, USA.
- REDI F., 1668 – *Esperienze intorno alla generazione degli insetti*. All'Insegna della Stella, Firenze.
- SALIMBENI L., 1863 – *Sulla eterogenia ovvero sulla generazione spontanea*. Zanichelli, Modena.
- SANTINI L., TOMASI TONGIORGI L., TONGIORGI P., 1981 – *Francesco Redi e il problema delle galle: un manoscritto inedito e la relativa iconografia*. *Redia*, **XIV**, pp. 349-388.
- SCHULTZ J.C., EDGER P.P., BODY M.J.A., APPEL H.M., 2019 – *A galling insect activates plant reproductive programs during gall development*. *Science Reports*, **9**, e1833.
- TAKEDA S., YOZA M., AMANO T., OHSHIMA I., HIRANO T., SAT M.H., SAKAMOTO T., KIMURA S., 2019 – *Comparative*

*transcriptome analysis of galls from four different host plants suggests the molecular mechanism of gall development.* PLoS One, **14**, e0223686.

- TONGIORGI TOMASI L., TONGIORGI P., 1997 – *Il naturalista e il cappellano. Osservazione della natura e immagini dal naturale in Francesco Redi.* In: W. Bernardi, G. Pagliano, L. Santini, F. Strumia, L. Tongiorgi Tomasi & P. Tongiorgi (a cura di) “Natura e immagine. Il manoscritto di Francesco Redi sugli insetti delle galle”, EtS Edizioni, Pisa.
- TROTTER A., 1899 – *Credette Redi davvero che le galle e i produttori di esse fossero generati da un’anima generativa delle piante?* Bollettino della Società Veneto-Trentina di Scienze Naturali, **6**, pp. 1-7.
- TROTTER A., 1921-23 – *Intorno all’evoluzione morfologica delle galle.* Marcellia, **XX**, pp. 85-92.
- TROTTER A., 1922 – *Intorno all’evoluzione morfologica delle galle.* Marcellia, **XIX**, pp. 120-137.
- ZHAO C., ESCALANTE L.N., CHEN H., BENATTI T.R., QU J., CHELLAPILLA S., WATERHOUSE R.M., WHEELER D., ANDERSSON M.N., BAO R., 2015 – *A massive expansion of effector genes underlies gall formation in the wheat pest Mayetiola destructor.* Current Biology, **25**, pp. 613-620.





**Marco Palmieri\***, **Sandro Marsigli\*\***,  
**Alessandro Margelli\*\*\***

## **I molluschi terrestri e dulcicoli della Collezione Sgargi**

### **Riassunto**

*Nel presente contributo vengono descritti i reperti pertinenti alle malacofaune terrestri e dulcicole della Collezione di conchiglie mediterranee di Giovanni Battista Sgargi acquisita nel 2023 dal CISNIAR (Centro Italiano Studi Nidi Artificiali) e attualmente ospitata nei depositi del Museo Civico di Ecologia e Storia Naturale di Marano sul Panaro.*

### **Abstract**

*The land and freshwater molluscs of the Sgargi Collection. This article describes the finds pertaining to the land and freshwater gastropods from the collection of Mediterranean shells by Giovanni Battista Sgargi (1930-2023). The Sgargi Collection was acquired in 2023 by the Italian Study Centre for Nestboxes (CISNIAR) and is now kept in the deposits of the Civic Museum of Ecology and Natural History of Marano s/P (Modena, Italy).*

**Parole chiave:** *Malacofauna terrestre e dulcicola, Collezione Sgargi, Museo di Storia Naturale di Marano s/P*

**Keywords:** *Land and freshwater gastropods, Sgargi Collection, Natural History Museum, Marano s/P, Italy*

---

\* Archeologo, Via A. Ferrari 1, 40056 VALSAMOGGIA (BO); e-mail: palma\_bo@libero.it.

\*\* Museo Civico di Ecologia e Storia Naturale, Piazza G. Matteotti 28, 41054 MARANO SUL PANARO (MO); e-mail: museo@cisniar.it.

\*\*\* Malacologo, Via Cerretti 77, 56020 SANTA MARIA A MONTE (PI); e-mail: margelli51@gmail.com.

## 1. Premessa

La Collezione di Giovanni Battista Sgargi (Bologna, 24/06/1930 – ivi, 01/02/2023) era in origine costituita principalmente da conchiglie marine di provenienza extra-mediterranea e mediterranea. Alla morte dell'Autore, i lotti della collezione extra-mediterranea sono stati dispersi, mentre tutti i lotti riguardanti le malacofaune mediterranee sono stati acquisiti dal Centro Italiano Studi Nidi Artificiali (CISNIAR), con sede presso il Museo Civico di Ecologia e Storia Naturale di Marano sul Panaro (MO), e trasferiti nei depositi del Museo stesso. In attesa di una loro stabile collocazione espositiva, sono in corso attività di restauro e catalogazione dei reperti in questione, attività che verranno portate a termine, si stima, entro la fine dell'anno venturo.

Tra i materiali acquisiti dal CISNIAR sono presenti alcuni lotti di conchiglie di specie terrestri e dulcicole, cui si presenta di seguito una sintetica disamina.

## 2. Materiali e metodi

Per il riconoscimento dei resti malacologici sono stati consultati i seguenti testi: Girod *et al.* (1980), Giusti & Pezzoli (1980), Liberto *et al.* (2010), Glöer (2019).

Per l'inquadramento tassonomico delle specie si è fatto principalmente riferimento a Bank & Neubert (2017), Glöer (2019) e Bodon *et al.* (2021).

Le conchiglie sono state determinate e conteggiate a occhio nudo o con l'ausilio di microscopio digitale con ingrandimento 10X-280X e per almeno un esemplare di ciascuna specie sono state realizzate riprese fotografiche ad alta definizione<sup>1</sup>.

Contestualmente è stato valutato e documentato lo stato di pulizia e conservazione dei reperti, intervenendo in particolare con l'immediato lavaggio dei medesimi<sup>2</sup> ove riscontrate evidenze del cosiddetto *decadimento di Byne*, processo chimico corrosivo che interessa i resti conchigliari stabulati in modo non opportuno (contesti umidi, a diretto contatto o in prossimità di materiali in grado di produrre vapori acidi).

A seguito delle operazioni sopra descritte, le conchiglie sono state generalmente ricollocate nei contenitori originali, questi ultimi sostituiti solo in relazione a specifiche criticità nella conservazione dei reperti.

Per ciascun lotto è stato compilato un cartellino cartaceo contenente i dati di seguito elencati:

---

<sup>1</sup> Per le riproduzioni è stata utilizzata una fotocamera digitale Canon EOS R. Per le conchiglie di medie e grandi dimensioni è stato utilizzato un obiettivo a messa a fuoco manuale Canon FD 50 mm macro, mentre per le riproduzioni a più elevato ingrandimento (2X e oltre) si è utilizzata un'ottica Canon macrophoto 35 mm con tubi di prolunga.

<sup>2</sup> Secondo quanto indicato dalla letteratura scientifica sull'argomento (cfr. Cavallari *et al.*, 2014).

- Nuovo codice alfanumerico identificativo del lotto (ove non presente un codice identificativo originale);
- Nome della specie o delle specie presenti;
- Numero di esemplari presenti per ciascuna specie.

Il cartellino in questione, temporaneo e funzionale in primo luogo alle operazioni di censimento dei reperti non accompagnati da adeguati supporti informativi, è stato redatto su carta di colore rosso per consentirne un agevole riconoscimento rispetto ai cartellini originali della collezione, senza eccezioni scritti a mano o stampati su carta o cartoncino di colore bianco.

Le informazioni relative a ciascun lotto sono state inserite in un database generale appositamente realizzato per sistematizzare l'intera collezione.

### 3. Risultati

Fanno parte della Collezione Sgargi 730 esemplari di malacofaune dulcicole o igrofile pertinenti a 10 differenti specie e 299 esemplari di malacofaune terrestri appartenenti ad almeno 7 differenti specie, tutti raccolti a Siracusa o nel territorio siracusano nel 1974.

Queste conchiglie, assieme ad altre marine o di ambiente salmastro non considerate nel presente contributo, sono conservate in una serie di contenitori in plastica rigida (talvolta contenenti esemplari di specie differenti ma di simili dimensioni, talvolta più esemplari di una stessa specie, spesso anch'essi suddivisi su base dimensionale), accompagnati da un cartellino recante la scritta "Siracusa W2 1974"<sup>3</sup>.

Tale organizzazione è verosimilmente il risultato di un processo di cernita (non portata a compimento) di malacofaune da detrito.

In virtù delle caratteristiche ecologiche dei *taxa* presenti, riteniamo verosimile identificarne il luogo di raccolta nel Porto Grande di Siracusa, alla foce o in prossimità della foce dei fiumi Anapo e Ciane.

Il valore collezionistico dei resti conchigliari risulta assai modesto: molti di questi appartengono a esemplari non adulti; altri presentano rotture e abrasioni, dovute presumibilmente a eventi precedenti la loro raccolta.

Non si ravvisano processi di degrado dei nicchi successivi al loro inserimento nella collezione, fatta eccezione per il lotto identificato con il codice MP/0004.2, contenente numerosi esemplari di *Theodoxus meridionalis* (Fig. 1) interessati dal decadimento di Byne, a causa del quale alcune conchiglie hanno subito una leggera corruzione del periostraco.

---

<sup>3</sup> Un secondo cartellino, che si riferisce a un lotto costituito da 94 esemplari di *Theodoxus meridionalis* (v. *infra*) riporta l'indicazione "*Teodoxus fluvialis* [sic] Siracusa 74".



Fig. 1 – Esemplici di *T. meridionalis* della collezione Sgargi con relativi cartellini, durante le operazioni di conteggio (foto M. Palmieri).

### 3.1 Fam. Neritidae – *Theodoxus meridionalis* (Philippi, 1836)

L'inquadramento tassonomico dei *Theodoxus* siciliani è stato recentemente oggetto di recenti contributi con risultati non univoci. Secondo Alba *et al.* (2016) è valida la specie *T. meridionalis*, endemica della Sicilia, mentre Glöer (2018) mette in sinonimia *T. meridionalis* e *T. baeticus* (quest'ultimo con ampia distribuzione mediterranea), per poi riconsiderare *T. meridionalis* come endemismo siciliano (Glöer, 2019). In un articolo più recente (Martínez-Ortí & Osca, 2023) si conferma la validità della specie *T. meridionalis* restringendone il *locus typicus* al territorio di Siracusa.

Si tratta di una specie dulcicola di ambiente lotico, presente, pur in modo fortemente discontinuo, su larga parte del territorio siciliano. Specie che nell'ultimo secolo ha subito un drastico e generale ridimensionamento demografico, in virtù del quale è stata inserita nella categoria *Critically Endangered* della *IUCN Red List of Threatened Species*. Gli esemplari in collezione, senza eccezione privi di opercolo, risultano suddivisi in base alle dimensioni in tre lotti (MP/0004.1, MP/0004.2 e MP/0010): nel primo sono presenti 94

esemplari, nel secondo 524 e nel terzo 26. Come sopra anticipato, molte delle conchiglie pertinenti al lotto MP/0004.2 risultavano interessate da un principio di decadimento bynesiano.

**3.2 Fam. Hydrobiidae – cfr. *Pseudamnicola moussonii moussonii* (Calcara, 1841)**

Considerata da Glöer (2019) un endemismo siculo-maltese, secondo altri autori (Manganelli *et al.*, 2016) potrebbe avere un areale ben più esteso, comprendente diverse stazioni dell'Italia meridionale e centrale, oltre che le isole di Sardegna e Corsica. Specie crenobionte, in Sicilia risulta piuttosto diffusa in contesti di acque lentiche o con debole idrodinamismo. Nella collezione sono presenti 34 esemplari, suddivisi in tre distinti lotti (2 esemplari nel lotto MP/0002, 3 esemplari nel lotto MP/0007 e i restanti nel lotto MP/0010).

**3.3 Fam. Valvatidae – *Valvata* cfr. *anapensis* Westerlund, 1883**

Specie dulcicola di incerto inquadramento tassonomico e incerta geonemia, vive in contesti di acque ferme o debolmente correnti. Le *Valvata* siciliane sono state per lungo tempo considerate, pur in via ipotetica, le uniche popolazioni europee di *Valvata saulcyi* Bourguignat, 1853, specie diffusa nei Paesi più orientali dell'area mediterranea (Glöer, 2019). Attualmente, secondo la più recente *checklist* della fauna d'Italia (Bodon *et al.*, 2021), esse sono da attribuire alla specie *V. anapensis*. Nella collezione è presente un solo esemplare (lotto MP/0012).

**3.4 Fam. Lymnaeidae – cfr. *Ampullaceana balthica* (Linnaeus, 1758)**

Specie dulcicola a distribuzione paleartica. Predilige acque ferme o debolmente correnti. La determinazione proposta, in virtù sia del complesso inquadramento tassonomico sia della difficoltà di identificazione su base conchigliare di molti molluschi appartenenti alla famiglia Lymnaeidae, è ipotetica, soprattutto in presenza di esemplari con conchiglia non del tutto formata. Presenti nella collezione 5 esemplari, uno dei quali allo stadio subadulto (2 esemplari nel lotto MP/0002 e 3 nel lotto MP/0007).

**3.5 Fam. Lymnaeidae – *Stagnicola fuscus* (C. Pfeiffer, 1821)**

Specie dulcicola a distribuzione paleartica, comune nell'Europa meridionale. Predilige acque ferme o debolmente correnti, con abbondante vegetazione. Presente nella collezione un solo esemplare (lotto MP/0001).

**3.6 Fam. Physidae – *Physa acuta* (Draparnaud, 1805)**

Gasteropode dulcicolo dall'alta valenza ambientale di origine nearctica, attualmente distribuito in tutta Europa, oltre che in Asia settentrionale e in

gran parte dei Paesi affacciati sul Mediterraneo. Presenti nella collezione 2 esemplari, entrambi allo stadio subadulto (rispettivamente collocati nel lotto MP/0002 e nel lotto MP/0007).

### **3.7 Fam. Planorbidae – *Bulinus truncatus* (Rossmässler, 1835)**

Specie dulcicola con distribuzione mediterranea, presente in Italia solamente in Sicilia e Sardegna, dove risulta essere in forte rarefazione. Predilige acque ferme o debolmente correnti. Presenti nella collezione 3 esemplari, 2 dei quali allo stadio subadulto (un esemplare collocato nel lotto MP/0002, i restanti nel lotto MP/0007).

### **3.8 Fam. Planorbidae – *Planorbis* cfr. *moquini* Requier, 1848**

Specie dulcicola che si rinviene in acque fresche e ben ossigenate, il cui inquadramento tassonomico è stato recentemente messo in discussione da Glöer & Zettler (2009) e Glöer (2019), secondo cui *P. moquini* dovrebbe essere considerato un endemismo corso, mentre in Sicilia le popolazioni in precedenza segnalate come *P. moquini* sarebbero da attribuire alla specie *P. agraulus* (Bourguignat, 1864), specie diffusa nei Paesi dell'area mediterranea sud-occidentale. Tali modifiche non sono accolte da Bank & Neubert (2017) né da Bodon *et al.* (2021), i quali continuano a considerare *P. moquini* specie distribuita in molti Paesi dell'Europa meridionale. Presente in collezione un solo esemplare (lotto MP/0012).

### **3.9 Fam. Planorbidae – *Planorbis planorbis* (Linnaeus, 1758)**

Specie dulcicola a distribuzione oloartica. Predilige acque ferme o debolmente correnti. Presenti nella collezione 37 esemplari, 35 dei quali, di determinazione non certa, allo stadio subadulto (lotto MP/0003).

### **3.10 Fam. Succineidae – cfr. *Oxyloma elegans* (Risso, 1826)**

Specie igrofila a distribuzione oloartica. Presenti nella collezione 2 esemplari, entrambi allo stadio subadulto, di determinazione non certa (rispettivamente collocati nel lotto MP/0002 e nel lotto MP/0007).

### **3.11 Fam. Enidae – *Mastus pupa* (Linnaeus, 1758)**

Mollusco xerofilo a distribuzione mediterranea, comune in Sicilia. Presente nella collezione un solo esemplare (lotto MP/0001).

### **3.12 Fam. Ferussaciidae – *Cecilioides* cfr. *acicula* (O.F. Müller, 1774)**

Gasteropode endogeno diffuso dall'Europa centrale e meridionale all'Asia centrale. Quella della presenza in Sicilia della sola *Cecilioides acicula* o di una serie di specie congeneri è una questione su cui la comunità dei ricercatori

esprime pareri non univoci (Liberto *et al.*, 2010). Presente nella collezione un solo esemplare (lotto MP/0010).

**3.13 Fam. Geomitridae – cfr. *Cernuella cisalpina* (Rossmässler, 1838)**

Specie xerofila presente in Italia e nei Paesi balcanici. Presente nella collezione un solo esemplare estremamente fluitato, la cui determinazione rimane incerta (lotto MP/0010).

**3.14 Fam. Geomitridae – cfr. *Xerocrassa meda* (Porro, 1840)**

Specie xerofila a distribuzione mediterranea, comune in Sicilia soprattutto in contesti antropizzati. Presenti nella collezione 3 esemplari molto fluitati, due dei quali subadulti (lotto MP/0012).

**3.15 Fam. Geomitridae – *Cochlicella acuta* (O.F. Müller, 1774)**

Specie xerofila a distribuzione mediterranea tipica (ma non esclusiva) di contesti litorali o prossimi alla costa, comune in Sicilia, talvolta con popolazioni molto abbondanti. Presenti nella collezione 274 esemplari, la maggior parte dei quali non adulti ma comunque di sicura determinazione (lotto MP/0008).

**3.16 Fam. Geomitridae – *Cochlicella conoidea* (Draparnaud, 1801)**

Specie xerofila a distribuzione mediterranea tipica di contesti litorali, comune in Sicilia. Presenti nella collezione 18 esemplari, molti dei quali subadulti (lotto MP/0012).

**3.17 Fam. Helicidae – *Theba pisana* (O.F. Müller, 1774)**

Mollusco xerofilo a distribuzione mediterranea con popolazioni introdotte anche in ambito extra-mediterraneo (Liberto *et al.*, 2010), molto frequente nei contesti litorali. Nella collezione sono presenti alcuni frammenti conchigliari attribuibili alla specie.

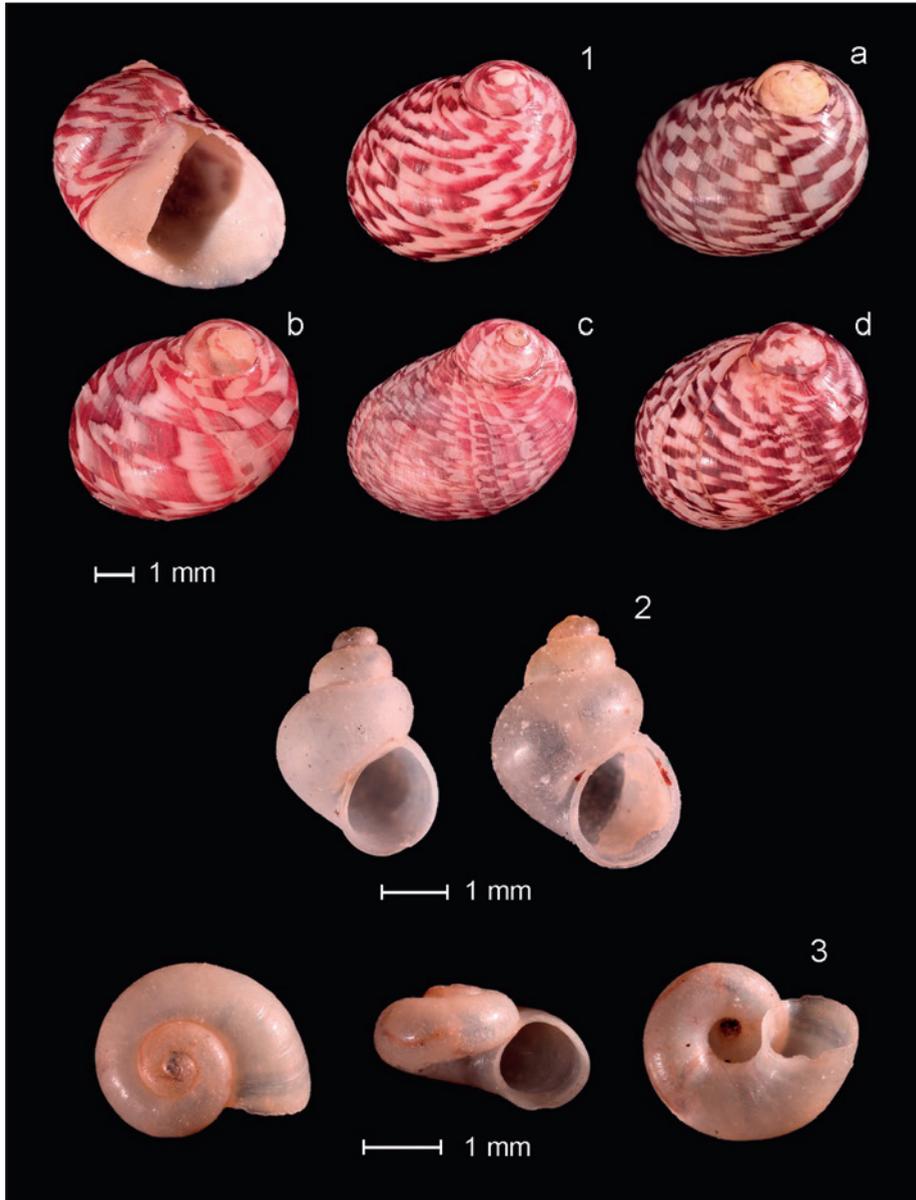
#### **4. Conclusioni**

Quanto presentato in questa sede intende essere una piccola anticipazione delle pubblicazioni riguardanti la collezione di conchiglie di area mediterranea di Giovanni Battista Sgargi, che si prevede e auspica possano essere realizzate in un prossimo futuro, assieme ad altri contributi inerenti le più recenti acquisizioni del CISNIAR in ambito malacologico.

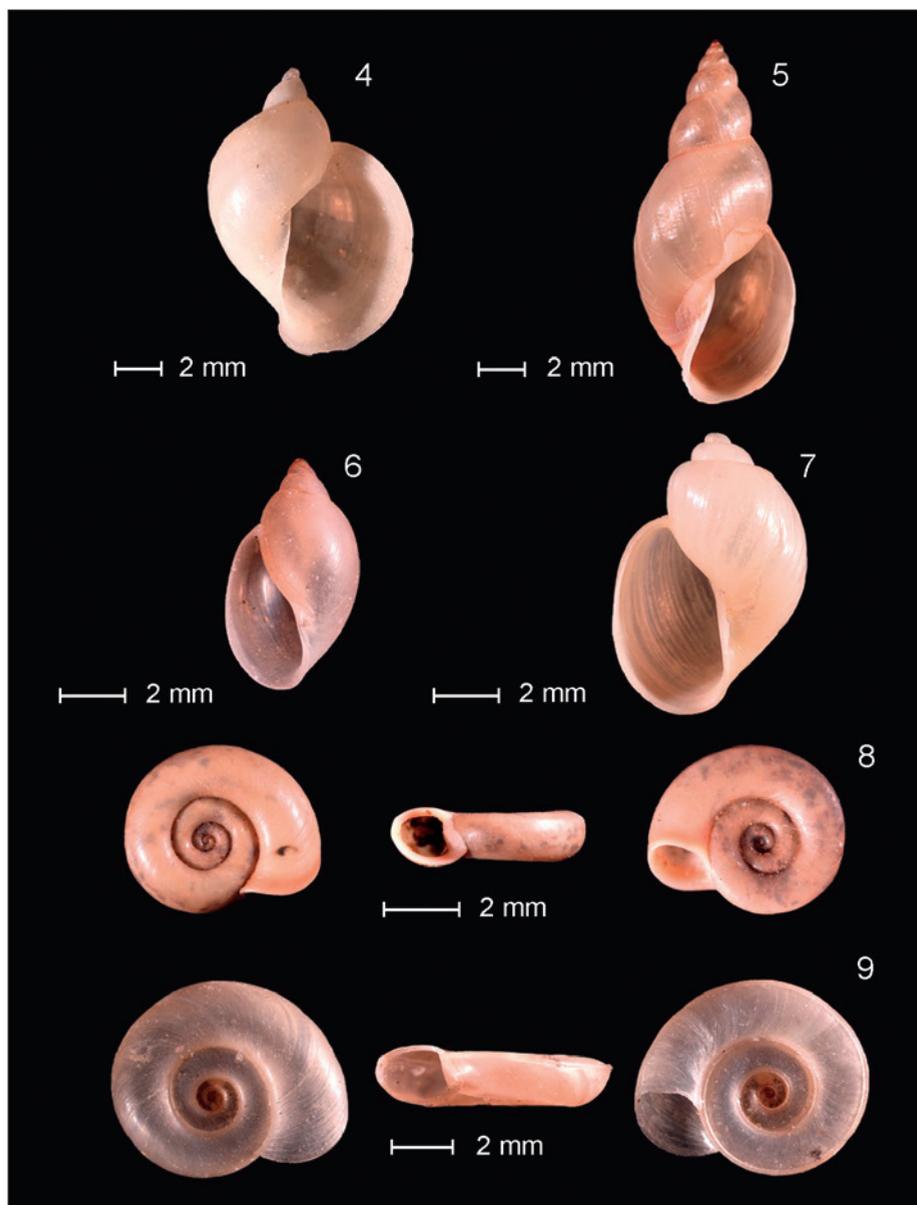
L'intenzione è quella di salvaguardare, rendere noto e fruibile questo patrimonio scientifico, di modo che esso possa rappresentare una risorsa disponibile ad appassionati e studiosi e un'occasione per avvicinare il pubblico generico al mondo della storia naturale e delle scienze biologiche.

## Bibliografia

- BANK R.A., NEUBERT E., 2017 – *Checklist of the land and freshwater Gastropoda of Europe*. Ultimo aggiornamento 16 luglio 2017.
- BODON M., CIANFANELLI S., NARDI G., 2021 – *Mollusca (terrestrial and inland water species)*. In: M.A. Bologna, M. Zapparoli, M. Oliverio, A. Minelli, L. Bonato, F. Cianferoni, F. Stoch (a cura di) “Checklist of the Italian Fauna”, versione 1.0, ultimo aggiornamento 31 maggio 2021.
- CAVALLARI D.C., SALVADOR R.B., DA CUNHA B.R., 2014 – *Dangers to malacological collections: bynesian decay and pyrite decay*. *Collection Forum*, **28**, pp. 35-46.
- GIROD A., BIANCHI I., MARIANI M., 1980 – *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane (7). Gasteropodi, 1*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Verona, 88 pp.
- GIUSTI F., PEZZOLI E., 1980 – *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane (8). Gasteropodi, 2*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Verona, 72 pp.
- GLÖER P., 2018 – *On the identity of Neritina baetica Lamarck, 1822 and Nerita meridionalis Philippi, 1836 (Gastropoda: Neritidae) from the Iberian Peninsula*. *Ecologica Montenegrina*, **18**, pp. 133-137.
- GLÖER P., 2019 – *Freshwater Gastropods of the West-Palaeartic, Vol. 1: Fresh – and brackish waters except spring and subterranean snails. Identification key, Anatomy, Ecology, Distribution*. Neustadt in Holstein, 399 pp.
- GLÖER P., ZETTLER M.L., 2018 – *Redescription of Planorbis moquini Requien, 1848 (Gastropoda: Planorbidae)*. *Journal of Conchology*, **39**(6), pp. 727-732.
- KERNEY M.P., CAMERON R.A.D., 2006 – *Guide des escargots et limaces d'Europe. Identification et Biologie de plus de 300 espèces*. Delachaux et Niestlé, Paris, 372 pp.
- LIBERTO F., GIGLIO S., REITANO A., COLOMBA M.S., SPARACIO I., 2010 – *Molluschi terrestri e dulciacquicoli di Sicilia della collezione F. Minà Palumbo di Castelbuono*. Edizioni Danaus, Palermo, 136 pp.
- MANGANELLI G., BARBATO D., BENOCCI A., 2016 – *I molluschi terrestri e d'acqua dolce del Monte Argentario*. *Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie B*, **123**, pp. 103-128.
- MARTÍNEZ-ORTÍ A., OSCA D., 2023 – *Contribution to the taxonomic study of Theodoxus Montfort, 1810 (Mollusca, Gastropoda: Neritidae) from the Iberian Peninsula and Balearic Islands*. *Zoolentia*, **3**, pp. 1-17.



Tav. 1 – 1) *T. meridionalis*; a), b), c), d) *T. meridionalis*, variazioni cromatiche e di pattern; 2) Cfr. *P. moussonii*; 3) *V. cf. anapensis* (foto S. Marsigli; elaborazione grafica S. Marsigli, M. Palmieri e A. Vincelli).



Tav. 2 – 4) *Cfr. A. balthica*; 5) *S. fuscus*; 6) *P. acuta*; 7) *B. truncatus*; 8) *P. cfr. moquini*; 9) *P. planorbis* (foto S. Marsigli; elaborazione grafica S. Marsigli, M. Palmieri).



Tav. 3 – 10) *Cfr.* *O. elegans*; 11) *M. pupa*; 12) *C. cfr. acicula*; 13) *Cfr.* *C. cisalpina*; 14) *Cfr.* *X. meda*; 15) *C. acuta*; a) *C. acuta*, *esemplare con crescita anomala*; 16) *C. conoidea* (foto *S. Marsigli*; elaborazione grafica *S. Marsigli, M. Palmieri*).





**Mauro Ferri\* , Giovanni Tosatti\*\* , Lorenzo Tosatti\*\*\***

## **Presentation of the five Monographs on Swallows and Swifts by Lazzaro Spallanzani**

### **Abstract**

Lazzaro Spallanzani (1729-1799) was a well-known Italian biologist and natural history researcher, author of numerous letters, articles and booklets, translated into French, German and English which allowed him to gain access to the most important scientific societies of his time, both in Italy and abroad. He was a careful observer and proficient at laboratory experiments. In particular, he took keen interest in Barn Swallows, House Martins, Sand Martins, Common Swifts and Alpine Swifts, to which he dedicated five thoroughly detailed monographs in tome six of his famous work “Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell’Appennino”. Thanks to which, he was able to achieve fame and success in Italy and Europe. These monographs contain many predictions to future scientific discoveries, but should nonetheless be judged according to the scientific culture of the 18<sup>th</sup> century, especially in the paragraphs concerning remarks on animal experiments that today would be viewed as unacceptable. After 227 years, the five monographs and their preliminary notes have been translated into English to make the texts available for international readers and offer an insight into the intuitive and meticulous mind of a prolific and eclectic scientist of the past, who under many aspects is still regarded as innovative and modern.

### **Riassunto**

**Presentazione dei cinque Opuscoli su Rondini e Rondoni di Lazzaro Spallanzani.** Lazzaro Spallanzani (1729-1799) fu un ricercatore eclettico e prolifico, autore di numerosi testi, lettere e opuscoli, tradotti anche in francese, tedesco e inglese, che lo introdussero nelle maggiori società scientifiche del suo tempo, in Italia e all'estero. Fu un attento osservatore e rigoroso sperimentatore in laboratorio. Si interessò di rondini, balestrucci, topini, rondoni comuni e rondoni maggiori, dedicando loro cinque ampi opuscoli nel tomo sesto dei suoi celebri “Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell’Appennino”, un’opera che consolidò la sua fama in Italia e oltralpe. Naturalmente i cinque libretti, ricchi di anticipazioni, devono essere valutati con riferimento alla cultura scientifica del secolo XVIII, soprattutto nelle parti relative ad aspetti di sperimentazione animale oggi inaccettabili. I cinque opuscoli e la loro presentazione sono introdotti e tradotti per essere accessibili,

---

\* Veterinary doctor and environmentalist, “Monumenti Vivi” Biodiversity Association, MODENA (Italy); [www.monumentivivi.it](http://www.monumentivivi.it); e-mail: [ferrimaur@gmail.com](mailto:ferrimaur@gmail.com).

\*\* Formerly Department of Earth Sciences, University of Modena and Reggio Emilia (Italy); e-mail: [john.tosatti@gmail.com](mailto:john.tosatti@gmail.com).

\*\*\* CISNIAR-SOM Ornithological Association, MARANO SUL PANARO (Modena, Italy); e-mail: [lorenzotosatti9@gmail.com](mailto:lorenzotosatti9@gmail.com).

dopo 227 anni, anche per il lettore anglofono e permettergli di accedere ai testi e allo spirito intuitivo e meticoloso di un grande scienziato del passato, per molti aspetti ancora attuale.

**Keywords:** Lazzaro Spallanzani, Common Swift, Alpine Swift, Barn Swallow, House Martin, Sand Martin

**Parole chiave:** Lazzaro Spallanzani, Rondone comune, Rondone maggiore, Rondine comune, Balestruccio, Topino

## 1. Foreword

In 1797, after publishing the five tomes of his *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino* [lit. *Journey to the Two Sicilies (southern Italy) and parts of the Apennines*] (1792-1795), Lazzaro Spallanzani printed tome six as an appendix featuring eight monographs, concerning species he occasionally encountered in his travels. The first five monographs are about the *Rondini* (Italian for Swallows), term which he uses referring to swallows, martins and swifts, whereas the sixth monograph focuses on the Scops Owl (*Otus scops*) and the seventh and eighth about the European Eel (*Anguilla anguilla*). This appendix had been planned since the beginning, as the Author himself declares in the preface to Tome I, where he specifies that in this work, he will add his observations on the *rustica*, *urbicum*, *riparia*, *apus* and *melba* species carried out on the Aeolian Islands, thus adding them to many other observations collected during his previous studies. Spallanzani refers to these five species as *Swallows*, in deference to the systematics of his time, which put together swallows, martins and swifts. In the print order, the five monographs are dedicated to the Barn Swallow, House Martin, Common Swift, Sand Martin and Alpine Swift, respectively; therefore, to three species of swallows and two species of swifts (cf. Prinzing & Siedle, 1988; Turner & Rose, 1989; Brichetti & Fracasso, 2007a-e; Gill & Donsker, 2019).

The abundance of information collected, the tests and data contained in these monographs greatly enhanced knowledge on these species, anticipating and predicting future discoveries in many aspects. Therefore, these booklets are still valid, although within the limits of the scientific knowledge of that time, and confirm their Author as a pioneer even in ornithology. Spallanzani systematically identified the birds one by one to demonstrate the fidelity of the adults to their nest as soon as they arrived in the spring and during breeding season. As a researcher, he also proved to be ruthless and meticulous in disproving wrong consolidated beliefs, which nevertheless remained popular for many years even after his demise, such as the belief that in winter swifts hibernated in old buildings and swallows at the bottom of ponds and lakes like fish.

An example of innovation in these booklets are the 18<sup>th</sup> century technical

vocabulary and idioms which resulted in a lack of understanding by Italian readers. Therefore, after a first translation into contemporary Italian (Ferri, 2022), we decided to make them available in English for a wider international audience of researchers and aficionados, who so far could rely only on old French translations (Paris, 1799-1800; Hamburg, 1799). Moreover, we decided to introduce these booklets by taking into account Spallanzani's knowledge both in science and in humanities including his eclectic method in a thoroughly detailed scientific production. In conclusion, we will discuss the unique structure of his five monographs, which are linked to one another together with several remarks.

## 2. Education, activities and works of Lazzaro Spallanzani

Lazzaro Spallanzani – rather *Lazaro Nicola Francesco Spallanzani* – was born on 12<sup>th</sup> January 1729 in Scandiano (province of Reggio Emilia, Italy), into a large family, son of a jurist. At the age of 15, he entered the College of the Jesuits in Reggio Emilia and in 1749 he enrolled at the University of Bologna to study law. Nevertheless, he soon decided to focus on studying philosophy together with ancient Greek, French, maths and natural history. He was highly motivated and supported by the university professor of experimental physics Silvia Bassi (1711-1778), who was a distant cousin of his. She was the first woman to have a doctorate in science, and the second woman in the world to earn the Doctor of Philosophy degree. Afterwards, he went back to Reggio Emilia to teach Greek at the Seminar and maths at the local university, during which he was ordained priest in 1762, and since then he was commonly referred to as “Abbot”; a title that he himself used when signing his publications. In the same year, he moved to Modena to teach maths and Greek at Collegio San Carlo and philosophy at the university. Since 1760, he had been dedicating most of his studies to natural history, both in the field and in the laboratory, publishing, among other works, an essay entitled *Saggio di osservazioni microscopiche concernenti il sistema della generazione de' signori di Needham e Buffon* (1765). This article proved his proficient scientific skills considering that at first he was supposed to acknowledge the principle of spontaneous generation supported by these two famous Authors, although he soon dismissed this theory thanks to his Galilean research approach. In addition, by commenting the experiments of the surgeon and naturalist Francesco Redi (1626-1697) on spontaneous generation, he demonstrated that the theory was without solid foundation after his own experiments with infusions, which did not decay after having been boiled and sealed with fire inside glass tubes. This discovery made him famous all over Europe and paved the way for the studies of Louis Pasteur (1822-1895) a century later.

In 1769, he was appointed chair professor of natural sciences at the University of Pavia (Lombardy), where he was able to fully express his

vocation as a scientist and professor by linking his teaching method to the work *Contemplation de la nature* by the Swiss naturalist Charles Bonnet (1764-65), which he translated into Italian for both his students and the general public. His intense teaching did not divert him from a long series of journeys all over Italy and abroad, which served as field research, during which he collected plenty of material and specimens for conducting his laboratory experiments, for his personal cabinet of curiosities and, most importantly, for the Natural History Museum of Pavia University. Spallanzani himself (Fig. 1) established this important cultural institution in 1771 and was its director until his death, thus making it a milestone of the international scientific community of his time.

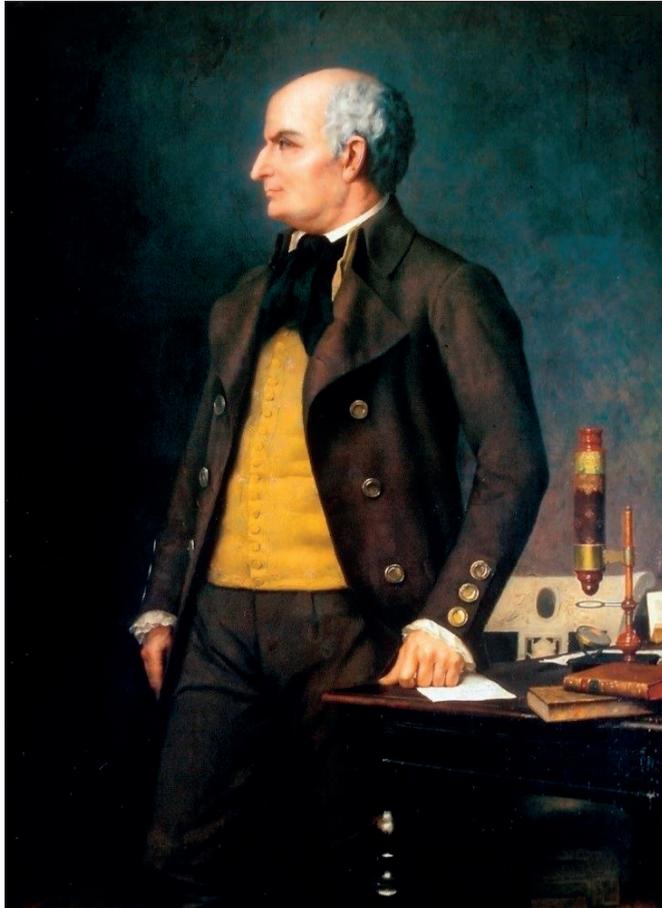


Fig. 1 – Lazzaro Spallanzani in a portrait by Albert-Jules Édouard (late 19<sup>th</sup> century, Pasteur Museum collection, Paris).

Furthermore, Spallanzani published studies on reproduction, artificial fertilisation, marine biology, geology, meteorology, chemistry, physics, vegetal physiology, tardigrades and infusers, as well as corresponding with many Italian and European scholars. His publications increased and consolidated his fame and soon he became a member of the main scientific associations in Italy and Europe. Among which “The Academia dei Dissonanti of Modena”, “The Institute of Sciences of Bologna”, “the Royal Academy of Sciences and Literature of Mantua”, “The Royal Society of London” (1768), “The Royal Swedish Academy of Sciences” (1775) and many others.

Indeed, Spallanzani was a well-known scientist also outside Italy, as reported by the famous French surgeon Dominique-Jean Larrey when, at the end of Napoleon’s Italian campaign of 1797, he went to Pavia to pay a tribute to – as Larrey would say – *à l’immortel Spalanzani* (Larrey, 1812).

In 1796, with the approach of Napoleon’s first Italian campaign, the Austrian government had closed the University of Pavia and Spallanzani spent most of his time in his hometown of Scandiano. He was later offered a chair at the University of Paris which he declined, preferring to return to Pavia, where he remained till his death on 11 February 1799.

After his death, his private collection of “*natural productions*”, which was kept in his house in Scandiano, was handed over to the Municipality of Reggio Emilia and was later displayed in the Civic Museums of this town, where it is still visitable, preserved in its original state.

### 3. The translation of his *Viaggi* and *Opuscoli*

The *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell’Appennino* was Spallanzani’s most successful work. It was published in six tomes (1792, 1793, 1795 and 1797), out of which the most interesting for us is the sixth and last tome, written as an appendix to his *Viaggi*. This chapter contains eight *Opuscoli sopra Diversi Animali* [*Monographs on Various Animals*], in which he describes his observations collected during his journeys and those resulting from his previous research career.

Thanks to Spallanzani’s notoriety as a member of several Italian scientific societies, this new work immediately rose to popularity, and was reprinted shortly after in Venice in 1794 and 1796-1797. But since he was well-known also in Europe thanks to his correspondence with many foreign colleagues, there were also translations into German in 1795-1798 (Leipzig) and into English in 1798 (London), although they did not include Tome VI of his *Monographs*, which had been printed only in 1797. In 1794, the first French translation (Paris) was published, limited only to Tome I, which was later followed by three translations: in Bern (1795-1797) limited to the first five

Tomes, in Paris (1799-1800) with a full edition (Fig. 2) and in Hamburg (1799) similar to the Paris version. A thorough research of digital copies on the Internet allowed the comparison of the results with two specialised catalogues (Prandi, 1952; Troelstra, 2017). This was achieved thanks also to the contribution of Ulrich Tigges (personal communication), a researcher with a keen interest in topics related to swifts, who found the first issue online of *Esprit des Journaux* by Jean-Jacques Tutot (1796). From this paper, it was clear that Tome I of the *Voyages* had already been translated into French at the *Imprimerie des Sciences et des Arts* of Paris in 1796 with the complete *Introduction*.

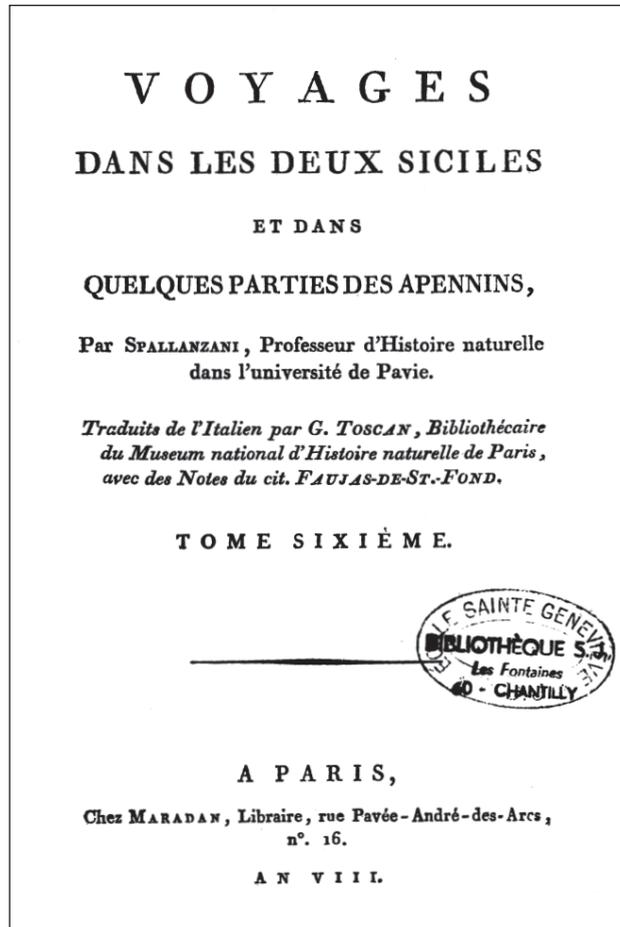


Fig. 2 – Inner frontispiece of the Paris edition of Tome VI of the *Voyages*, printed in the year VIII of the French revolutionary calendar (1799-1800).

This fact is relevant because, for the first time, it was announced in France that essays on the species *rustica*, *urbicum*, *riparia*, *apus* and *melba* would complete this work. Thanks to a digital copy, found again by U. Tigges, we can confirm that a second German translation with the title *Gemähde aus dem Naturreiche beyder Sicilien* was published in Austria in 1824. However, this edition included only the *Viaggi alle Due Sicilie*, without Tome V on the Apennines and Tome VI with the monographs on birds and eels. Therefore, although the first five tomes of the *Voyages* translated into French, German and English had become widespread across Europe, Tome VI containing the monographs here discussed was available outside Italy only in French with the two editions of Paris and Hamburg.

#### 4. Influence of Spallanzani's Monographs on other Authors

We will not comment any further reprints of the six tomes of his *Viaggi* published in Italy, which are listed and described in detail in a specific edition (Vaccari, 2007). Rather, we prefer to concentrate on the impact of Spallanzani's studies on the biology and behaviour of swallows and swifts with many scientific anticipations, both in Italy and abroad. Nevertheless, we cannot say for sure that the Italian and French ornithological institutions of the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century gained any significant knowledge thanks to Spallanzani's studies, filled with predictions, intuitions and new data, apart from very short quotations (Levrault, 1823; Colin, 1873). The lack of texts translated into German, though, did not prevent occasional references (Quantz, 1925), as confirmed by the thorough analysis of the Common Swift (*Apus apus*) by Weitnauer & Scherner (1980) on their "Guide to the Birds of Central Europe". This book contains ten of Spallanzani's interesting quotations (one also about the Alpine Swift), in which he seems to stand out among the other authors mentioned, who are all modern or from the present day. In the same year, Weitnauer also printed his famous work *Mein Vogel, aus dem Leben des Mauersegler Apus apus*, by updating his previous articles, in particular *Am Neste des Mauersegler* (1947), in which Spallanzani is mentioned once in the text, however Weitnauer did not quote him in his references (Weitnauer, 1980, p. 78).

Nothing is found on Spallanzani in British publications, such as the thorough essay on the common swift written by Finnish naturalist J. Koskimies (1950). The same could be said about the famous *Swifts in a tower* by David Lack (1956) if it was not for a singular detail: this Author quotes Spallanzani only once in a short sentence reporting his tests of swallows' endurance to cold in order to debunk the theory of their hibernation underwater. Furthermore, he is quoted also in the index of famous people and places, although Lack does not mention a single work by Spallanzani. Lack's source could only be *Tracts on*

*the natural history of animals and vegetables*, a translation of his *Opuscoli di fisica animale e vegetabile* (1776), an essay rich in details about the freezing experiments performed by Spallanzani both on swallows and swifts, although the latter are not mentioned in Lack's book on the Common Swift.

Moreover, *Tracts on the natural history of animals and vegetables* was well-known to Henry Reeve, who quotes it in one of his essays (Reeve, 1809), although he refers to Spallanzani's experiments on other animals rather than on swallows and swifts. This Author dedicates a large amount of work to the persisting belief (not only among non-academics and uneducated people) that swallows and swifts hibernate underwater. By quoting Spallanzani's observations on swallows on the isle of Lipari, he declares: «*I do not find that he has anywhere fulfilled his promise of publishing the observations he made on the swallows of Lipari and Sicily; but, as he excluded these birds from his experimental researches on hibernation, I take his silence as conclusive evidence against the truth of the vulgar opinion concerning them*». This makes us doubt that he had in fact read *Tracts on natural history*, where, on the contrary, the amount of space dedicated to these tests is much larger.

More surprising is the statement by the famous English naturalist Gilbert White, in a paragraph of his *Natural History of Selborne*, in which he writes: «*Spallanzani says very decidedly, that swallows retire under water at the time of their disappearance from this country; but acknowledges that he had never himself observed it, though his belief of the fact seemed certain. He had performed a variety of experiments to resolve the question, if cold would have the effect of producing torpidity, and confined swallows in different ways under snow and ice, and in an ice-house. The result, however, was always death, when the temperature and period of immersion were prolonged beyond a certain period; and the conclusion he draws is, that at least our species of hirundinidæ did not become torpid*» (White, 1789, p. 297).

As for this quotation referring to Spallanzani, obviously due to indirect knowledge of *Opuscoli di fisica animale e vegetabile*, considering it had been translated into English several times, so much so that White (1789) evidently ignored the fact that these experiments were carried out also on swifts, which were a species of great interest for him. In particular, White's idea that Spallanzani believed in the underwater hibernation of swallows is quite bizarre, since this statement is not found in any of his writings. In fact, with his freezing experiments Spallanzani actually debunked this widespread belief that had been around for centuries (Olaus Magnus, 1565). Perhaps, White's negative perspective might be influenced by the opinion of other Authors, such as Giovanni Antonio Scopoli (1723-1788), a colleague of Spallanzani at Pavia University, who was well-known to White. Scopoli always looked down on and used to belittle Spallanzani, to the point of organising a real

conspiracy against him. Scopoli anonymously accused Spallanzani of stealing a large number of specimens from the university museum in order to place them in his private collection at home in Scandiano. This accusation, though, was dismissed after a government legal investigation that resulted in Scopoli and the other conspirators losing the case (Mazzarello, 2021).

Furthermore, we see that the English physician and scientist Edward Jenner (1824) used to mark swifts in order to recognise the same individuals from one year to the next, similarly to what Spallanzani did in his experiments on swallows and swifts. Nevertheless, in his works Jenner never quoted the Italian author.

Even Scottish naturalist James Rennie (1835) followed Spallanzani's steps regarding mostly digestion and hibernation, but also reporting the Spallanzani's observations of swallows in October in the Mediterranean islands and their cold endurance tests, although he never quoted his source of information.

Going back to Lack (1956), it has emerged that his knowledge on Spallanzani's experiments on swallows was only superficial, and he was not aware that these tests were performed on swifts as well; therefore, he ignored Spallanzani's work *Tracts on the natural history of animals and vegetables* that dealt with this topic. Evidently, Lack also ignored the five monographs, either in Italian or French, otherwise he would have noticed that Spallanzani's had marked a pair of swifts with a crimson silk thread tied to their legs and had later recovered one of them the following year within the cavity in which it had bred. Moreover, Spallanzani continued marking swifts and other bird species with other methods. If Lack had known about Spallanzani's tests, he would not have dedicated so much space to the German painter and naturalist Johann Leonard Frisch (1666-1743), who marked some swallow specimens by tying coloured threads to their legs, with the purpose of checking whether the threads had changed colour when they returned to their nest the following spring. By noticing that the threads had retained their original colour, he deduced – using a somewhat strange logic – that the birds could not have spent the winter underwater otherwise the colour would have faded (!) (Frisch, 1736).

A thorough publication entitled *The bibliography of the Common Swift with content keys from the beginnings up to the present* was recently published by Baruch & Ferri (2023a). It contains over 8,400 references on swifts from all over the world, with more than 80 key topics in seven languages (both European and Asian). There are also several references to Spallanzani's works, such as *Opuscoli di fisica animale vegetabile*, the Tome IV of his *Voyages* and the Monographs of Tome VI in Italian, the Leipzig and Vienna German editions of his *Voyages*, the Monograph in French on the Common Swift and the *Tracts on natural history of animals and vegetables*. The latter are quoted in several paragraphs of the more comprehensive *Mauersegler, Das ABC des besonderen Himmelvogels* (Baruch & Ferri, 2023b).

Finally, during the “1<sup>st</sup> Common Swift Seminar”, held in Berlin in April 2010, the keen and profound interest of Spallanzani for swifts was widely debated, together with elements of his correspondence with other experts on swifts (Ferri, 2010).

### **5. Origin, subject and purpose of Spallanzani’s Monographs**

As previously discussed, in 1797, soon after the success of his five tomes of the *Viaggi alle Due Sicilie e in qualche parte dell’Appennino*, Spallanzani published a sixth tome as an appendix to his work, significantly entitled *Opuscoli sopra Diversi Animali* [*Monographs on Various Animals*]. This appendix was already announced in the introduction at the beginning of Tome I (1792), where he declares that for several years he had been studying “*the natural habits of the rustica, urbicum, riparia, apus and melba swallow species*”.

Thanks to his strong personality and qualities as a scientist, Lazzaro Spallanzani has been recently reappraised as the first modern naturalist and among the forerunners of genetics (Agnoli & Pennetta, 2012). Indeed, he was a passionate observer, meticulous in his notes, scrupulous in searching written sources and diligent in verifying his observations and intuitions by means of experiments. His monographs are a further testimony of his commitment as a scientist applying the Galilean method of investigation, based on acute observations, rigorous measurements and laboratory trials.

### **6. The Monographs on Swallows and Swifts**

In examining the five monographs on swallows and swifts, we can see they deal with Barn Swallow, House Martin, Common Swift, Sand Martin and Alpine Swift, specifically in this order. This mixed treatment of species belonging to such different taxonomic families should not surprise us since in those days swifts were thought to belong to the same family of swallows. Indeed, only two centuries later were the swifts placed for the first time in a super-order together with the hummingbirds (*Trochilidae*, cf. Sibley & Ahlquist, 1991), and afterwards placed in a clade with owlet-nightjars (*Aegotheles*, cf. Sangster, 2005).

A further point is that three species of *Swallows* are missing in all Spallanzani’s essays, despite one may expect them to be known even in those days. The Red-rumped Swallow (*Cecropis daurica* Laxmann, 1769), the Crag Martin (*Ptyonoprogne rupestris* Scopoli, 1769) and the Pallid Swift (*Apus pallidus* Shelley, 1870). Yet, their absence in Spallanzani’s works is justifiable considering the lack of knowledge that he had on these birds. The Red-rumped Swallow was identified in 1769 by the Swedish naturalist and explorer

Erik Gustav Laxmann, but its presence has always been sporadic in Italy. As for the Crag Martin, Spallanzani might have deliberately neglected this species in order to avoid acknowledgements to his colleague Giovanni Antonio Scopoli – who was the first to describe it – considering the very bad relationship between the two scholars (Baldaccini, 2007; Mazzarello, 2021). Finally, the Pallid Swift was recognised as a separate species only much later, in 1870, by the British geologist and ornithologist George Ernest Shelley. Considering that this bird is very similar to the Common Swift (Pellegrino *et al.*, 2017), up to then it was very easy to confuse the two; Spallanzani himself might have observed it without even knowing. This is suggested by two passages from the third monograph concerning the swifts that he had observed during a holiday in Fanano, a village in the Modena Apennines (640 m a.s.l.), in an artificial nest derived from a hole in his bedroom wall, which could easily have been Pallid Swifts, seeing as this was after July the 26<sup>th</sup>, a time when Common Swifts have already left their breeding sites and the juveniles have already fledged. In addition, when he observed a flock of swifts on 7 November 1779 in Reggio Emilia, these too may also have been Pallid Swifts, considering that in late summer and autumn it is more likely to spot Pallid Swifts due to their delayed migrating habits. As for the former observation in Fanano, it should be reported that at only 3 km away, in the village of Sestola, at a much higher altitude (1,020 m a.s.l.), there is to date a small colony of Pallid Swifts, as referred by F. Ballanti & A. Ravagnani (who provided the information personally).

## 7. Basic material

A search through Spallanzani's papers could reveal whether this scientist based his publications on many scattered notes or on an organised collection of annotations, which made up a vast set of information. For example, Spallanzani wrote notes on the House Martin when he was still a university student in Bologna. Other observations on the Barn Swallow go back to the period when, after graduating, he was teaching at Reggio Emilia University, between 1755 and 1763. Furthermore, notes on Common and Alpine Swifts, Barn Swallows and House Martins are found in the 1785-86 period in the diaries he wrote whilst on his long journey and during his time spent in Constantinople, which were published posthumously a century later (Spallanzani, 1888) and were more recently revisited in detail by Mazzarello (2012). Therefore, we can imagine that when he decided to organise his notes in the *Appendix* to his *Voyages*, he had at his disposal material collected over a period of four or five decades. All these notes were properly dealt with in terms of both quality and quantity, considering the number of measurements that he had carried out in both the field and laboratory as well as making numerous references to

both contemporary authors and authors from before his time whose writings he either verified, confirmed or dismissed. Overall, in the *Appendix* to his *Voyages* of 1797 the five monographs make up a full-bodied text consisting of 146 pages. In addition, there are an extra 42 pages dedicated to the Scops Owl and 94 pages to the eels found in Comacchio, on the Adriatic coast, thus completing what he had previously written about the eels found in Orbetello, on the Tyrrhenian coast, in Tome V of his *Voyages*.

### **8. The expository method of the five Monographs**

Each monograph is introduced by a kind of abstract summarising the main topics of the essay. Proceeding further, one would expect every single species to be analysed in detail in a single monograph, however this is not the case with Spallanzani. Seeing as all five species treated in this work share aspects in common which link them together with one another indirectly, several references and cross-comparisons with the other species of *Swallows* are found in each monograph. Therefore, the five essays should be rather regarded as a single treatise, subdivided into “chapters” that unfold progressively, passing from one species to another, despite the Author always maintaining a homogeneous vision. Furthermore, he thoroughly deals with topics of interspecific interest, such as the birds’ loyalty to their nest and brood, their resistance to freezing temperatures etc. All together there are about one hundred cross-references (Ferri, 2020), which are more detailed in certain essays than in others. Very often, they are mere quotations for generic comparisons, despite there being important observations and measurements on single species as well, which are later described in the text regarding the following species. Over 60 references to other species of *Swallows* are concentrated in the essays on the Common Swift and Alpine Swift, but the reader should always remember that the five monographs are to be considered a single work, preferably read in the order established by Spallanzani.

### **9. An eclectic scientist anticipating his time also on swallows and swifts**

As previously mentioned, Spallanzani published several texts regarding his experiments and conclusions he had drawn which, considering the time and age, are to be viewed as progressive and innovative. In *Dissertazioni di fisica animale e vegetabile* (1780) he shared his studies on artificial digestion in birds, insemination in amphibians and the role of gastric juices in humans. Two particularly interesting works are *Lettere sopra il sospetto di un nuovo senso nei pipistrelli* (1794), in which Spallanzani describes his tests on bats, concluding that their most fundamental organs were not the eyes but a non-recognisable

sense, exactly 144 years before the official discovery by American zoologist Donald Griffin (1959), thanks to his research on animal echolocation.

In his five monographs, Spallanzani describes many kinds of experiments performed on birds, which make him the most early and methodical forerunner of bird ringing, in this case more like “marking”. Indeed, the bird ringing technique for recognising individual specimens was officially established much later on. In 1889, Danish ornithologist Hans Christian Cornelius Mortensen, whilst carefully monitoring the starlings (*Sturnus vulgaris*) which used to gather in large flocks in his garden, captured a number of specimens and fitted metal rings with progressive numbers and a postal address onto their tarsi, to see whether the same individuals kept coming back. Nevertheless, as early as 1797, Spallanzani described a series of experiments involving individual marking swifts and swallows by tying a silk crimson thread to their legs, in order to verify if the same specimens returned to the nest the following year. The same birds were then recaptured and inspected. In addition, in order to demonstrate the ability of Barn Swallows, House Martins and Sand Martins to return to their own nests, Spallanzani used to have them captured and released many miles away to check the departure and arrival time to their nests by means of synchronised watches. In one occasion, dealing with House Martins, he cut off some of their rectrices in order to recognise them.

On this subject, Spallanzani quotes also Book X of Pliny the Elder’s *Historia Naturalis* (77 CE) which is a source of information on the custom of ancient Romans to mark swallows with coloured ribbons to exchange communications during sport events. Among the forerunners of modern bird identification, we find once more Edward Jenner (1749-1823), who experimented the swifts’ fidelity to their nests by marking them by cutting of two of their nails. He followed their regular return to the nests for several years and one specimen was even found after seven years. It is a real pity, though, that these two scholars never knew each other.

Apart from disproving the belief that swallows spent the winter at the bottom of lakes and swifts in the cavities of buildings, Spallanzani also disproved the belief that sand martins spent the winter at the bottom of their tunnels, which was a well rooted belief even amongst scientists. He also pinpointed that this sort of belief even influenced Carl Linnaeus since he wrote that swifts *hybernant in templorum foraminibus* [they winter in the holes of high buildings] in his famous work *Systema naturae* (Linnaeus, 1758). It is surprising that even for a few decades after Spallanzani’s studies, famous scholars like Georges Cuvier (1769-1832) still believed in swallows’ underwater hibernation. Only in the mid-19<sup>th</sup> century was this belief completely dismissed thanks to a rich public contest, organised by the Royal Swedish Academy of Sciences, which promised a large reward to whoever managed to fish swallows out of the water in winter.

Initially, many people responded with great enthusiasm, but obviously nobody ever claimed the prize and the case was closed for good (Baldaccini, 2007). Finally, we need to point out Spallanzani's interest in bird migration, which he described in detail only in his monographs about the Scops Owl and the eels, although in his essay on the Sand Martin he leaves a precise testimony: «... *It is thought that the Sand Martin possesses some sort of ability or power that is awakened in certain periods of time, inducing the bird to change climate*». This remark was based on the observations of the behaviour of another species: the Common Nightingale (*Luscinia megarhynchos*).

### 10. Cruel experiments?

In Spallanzani's monographs, there are detailed descriptions of the experiments that he carried out by submitting each species of *Swallow* to meticulous endurance tests to very low temperatures. This was achieved by adding kitchen salt to the snow preserved in icehouses, then placing the birds inside baskets covered with an oilcloth, which in turn were buried in the snow. The experiments were accompanied by details on the vessels containing the birds and the times of exposure to cold. Invariably, these tests always ended with the death of the test subjects.

The purpose of these lethal trials can be justified by his urge to verify and confute the dominant belief in the scientific environments of his time that at our latitudes these birds hibernated in a sort of torpor. Although such acts would nowadays be considered cruel and unacceptable, considering the average human's sensitivity towards living creatures, we should appreciate the fact that Spallanzani also did direct and thorough inspections on buildings and bank tunnels to prove that his *Swallows* were not wintering at our latitudes. As proof of his views on nature regarded as important, it is worth recalling his comment on the effects of massive captures of starlings in large reedbeds near Rubiera (Province of Reggio Emilia). The trapping was carried out by the local people by means of large nets with the twofold purpose of getting food and reducing the damage that these birds caused to fruit trees and, in particular, to vineyards. He wrote: «*unfortunately, this procedure meant the death of a great number of swallows, which are birds that should be spared and protected considering their importance to humans, since they kill and eat mosquitos, flies, weevils and other harmful pests*».

### 11. Limits of Spallanzani's knowledge

Despite his progressive and innovative views and works and notwithstanding his many intuitions, even a meticulous devoted scientist like Lazzaro Spallanzani could not completely overcome the knowledge boundaries of his

time. Therefore, today it would be wrong to take his monographs literally, due mainly to certain naiveties. Furthermore, the limits of the scientific context of his era are easily recognisable, although with no substantial effects on the value of these booklets, which remain to this date extraordinary scientific essays even if they were written in the second half of the 18<sup>th</sup> century.

### Acknowledgements

We wish to thank Giovan Battista Gai ('Batti'Gai), Michelangelo Giordano ('Mike') and Antonello Turri for providing us with some good pictures of the birds here described. We also thank Fabio Ballanti and Andrea Ravagnani for confirming the presence of a small colony of Pallid Swifts in the upper Modena Apennines. Due thanks also to Edward and Mandy Mayer from "Swift Conservation" (UK), who many years ago sketched a first English translation of the Monographs on swifts, to Luca Ravizza, Guido Pinoli, Mauro Banfi and the late Matteo Barattieri, who helped in rewriting the Monographs in contemporary Italian, thus facilitating the present English translation. Special thanks to Ulrich Tigges from the online journal "APUSlife" for his supportive help in searching digital copies of foreign editions of Spallanzani's "Voyages" and for revising the final text. Finally, a warm thank-you to artist Ariadne Trollenskog for her beautiful picture of the birds in Fanano.

### Bibliography

- AGNOLI F., PENNETTA E., 2012 – Lazzaro Spallanzani e Gregor Mendel. *Alle origini della Biologia e della Genetica*. Cantagalli, 104 pp., Siena.
- ALDROVANDI U., 1599 – *Ornithologiae, hoc est de avibus historiae*. Libri XII, T. II, Bononiæ.
- BALDACCINI N.E., 2007 – *Lasciare il mito per avvicinare la realtà. Le intuizioni di Spallanzani sui meccanismi che regolano il comportamento migratorio negli uccelli*. In: E. Vaccari (ed.) "Edizione nazionale delle opere di Lazzaro Spallanzani", Vol. VI, Tomo II, pp. 441-460, Mucchi Editore, Modena.
- BARUCH L., FERRI L., 2023a – *APUS APUS liber*. Vol. 1, *APUS APUSlist, the bibliography of the Common Swift with content keys from the beginnings up to the present*. Protection of Swifts, Marcel S. Jacquat, Epubli GmbH, 513 pp., Berlin.
- BARUCH L., FERRI L., 2023b – *APUS APUS liber*. Vol. 2, *Mauersegler, Das ABC des besonderen Himmelvogels*. Mauerseglerschutz, Marcel S. Jacquat, Epubli GmbH, 644 pp., Berlin.
- BONNET C., 1764-65 – *Contemplation de la nature*. Amsterdam, I, 2<sup>ème</sup> édition.
- BRICHETTI P., FRACASSO G., 2007a – *Rondone maggiore Tachymarptis melba (L. 1758)*. In: "Ornitologia Italiana", vol. 4, pp. 2-8, Alberto Perdisa Editore, Bologna.
- BRICHETTI P., FRACASSO G., 2007b – *Rondone comune Apus apus (L. 1758)*. In: "Ornitologia Italiana", vol. 4, pp. 9-18, Alberto Perdisa Editore, Bologna.
- BRICHETTI P., FRACASSO G., 2007c – *Topino Riparia riparia (L. 1758)*. In: "Ornitologia Italiana", vol. 4, pp. 212-219, Alberto Perdisa Editore, Bologna.
- BRICHETTI P., FRACASSO G., 2007d – *Rondine Hirundo rustica (L. 1758)*. In: "Ornitologia Italiana", vol. 4, pp. 220-232, Alberto Perdisa Editore, Bologna.

- BRICHETTI P., FRACASSO G., 2007e – *Balestruccio Delichon urbicum (L. 1758)*. In: “Ornitologia Italiana”, vol. 4, pp. 242-249, Alberto Perdisa Editore, Bologna.
- COLIN G., 1873 – *Le Martinet et son nid*. Feuille des Jeunes Naturalistes, 29, Paris, pp. 51-53.
- FERRI M., 2010 – *Spallanzani and the Common Swifts (A booklet of field notes and tests about the Common Swift)*. In: U. Tigges & D. Newell (eds.) “The 1<sup>st</sup> Common Swift Seminar”, Berlin 8-11 April 2010, Summaries of the presentations, APUS-life, the on-line Journal. <http://www.commonswift.org/4950Tigges&Newell.html>.
- FERRI M., 2020 – *Lazzaro Spallanzani e i rondoni*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, 151, pp. 189-229.
- FERRI M., 2022 – *Rondoni e Rondini. I cinque opuscoli di Lazzaro Spallanzani riscritti con testo a fronte*. Tichodroma, 11, 117 pp.
- FRISCH J.L., 1736 – *Kurtze Nachrichten zu der Zweiten großen Klasse der Vögel und ihren Fünf Abtheilungen, dritte Abteilung*. In: „Vorstellung der Vögel Deutschlands und beyläufig auch einiger Fremden; nach ihren Eigenschaften beschrieben“, Friedrich Wilhelm Birnstiel, Berlin.
- GILL F., DONSKER D. (eds.), 2019 – *Family Hirundinidae*. In IOC “World Bird Names” (ver. 9.2), International Ornithologists’ Union.
- GRIFFIN D., 1959 – *Echoes of bats and men*. Anchor Books, Garden City, N.Y.
- GUÉNEAU DE MONTBEILLARD P., 1779 – *Le Martinet noir, le Grand Martinet à ventre blanc*. In: G.L. de Buffon “Histoire Naturelle des Oiseaux”, Tome VI, pp. 643-664.
- JENNER E., 1824 – *Some observations on the migration of birds*. Philosophical Transactions, Vol. 114, pp. 11-44.
- KOSKIMIES J., 1950 – *The Life of the Swift, Micropus apus (L.), in Relation to the Weather*. Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A, IV, Biologica, 12, 151 pp.
- LACK D., 1956 – *Swifts in a tower*. Methuen & Co. Ltd, 270 pp., London.
- LARREY D.J., 1812 – *Mémoires de chirurgie militaire, et campagnes*. Imprimerie de J. Stone, Paris.
- LEVRAULT F.G. (éd.), 1823 – *Dictionnaire des sciences naturelles, dans lequel on traite méthodiquement des différents êtres de la nature*. Le Normant, Strasbourg & Paris.
- LINNAEUS C., 1758 – *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Holmiae, Imprensus Laurentii Salvii, 10<sup>th</sup> ed. in 3 vols., Stockholm.
- MAZZARELLO P., 2012 – *Viaggio a Costantinopoli*. In: E. Vaccari (ed.) “Edizione nazionale delle opere di Lazzaro Spallanzani”, Vol. III, 440 pp., Mucchi Editore, Modena.
- MAZZARELLO P., 2021 – *L'intrigo Spallanzani*. Bollati Boringhieri, 346 pp., Torino.
- OLAUS MAGNUS, 1565 – *Historia delle genti et della natura delle cose settentrionali da Olao Magno gotho arcivescovo di Uppsala nel Regno di Svezia e Gozia, descritta in 22 libri. Nuovamente tradotta in lingua toscana*. I Giunti, Venezia.
- PELLEGRINO I., CUCCO M., HARVEY J.A., LIBERATORE F., PAVIA M., VOELKER G., BOANO G., 2017 – *So similar and yet so different: taxonomic status of Pallid Swift Apus pallidus and Common Swift Apus apus*. Bird Study, 64(3), pp. 344-352.
- PLINY THE ELDER, 77 CE – *Historia Naturalis*. Pliny’s “Natural History” translated into English by H. Rackham (vols. 1-5, 9), W.H.S. Jones (vols. 6-8) and D.E. Eichholz (vol. 10), Harvard University Press, Massachusetts & William Heinemann, London (1949-1954 edition).
- PRANDI D., 1952 – *Bibliografia di Lazzaro Spallanzani*. Sansoni Antiquariato, Firenze, 190 pp.
- PRINZINGER R., SIEDLE K., 1988 – *Ontogeny of metabolism, thermoregulation and torpor in the house martin Delichon urbica (L.) and its ecological significance*. Oecologia, 76(2), pp. 307-312.
- QUANTZ B., 1925 – *Zur Frage des Abflugvermögens des Mauerseglers vom Fußboden*. Ornithologische Monatsschrift, 50, pp. 60-62.
- REEVE H., 1809 – *An essay on the torpidity of animals*. Richard Taylor & Co., Show Lane.
- RENNIE J., 1835 – *The Faculties of Birds*. Knight, London, 338 pp.
- SANGSTER G., 2005 – *A name for the clade formed by owl-nightjars, swifts and hummingbirds (Aves)*. Zootaxa, 799, pp. 1-6.

- SIBLEY C.G., AHLQUIST J.E., 1991 – *Phylogeny and Classification of the Birds, a Study in Molecular Evolution*. Yale University Press, 1080 pp.
- SPALLANZANI L., 1765 – *Saggio di osservazioni microscopiche concernenti il sistema della generazione de' signori di Needham e Buffon*. Eredi Bartolomeo Sogliani, Stampatori Ducali, Modena.
- SPALLANZANI L., 1776 – *Opuscoli di fisica animale e vegetabile*. 1 & 2, Società Tipografica Modenese, Modena.
- SPALLANZANI L., 1780 – *Dissertazioni di fisica animale e vegetabile*. 1 & 2, Società Tipografica Modenese, Modena.
- SPALLANZANI L., 1784, 1786, 1803 – *Tracts on the natural history of animals and vegetables*. Transl. by J.G. Dalyell, Longman & Rees Publishers, London.
- SPALLANZANI L., 1792 – *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino*. Tomi 1 & 2, Baldassare Comino, Pavia.
- SPALLANZANI L., 1793 – *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino*. Tomi 3 & 4, Baldassare Comino, Pavia.
- SPALLANZANI L., 1794 – *Lettere sopra il sospetto di un nuovo senso nei pipistrelli*. Stamperia Reale, Torino.
- SPALLANZANI L., 1795 – *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino*. Tomo 5, Baldassare Comino, Pavia.
- SPALLANZANI L., 1797 – *Opuscoli sopra Diversi Animali che servono di Appendice ai Viaggi alle Due Sicilie*. In: "Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino", Tomo VI, Baldassare Comino, Pavia.
- SPALLANZANI L., 1799 – *Voyages dans les deux Siciles et dans quelques parties des Apennins*. Tome sixième, Hambourg.
- SPALLANZANI L., 1799-1800 – *Voyages dans les deux Siciles et dans quelques parties des Apennins*. Tome sixième, chez Maradan libraire, An VIII, Paris.
- SPALLANZANI L., 1824 – *Gemälde aus dem Naturreiche beyder Sicilien: Größtenteils aus der Reise des Abtes Lazarus Spallanzani nach jenen Gegenden*. Ferdinand Schade, Wien.
- SPALLANZANI L., 1888 – *Viaggio in Oriente*. In: N. Campanini (ed.), F.lli Bocca Editori, Torino.
- TROELSTRA A.S., 2017 – *Bibliography of Natural History Travel Narratives*. Edinburgh University Press.
- TURNER A.K., ROSE C., 1989 – *Swallows and Martins: an Identification Guide and Handbook*. Houghton Mifflin, Boston, pp. 164-169.
- TUTOT J.J., 1796 – *L'Esprit des Journaux françois et étrangers par une société de Gens-de-Lettres*. Tome I, Janvier et Février, chez Valade, Imprimeur-Libraire, pp. 34-74, Paris-Liège.
- VACCARI E. (ed.), 2007 – *Edizione nazionale delle opere di Lazzaro Spallanzani*. Parte Quarta, Opere edite direttamente dall'Autore, Vol. VI, *Viaggi alle Due Sicilie e in alcune parti dell'Appennino*. Tomo II, pp. 441-460, Mucchi Editore, Modena.
- WEITNAUER E., 1947 – *Am NESTE des Mauerseglers, Apus apus (L.)*. Orn. Beob., 44, pp. 133-182.
- WEITNAUER E., 1980 – „*Mein Vogel*“. *Aus dem Leben des Mauerseglers Apus apus*. Basellandschaftlicher Vogelschutzverbanden, Oltingen (CH), 99 pp.
- WEITNAUER E., SCHERNER E.R., 1980 – *Apus apus (Linnaeus 1758) - Mauersegler*. In: U. Glutz von Blotzheim & K. Bauer (eds.) „*Handbuch der Vögel Mitteleuropas*“, Bd. 9, Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, pp. 671-712.
- WHITE G., 1789 – *The Natural History and Antiquities of Selborne, in the County of Southampton*. Oxford University Press, 352 pp.

## Websites

Further information and publications on both Spallanzani and the swifts are available in the link below:

[http://www.festivaldeirondoni.info/spallanzani\\_e\\_i\\_rondoni](http://www.festivaldeirondoni.info/spallanzani_e_i_rondoni)

## Appendix

### **From the notice of Lazzaro Spallanzani to the readers<sup>1</sup>**

*The birds I am going to describe are various species of swallows and swifts, which are migratory in the Italian peninsula and non-migratory in the Aeolian Islands. Since for many years I have engaged myself in investigating the instinct, attitude and behaviour of these creatures, thanks to the information collected in the meanwhile, I was able to notice several mistakes about these birds made by some Authors who preceded me; therefore, I allowed myself to correct them. I also had the opportunity to clarify some controversial or doubtful issues, adding many new and relevant considerations with the hope of deserving the attention of the Public.*

---

<sup>1</sup> This notice clarifies the motivations and purposes of the eight Monographs making up Tome VI, which is the Appendix to his work *Voyages to the Two Sicilies and in some parts of the Apennines*.

## Monograph no. 1 by Lazzaro Spallanzani

### “The Barn Swallow (*Hirundo rustica* Linnaeus, 1758)”



The Barn Swallow *Hirundo rustica* (photo by G.B. Gai).

#### **Abstract**

i) The Barn Swallow dwells inside our homes; ii) When it comes to nest; iii) Different times of arrival in the Lombardy plain compared with the surrounding mountains; iv) Noting whether cold spells occur after Swallows return; v) Proof of the same birds returning to the same houses; vi) Variations in the young swallows born and brought up here; vii) After reproduction, these birds leave our homes, although they stay on longer in our area; viii) Their gathering in the evening on rushes and reeds in order to roost; ix) Their hunting for insects; x) The time when swallows leave our territory; xi) Examples of some stragglers that remain with us for months in winter without dying of cold; xii) Extremely cold situations created artificially in which swallows do not die; xiii) They can withstand severe cold much better, contrary to some beliefs.

#### **Riassunto**

Abitatrice dell'interno delle nostre case. Quando viene ad abitarle. Differenze nel tempo tra i piani della Lombardia e i monti che la attorniano. Come osservate in questa rondine, se dopo il suo ritorno nel nostro clima sopraggiungano acuti freddi. Prove sicurissime del ritorno dei medesimi individui alle medesime case. Eccezione nelle rondini novelle ivi nate ed educate. Dopo la figliatura lasciano

*le nostre case, senza lasciare allora il nostro clima. Loro radunamenti la sera sui giunchi e le canne palustri, a fine di pernottarvi. Caccie ubertose, che se ne fanno. Epoca in cui le rondini sogliono partire dalle nostre contrade. Esempi di alcune poche rimaste per qualche mese d'inverno fra noi senza morire di freddo. Freddi grandemente più acuti fatti nascer dall'arte, nei quali non periscono le rondini. Possono sopravvivere contro le sue rigidzze più assai di quello che si sarebbe creduto.*

By "Common Swallow", I mean the species which, in the right season, builds its nest inside our houses and which from now on I will simply call 'Swallow'. As we shall see, it can easily be distinguished from the other species of the same genus. It is such a well-known bird that it needs not describing.

In the vast plain of Lombardy, it arrives around mid-March. I said "around" since these birds might anticipate their arrival by some days if the weather is warm or, on the contrary, postpone it if the weather is still cold. This is not the case in the high mountains of the Apennines that surround the Lombard territory where they still breed, although in much lower numbers owing to the harsher temperatures. Indeed, in the mountains they do not appear until the end of April or even May. For the opposite reason, on the Genoa coast they can already be seen in early March.

It is worth noting that when the weather became warmer in Lombardy at the end of February or mid-March, I never saw a single Swallow, although I always checked carefully. This fact induces me to believe that they leave their wintering quarters only at specifically pre-arranged times.

Usually, after their arrival in Lombardy, they face low temperatures caused by the North and Northeast winds, which often bring snow and frost. If the cold does not last long, the Swallows remain, but they leave our areas when the cold persists. Consequently, we cannot doubt that they move to less harsh climates and I do not think I am wrong in saying that the Swallows of Lombardy move to the Genoa coast. In fact, several times in spring, when I moved to the Liguria Riviera from Pavia, I noticed that Swallows were in much larger numbers there than when Lombardy was struck by very low temperatures and therefore these birds could not enjoy the usual warmth. Once the harsh weather was over, they did not linger but went back to the places they had left a few days before since for such fast birds the distance between the skies of Lombardy and Liguria and vice versa is short. They are compelled to leave our regions not so much because of low temperatures but rather because of the lack of food, since they feed on small flying insects that hibernate on the ground due to low temperatures.

It has been proved that the Swallows that nest in a certain house faithfully return to it since at their return in the spring they still have the red thread that I had tied to their leg the previous autumn before their departure. I have applied

this method three times by tying a very thin silk thread to one of their legs. Two times, both males and females returned to their nests, thus proving their identity without doubt. However, the Swallows of the third experiment did not come back, although this does not mean that they had abandoned their nest since they might have died by natural or accidental causes.

Therefore, my observations prove that swallows always go back to the same houses and that the bond between male and female remains strong, as also happens with other bird species.

However, in order to avoid misunderstandings, only adult Swallows go back to their usual places, that is the specimens that had bred the year before, since most of the time their offspring go to nest elsewhere, as I was able to verify in the following case. In Pavia, under the portico of my own house<sup>2</sup>, 6 or 7 pairs of Swallows regularly nest; they seldom repaired their nests in 18 years. Their numbers never increased, although they always raised two broods in the good season and the young ones always followed their mothers. I noticed the same thing in two Swallows which had their nest in a room of another house; the number of the nesting couples never increased, although they always completed their reproduction successfully. It is therefore obvious that, at least for the cases that I was able to follow, the young swallows do not build their nest in the same place where they are born. This is confirmed also by the fact that, from the beginning, the young Swallows show a clear need to go away from the places where they were born. After leaving the nest once they are able to fly, they follow their parents for a few days and in the evening, they go back in the same nest to sleep, as a family. But once they no longer require looking after and they can find food by themselves, the young Swallows disappear and only the adults remain to tend to the second brood.

Towards the end of August, once they have finished nesting, the Swallows leave our homes and their nests, although without going far. We can still see them every day here and there flying swiftly looking for food and gathering in small groups where their prey is more abundant or more easy to catch. In the evening we can see them roosting in great numbers on the rushes of some marshes and ponds, often in the company of other birds, such as the Starling (*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758), the House Martin (*Delichon urbicum* Linnaeus, 1758) and the Yellow Wagtail (*Motacilla flava* Linnaeus, 1758). Many years ago, near Rubiera of Modena, hunting them was considered an enjoyable activity. Besides large numbers of Swallows, Wagtails and House Martins, numerous colonies of Starlings arrived from various directions, similarly to Carrion Crows (*Corvus corone* Linnaeus, 1758) in the winter,

---

<sup>2</sup> Since 1769, Spallanzani lived in Pavia first in via San Martino, near the Castiglioni College, then, between 1770 and 1778, he resided in the ex-convent of Sant'Epifanio, which at present is the seat of the Botanical Garden of the University.

which gather around Pavia in the woods along the bank of the River Ticino. At sunset, the afore-mentioned Starlings gathered on top of tongue-shaped reeds near Rubiera, which in the middle had been deliberately cleared by hunters with a small body of water surrounded by a very large net. In the middle of the night, the reeds were crossed by a rope which, pulled by the strong arms of several men, shook the reeds. This sudden movement and the noise frightened the birds, which moved towards the pond where the reeds were still. At this point, the rope was quickly pulled and consequently a great number of birds flew over the body of water to go and roost on the other side. As the birds flew over the pond, the net was dropped on them so that they remained trapped, falling into the water and drowning shortly after. This sort of hunting did not occur just once but many times thanks to the new arrival of species that continued to crowd the reeds. In this way, large numbers of Starlings were caught, which was a useful thing considering the damage that these birds cause to fruit trees and, in particular, to vineyards. At the same time, these birds, once caught, were rather good to eat. Unfortunately, this procedure meant the death of a large number of Swallows, which are birds that should be spared and protected considering their utility to humans, since they kill and eat mosquitos, flies, weevils and other harmful pests.

It was reported that in some areas of France Swallows usually gather on top of very tall trees in groups of three to four hundred individuals. This occurs early in October and their departure usually takes place during the night<sup>3</sup>, although sometime it happens during daytime<sup>4</sup>. Indeed, Mr Hébert<sup>5</sup> saw them many times as they left in small groups of forty to fifty individuals flying high in the sky towards the South in a very quick and compact manner (*ibid.*<sup>6</sup>).

This is a good observation, although I never experienced it in Lombardy or in the mountains that border to the South<sup>7</sup>. Indeed, I always noticed that before the end of September their number dwindles and soon after most of them disappear without gathering first. I said most of them since some, very few, remain with us till the beginning or even the heart of winter. To this purpose, I will describe some cases that I consider important owing to the consequences resulting from them.

The first episode took place on 11<sup>th</sup> November 1791. Throughout the whole morning, a thick fog covered the sky of Pavia. In the afternoon, the fog started

<sup>3</sup> Actually, the various species of swallows are migratory birds with daytime behaviour.

<sup>4</sup> Note by Spallanzani: Montbeillard, *Oiseaux*, Tom. XII in 12. Cited now as P. Guéneau de Montbeillard, 1779, in: G.L. de Buffon *Histoire Naturelle des Oiseaux*, Buffon & Montbeillard, 1770-1783, VI.

<sup>5</sup> René-Joseph Hébert was a French high state officer but also a naturalist and a hunter. He corresponded with Buffon who quoted him frequently in his *Histoire naturelle*, thanks to his information on birds.

<sup>6</sup> Abbreviation of *ibidem* in Spallanzani (meaning “in the same place”), here referred to the previous quotation: Montbeillard, *Oiseaux*, Tom. XII in 12.

<sup>7</sup> The Northern Apennines.

to lift and within an hour and a half, the sun was shining. Then, over my house, located in the higher part of the city, I saw two Swallows flying low in wide circles, which is typical for these birds, and disappearing in the distance. Two nights before, I had noticed a thin layer of black ice on the streets but when I saw them flying, my thermometer read nearly  $+6.5^{\circ}\text{R}$  [ $8.12^{\circ}\text{C}$ ]. Never again during that winter did I see these birds.

Once more, on 9<sup>th</sup> January 1785, two hours before dusk, I noticed a Swallow flying low, nearly touching the streets of Pavia. I was indeed surprised since, in that moment, the thermometer read -1 degrees and the night before it had reached -2.5 degrees. This bird was not flying with the usual agility and speed which are typical of Swallows; in fact, it was slow and looked very weakened. The sky was clear and there was no wind.

Finally, the third episode concerns something that I observed several times when I was professor of Philosophy at the University College of Reggio Emilia. In this town, the basilica of the “Beata Vergine della Ghiara” [Blessed Virgin of the Ghiara] is famous for its impressive architecture, size and beautiful paintings. It is quite common that in the mild season a Swallow got inside this church through the main door, which is very wide. Nevertheless, once inside the bird could not find the way out. Therefore, it flew higher up, where there is more light, as observed also with other birds, which were caught in and struggled to find a way out toward the top of the dome, which is large and bright. This big dome, though, turned into a maze for the Swallow, which could not get out anymore and continued to fly incessantly until it was so tired to rest on top of the protruding cornices.

Sometimes I was able to see some of them until mid-January. I could not understand how they could survive without feeding, since inside the church the food consists only of flies, small spiders and other tiny invertebrates. Furthermore, in this specific case, the Swallows trapped inside this building had to feel the cold during all winter, since the dome had numerous and wide windows protected only by glass.

These observations convinced me that, contrary to what most people generally believe, Swallows do not feel the cold to the point of fleeing away from the winter and returning when it is over. Similar things are in agreement with the statement that, once Swallows return here in the spring, they do not go away when they are caught by low temperatures, provided that the cold spell does not last long. In Lombardy, towards the end of March and even in early April sudden snowfalls may occur, although rather seldom, during which I was able to see Swallows more than once flying around with no sign of being harmed or even bothered by the snow. And if the Swallows move to the milder

---

<sup>8</sup> Spallanzani used the Réaumur scale ( $^{\circ}\text{R}$ ), whose conversion factor is 4/5 (that is 80 Réaumur degrees correspond exactly to 100 Celsius degrees).

climate of Genoa when the cold persists, as I was able to verify, they still have to withstand much harsher conditions when crossing the high Apennine passes without dying.

This series of verified observations, nonetheless, is in disagreement with what is reported at the entry “Swallows” in the *Encyclopedie Méthodique*<sup>9</sup>: “When cold spells occur in springtime after the arrival of swallows, these birds die during the day at temperatures of +4 or +5 degrees, and of -1 up to -2 degrees if they are exposed to the cold weather for one or two hours before sunrise”. Therefore, I wanted to satisfy my curiosity by preparing for some Swallows cold artificial conditions, and I carried out the experiment on 21<sup>st</sup> August 1792 when the thermometer read +19.5 degrees. I put four Swallows inside a cylindrical glass vessel that was immersed in the snow for a full hour. At established intervals, I got the Swallows out and noticed that they gave no sign of being numb. Indeed, an hour after I took them out of the vessel and let them free in the room, they began to fly, although more slowly at first. Then I submitted them to lower temperatures after mixing sodium chlorine with snow. I placed the vessel with the four Swallows into this mixture next to a smaller container with a thermometer inside in order to verify which temperatures they could withstand. After 183 minutes, it read -10.14 degrees and the four Swallows looked weak but still alive. They kept their eyes open and, if touched, they moved inside the vessel. When eventually I removed the cloth cap that sealed the container, they made efforts to flee from the opening. The thermometer did not go below this temperature, always remaining at -10.14 degrees. I left the Swallows at this temperature, which can seldom be attained even in the coldest winters and now and then I removed the cap in order to examine their conditions. After another 60 minutes, I checked the Swallows again and noticed that two of them still showed signs of life whereas the other two looked dead since, although I poked them with a wooden stick, they remained with their eyes shut and head tilted and did not show any sign of spontaneous movement. This happened when they were inside the vessel, even by taking them back to room temperature which, at that moment, was +19.33 degrees. Actually, what happened was nothing more than asphyxia since, once exposed to a warmer temperature, they revived and, after another 68 minutes, they became active and lively like before. The other two, after another 11 minutes at those low temperatures looked dead like the others, but they quickly recuperated their original liveliness once they were brought back to room temperature.

---

<sup>9</sup> *Encyclopedie Méthodique*, by Louis-Jean-Marie Daubenton (1716-1799).

After the four Swallows had recuperated their strength, I put them back in the vessel and brought them again to the same temperature of -10.14 degrees, which they withstood for another 19 minutes without dying. At this point, I could not continue the experiment since the temperature had gone up due to the snow melting.

On 27<sup>th</sup> May 1793, the experiment was repeated on other Swallows using the same method, although this time a lower temperature of some degrees was reached. One of these birds, after withstanding for 10 minutes a temperature of -11 degrees, was removed from the vessel and looked very weak indeed. After another 15 minutes at the same temperature, it was freed in the room where at first it managed to fly but soon after it fell to the ground. Once the amount of snow and sodium chlorine was increased, the thermometer went down to -13.5 degrees and the same Swallow was kept in this severe cold for another 10 minutes after which it was found barely alive and panting. After another 8 minutes, the bird was dead.

On the same day, another similar experiment was carried out on another Swallow that looked very lively, like the previous one. Nevertheless, after 15 minutes at -14 degrees it was found dead inside the vessel.

The exposure to the same temperature for 10 minutes killed a third Swallow which, when placed inside the vessel was lively like the previous ones. Nor could I state that these Swallows suffered from temporary suffocation, since when they were removed from the vessel they never revived.

Thanks to these experiments, it is clear that Swallows die when exposed to intense cold, but they can withstand lower temperatures at which it is commonly believed that they would die.

**Monograph no. 2 by Lazzaro Spallanzani****“The House Martin (*Delichon urbicum* Linnaeus, 1758)”**

The House Martin *Delichon urbicum* (photo by M. Giordano).

**Abstract**

i) Extremely common species all over Italy, although Montbeillard thinks the opposite based on the authoritative opinion of Aldrovandi, who believed this species to be absent in our territory; ii) The House Martin usually nests mostly in areas inhabited by humans; iii) It arrives in springtime, although later than the Barn Swallow, and builds new nests if the old ones have been destroyed; iv) A tale told by Linnaeus, who wrote that sometimes the old nests are occupied first by Sparrows; v) Material used for the construction of nests and the birds' intelligent method used for building; vi) How to catch them when they are busy collecting nest material; vii) Their attachment to their offspring, which is not linked to local situations, as some people believe; viii) Various factors demonstrate that these birds feel the cold; ix) How, by means of a House Martin sitting on eggs or feeding its fledglings, it is possible to receive or send messages to friends far away in a short time. Similar experiments have been made with Swallows. This cannot be done in similar circumstances with other birds with less agile flying skills; x) How House Martins are sensitive to moderate cold but can withstand severe temperatures before dying.

**Riassunto**

Si tratta di una specie abbondantissima quasi in ogni angolo d'Italia, sebbene Montbeillard pensi il contrario, basandosi anche sull'autorevole parere dell'Aldrovandi il quale affermò che questa specie

nelle nostre zone non sarebbe presente. Tende a fare il nido più nelle zone abitate dagli uomini che in quelle disabitate. Arriva in primavera, ma più tardi delle Rondini, e costruisce nuovi nidi solo se sono distrutti quelli vecchi. Fantastico racconto di Linneo, a proposito di quando capita che i vecchi nidi vengano occupati prima dai passeri. Materiali utilizzati per costruire i nidi e il modo intelligente di metterli assieme. A proposito del modo di cacciarli, quando sono occupati a raccogliere i suddetti materiali. Sull'attaccamento verso la prole che non è legato a situazioni locali come certi ritengono. Diversi fatti dimostrano che questi uccelli soffrono il freddo. Come tramite un Balestruccio che cova o imbecca i piccoli si possano ricevere o trasmettere messaggi ad amici lontani, in poco tempo. La stessa cosa sperimentata con le Rondini. Nelle medesime circostanze lo stesso non si può fare con altri uccelli meno abili al volo. Sebbene i Balestrucci siano sensibili ad un freddo moderato, prima di morirne possono sopportare temperature ben più rigide.

As in many other parts of Italy, I shall also call the swallow with a black-bluish rump and white abdomen “House Martin”, which Linnaeus classified as *Delichon urbicum*.

I was surprised to read that Aldrovandi<sup>10</sup> considered this swallow absent in Italy, or at least in Bologna<sup>11</sup>. I would like to believe that when this famous naturalist was writing there were no House Martins in his town, although when I lived there as a student, I saw many nests of this species under the roofs of several houses. If we consider the whole of Italy, it is well known that House Martins are more numerous than Barn Swallows and Swifts. Indeed, there is hardly any town or village in the plain as well as in the hills or mountains where the House Martin does not breed in great numbers. Among the many Italian towns that I visited, I noticed that these birds were missing only in Venice where, by the way, there are not many Barn Swallows either, although the climate is favourable and the buildings suitable for their nests. I tried to find an explanation, and I think the reason is due to lack of food, since they feed on flies, gnats, small moths and other flying insects, which are not present in Venice, as I was able to verify myself when I went there on different occasions during the suitable period for breeding. The city's inhabitants also confirmed this fact. Without doubt, the absence of these small insects is due to the fact that they cannot lay their eggs in a place nearly completely covered by salt waters.

Montbeillard<sup>12</sup>, in his “Natural History of Birds”, remarked that the House Martin breeds preferably at the entrance of caves, on rock cliffs and steep slopes, instead of brick walls; therefore, it would prefer isolated places rather

<sup>10</sup> Ulisse Aldrovandi (1522-1605) was professor of Logic and Philosophy and later of Natural History at the University of Bologna. He is credited for the invention/first written record of the word “geology”.

<sup>11</sup> *Caret huiusmodi hirundine Italia, vel saltem hic* [that is in Bologna] *mihi nunquam observare licuit* (cf. Aldrovandi U., 1599 – *Ornithologiae*, T. II, Bononiae).

<sup>12</sup> Philippe Philibert Guéneau de Montbeillard (1720-1785) was a French writer and naturalist who collaborated with Buffon by editing Volume 6 of his *Histoire naturelle des Oiseaux*.

than towns or urban areas. This was first confirmed by Hébert (a talented French ornithologist), who described the House Martins that abound around Nantua<sup>13</sup> and which prefer to build their nests on the sheer rocks surrounding the lake with the same name, although they could find suitable breeding sites in the town. This fact might even be true, although it should not be generalised. For instance, the Castle of Scandiano is greatly favoured by this species of swallow, which builds its nests on top of a high tower. Nests are also found outside certain houses facing North and East, on the upper part of the walls of the Capuchin Convent, but also the South face of several buildings has always been occupied by groups of 2, 3 or even 4 nests. At 2.5 miles<sup>14</sup> Southeast of this castle, in the Apennines, there are two steep cliffs, called “Ripe del Sasso” and “Ripe della Scaffa”<sup>15</sup>. They have many cavities and ledges that could be suitable for House Martin nests since they would protect them from the rain, as it is the case with houses. Nevertheless, no nests were ever found in the cliff and very few in the latter.

During my numerous excursions in the Apennines, I often visited similar sites, although I never found them populated by these little birds. On the contrary, I often found their “dwellings”, that is their nests, in the villages and hamlets more or less near these cliffs.

In July 1788, as I was going to Rome, I passed by Foligno<sup>16</sup> and was surprised by the number of House Martins that were building their nests under the eaves of the houses of that town and in the villages nearby, whereas in the nearby hills there was none.

I should specify, though, what I observed in the mountains above Fanano, a large village of the Province of Modena. On the steepest slopes, there were clouds of these birds. Therefore, the buildings of Fanano were a curiosity for an ornithologist eager to solve this little riddle. In fact, these houses should have been without nests, like those in Nantua, if we accept the statement by Hébert that House Martins prefer the nearby cliffs. On the contrary, there are plenty of nests in these houses, at least in those that seem most suitable for them.

Therefore, I do not really agree with Mr Montbeillard when he states that this species of swallow prefers lonely and isolated sites to town centres. If this sometimes occurs, I think it depends on local conditions, such as the fact that the food is more plentiful in one place rather than in another.

This esteemed French Author points to the fact that in France House Martins arrive 8 or 10 days after Barn Swallows and that, at the beginning, they stay

---

<sup>13</sup> Nantua is a town in the Ain Department, south-eastern France.

<sup>14</sup> About 4 km.

<sup>15</sup> Both these cliffs are no longer traceable.

<sup>16</sup> Foligno is a small town in the Province of Perugia.

along watercourses and in marshy areas. His first statement is valid also for our territory, whereas the second one is not true, since in our areas House Martins go straight to their nests, even in villages that are not surrounded by running or stagnant waters, as in Pavia. On the other hand, Barn Swallows do not behave like this; at least those that have their nests in this city since, after their arrival, they fly around them for several days before occupying them.

As for cold spells in the spring, it was proved that if the cold lasts for a long time they leave, but if it lasts only for a short time, they remain with us.

It was said that House Martins which dwell on cliffs or isolated places rebuild a new nest every year. I was not able to verify this, but I ascertained that things go differently over here, where the House Martins that nest in houses have the habit of reusing the same nests for several years; other people observed this too.

Linnaeus writes that the House Sparrow (*Passer domesticus* Linnaeus, 1758) can often occupy a House Martin's nest. If this happens, this swallow gets the help of members of its own kind, some of which keep the intruder still while others bring clay in order to seal the entrance to the nest. In this way, these Martins take revenge by suffocating the intruder (*Syst. Nat.*<sup>17</sup>, *Hirundo urbica*).

This tale is amusing and is still used by its illustrator Mr Gmelin<sup>18</sup>, but common sense tells us that it is not true. Indeed, it has happened that the House Martins arrived some of their nests were already occupied by sparrows. In these cases, House Martins fly and shriek around the occupiers but they never do anything like what was said before, so much so that the intruders remain in the nests. In addition, the sparrows put many blades of straw and grass, twigs and other recovered material which makes the nest unsuitable for House Martins, since they would be in their way because of their short legs.

The shape of the birds' nests is an important element in their life. Each species builds a particular nest, different from those of other species and keeps it unchanged, generation after generation. The shape of the legs and of the bill and the way they use them are the tools of these hard workers. The materials used by House Martins and Swallows are more or less the same, that is earth, straw blades and feathers, although they differ in the shape. Both have the appearance of a semi-sphere, but the House Martin's nest is wider with a smaller opening.

The above quoted Montbeillard says that he has found bugs<sup>19</sup> inside the nests. I observed the same thing: nearly all the nests examined had these

---

<sup>17</sup> *Systema Naturae* (1735-58) by Carl Linnaeus. This work marked the adoption of the systematic use of the binomial classification of plants and animals (*Genus* and *species*).

<sup>18</sup> Johann Friederich Gmelin (1748-1804) was a German naturalist.

<sup>19</sup> Several species of parasite insects and mites are present in these nests.

parasites and I counted 47 of them in just one nest. These revolting and rotten insects look the same as those which infest the houses of humble and poor people, although sometimes they are found also in the homes of cleaner and noble people. These parasites usually hide in an impalpable dust, quite common inside these nests, and they are full of blood which they sucked from the House Martins, especially from the fledglings that are compelled to stay in the nest until they are ready to fly. In any case, notwithstanding this parasitism, the *pulli* are always very fat.

A fine layer of feathers that is found also in the nests of Swallows and other birds, covers in turn the dust found inside the nests. Obviously, the parents collect these feathers in order to keep their eggs warm and their brood comfortable.

Mud makes up most of the material of a nest. House Martins collect it with their bill along the shores of rivers, streams, ponds etc. whereas on the dry land they collect sticks, straw blades and other tiny material that are found inside the nests. Feathers, though, are collected in mid-air, at least the lighter ones, which are carried up high by the wind when they detach from the birds' body.

I witnessed this way of collecting feathers when I was very young and, by observing their behaviour, I learned how to catch them. I put some birdlime on a 1-inch<sup>20</sup> long twig of sorghum and I glued it askew to a very light feather. Then, I went on top of the building near which the birds were flying and started to blow on the feather to make it move up and down, and most of the time it was swept up by the wind. On seeing it, a House Martin would come to catch it but, when it touched the feather, its wings would be stuck in the glue and the bird would fall to the ground. In places where great numbers of House Martins used to gather, I was able to catch a few dozens of them in less than one hour. Watching this sort of hunting was not at all tiring and very pleasant for those who stood by, but it also amazed those who did not know about the trick of the birdlime and saw the House Martin falling to the ground at the only touch of the feather swinging in the air. However, this stratagem can work only before the nests are filled with feathers, although some interest for new feathers remains. Otherwise, after brooding and once the eggs hatch, feathers are no longer useful for the birds since they lose interest and stop collecting them.

Usually, the House Martin raises three broods: the first one within May, the second one in June and the third one within July. Montbeillard, who had been observing them before me, asserts that the first brood consists of five eggs, the second one of three and the third one of two or three.

I think that his observation is true only in particular cases because it would

---

<sup>20</sup> The inch ranged in Europe from 2.60 to 2.708 cm. The metric system was adopted only in 1798 under Napoleon. Up to then, measurement units varied from country to country and sometimes within each of them.

not be reliable if applied to all birds. At the right period of time and for several consecutive years, I examined the number of eggs of the first, second and third broods and I realised that the number of eggs remained the same in all of them (usually five or six eggs). During the summer holidays of 1793 in Scandiano, I examined the nests of the afore-mentioned Capuchin Convent at the end of July where, on the North, East and South sides over one hundred nests formed a sort of thick rope all around the outer walls. I noticed that although the young ones were still in the nests, they were able to fly. In fact, when I checked the nests one by one, nearly all the chicks flew away and their way of flying was identical to that of their parents. Moreover, every brood consisted of 4, 5 and sometimes 6 chicks.

Since I took note of the incubation time, I think I am right in saying that it lasts 15 days and that extra few days are necessary for the parents to wean the chicks. Thus, within 3 months the females raise three broods.

But I wonder if it is true, as stated several times by the French Author, that these birds never build their nests inside the houses and that the bond with their own offspring depends somehow on local situations. With respect to the first statement, I certainly agree since I have always seen these birds building their nests outside buildings and never inside, as Barn Swallows do. However, I do not share his second opinion because my observations showed opposite results. Indeed, Montbeillard had detached a House Martin nest with four chicks inside and placed them on the windowsill of a window next to the nest. Their parents kept flying close to them but did not take any interest in their offspring although they certainly heard their calls.

I could not say why they did not take any notice, nor if this depended upon the fear of humans who might be looking through the window or other reasons. I can only state that when I placed the chicks of many broods inside a cage next to their nests that had been detached from the original position, their parents always kept feeding them even after they were able to fly. Therefore, this parental bond does not depend on the position of the nests, but links together parents and offspring even though the latter had been removed from their nests.

When circumstances allow it, House Martins build many nests in the same place because they are sociable by nature. They also feel the cold and in summer, early in the morning, they gather in large groups on the cornices of towers and on the tallest buildings facing East so they can warm up in the rays of the rising sun. As autumn approaches, accompanied by showers of rain and cold winds, all the House Martins of a certain village, or nearly all of them, fly towards the ledges of the tallest building, exploiting the most favourable position to find shelter from the rain and the wind. In these places, they stay very close to one other and are so cold and torpid that it is not difficult to catch them with your bare hands.

I myself experimented this for several consecutive years, towards the end of August, on top of a high tower in the province of Modena. These birds gathered in large numbers on the South and West faces of a wide ledge when the rain came from the North or Northwest. Since there were several windows just above this ledge, I was able most of the time to catch a handful of them by quickly stretching out my hand and arm, since they looked as if they were frozen. I noticed that most of them kept the head under their wing or leaning on their back as if they were asleep. Since this sudden capture frightened them, they fled if they could by flying very fast.

After having completed their last brood of the season, House Martins stay well beyond mid-September. Some of them continue to spend the night in their nests, but the majority of them go to sleep on the reeds of ponds together with Barn Swallows.

After this time, they fly away without gathering in large clusters. Seldom, at the beginning of winter, some stragglers are seen in Lombardy, although they are doomed to succumb to the coldest season. Therefore, our House Martins behave differently from those observed by Hébert, who reported that these birds gathered in large numbers on a building in Brià<sup>21</sup>. Furthermore, Lottinger<sup>22</sup> asserted that before their departure House Martins train themselves by flying high, nearly as far as the clouds (Montbeillard *l. c.*<sup>23</sup>). The local characteristics of Lombardy and of the other places previously mentioned are perhaps the reason for the differences observed, since they may influence animal behaviour.

I did not check whether House Martins reoccupy the same nests they had built the previous year, when they come back in the warmer months. Nevertheless, I did an experiment just as interesting with Barn Swallows about their typical behaviour. When one wishes to receive quick news from a distant friend, a Swallow engaged in hatching is sent to him. After receiving the bird, the friend would again let it free after having tied a thread of a previously established colour to the bird's leg. The Swallow is then eager to go back to its nest and arrives there much faster than a man would, bringing back the coloured thread with the reply. Even Pliny<sup>24</sup> provides us with more than one example of this. In order to verify the same thing with House Martins, I behaved in the following manner. I had some of them seized from a country house in the Modena area, when they were feeding their offspring, then I cut off some feathers of their

<sup>21</sup> Meaning the town of Briançon in the Hautes-Alpes Department, south-eastern France.

<sup>22</sup> Antoine Joseph Lottinger (1725-1794?) was a French naturalist who contributed to the *Histoire Naturelle des Oiseaux* by Buffon.

<sup>23</sup> *l. c.* (also *loc. cit.*; less common *l. cit.*): abbreviation of the Latin words *loco citato* (quoted locality), redirected to Montbeillard in Buffon & Montebeillard, 1770-1783, VI.

<sup>24</sup> Pliny the Elder, Gaius Plinius Secundus (23-79 CE) was a famous Roman scholar and naturalist, author of *Naturalis historia*.

tails and I had them transported to Reggio, which is 7 miles<sup>25</sup> away, where a good reliable friend of mine would let them free. Indeed, they always came back quickly to their nests with the throats full of food for their chicks, and the tail with the cut feathers was the proof of it.

To this purpose, a curious fact should be reported occurring to the Capuchin friars of Vignola, a small town at the foot of the hills which is 15 miles<sup>26</sup> away from Modena. Those friars had the habit of presenting every year a few dozen House Martin fledglings, caught from the walls of their convent, to a gentleman from Modena. In order to avoid them escaping, they used to catch them at night, when they were inside their nests. Once the person in charge of carrying them to Modena at night-time, inadvertently let them escape, since the hatch of the cage that contained them had not been closed properly. Immediately the young birds flew back to Vignola, arriving there before sunrise, when the friars were engaged in singing praises. These devout men then heard the calls of the House Martins, which had been sent away the night before and at daylight they were able to see them flying in and out of their nests. This tale, reported to me by some of those friars, is quite credible, although I think that together with the fledglings some adult individuals were also picked since it is difficult to believe that fledglings who are unfamiliar of their whereabouts could go back to their nests, especially in the middle of the night.

Some years later, when these birds were busy raising their offspring, I tried a similar experiment, having some individuals taken to a distance of 15 miles from the place where they had their nest, where a good friend of mine freed them. Their return to the nest was extremely fast. Once I freed some of them myself, because I wanted to observe their flight and the direction they went in. As soon as I freed them from my hands, they released a call as of happiness and, similarly to hawks, they started to fly in circles, at first narrow than wider, flying higher and higher until they nearly disappeared from sight. Then, they went off in the right direction towards their nest with a fast and steady flight.

Therefore, it is clear that this bird, once freed and once again master of the sky, flies high to find its bearings and recognises the way to its nest. For sure, its sharp eyesight allows it to identify the place where its offspring is from such a height. By facing that direction with its eyes and wings, it reaches its destination at maximum speed.

These descriptions make us understand why these birds and other similar species have been observed in some parts of Europe as they flew to great heights before leaving those regions and heading South. Such heights, which are far much higher to the altitude they usually reach when they frequent our houses, are undoubtedly performed to observe the details of the landscape

---

<sup>25</sup> 1 mile is 1.609 km; 7 miles are about 11.30 km.

<sup>26</sup> 15 miles = 24.10 km.

from a long distance and therefore direct themselves towards their destination without fear of getting lost.

What has been said on the ability of Barn Swallows and House Martins to return faithfully to the nest from which they were taken during the brood, can easily be extended to Swifts, which I will describe in another Monograph. Indeed, I believe that since Swifts are faster than these two species, they can cover a distance of 60 miles<sup>27</sup> in 15 minutes. This ability was experimented also with Kites and other birds that fly high and which could carry messages quickly over long distances.

I applied this sort of experiment also to a Feral Pigeon [*Columba livia domesticus* Gmelin, 1789] when it was feeding two chicks. The test was carried at a distance of 7 miles but the bird did not come back. When it was freed, it did not fly high like the Barn Swallows but moved around with an irregular flight close to the treetops and soon disappeared from the sight of the person charged with freeing it. The reason of the difference of behaviour between this pigeon and the Barn Swallow is very clear. Indeed, the Feral Pigeon is a sedentary species and does not go away from the place where it was born. Even if it sometimes flies to certain heights, it always remains within the borders of its territory. If it is removed from its own area, the Feral Pigeon gets confused and can hardly find the way back home. On the other hand, Barn Swallows are migrating birds with long wings and fast flight and, as such, they can attain great heights, thus recognising how to go back to the place where they were born, even when they are taken far away from it.

I also mentioned speed among the various features of the House Martin since the mere fact of being a migrating bird could not explain its behaviour. Otherwise, the same thing should be true also for birds such as the Common Quail (*Coturnix coturnix*), Common Nightingale (*Luscinia megarhynchos*), Blackcap (*Sylvia atricapilla*) and Golden Oriole (*Oriolus oriolus*), which seems impossible to me.

We have seen that House Martins feel even slight cold, which accompanies the first autumn rains when the thermometer reads at most +10 degrees Celsius. One could therefore presume that the exposure to much colder temperatures, such as those next to the freezing point, would kill them, but we proved that this is not the case. As I submitted Barn Swallows to intense artificial cold (see Monograph no. 1), I also submitted two House Martins at the same time and at the same conditions. On the 7<sup>th</sup> May, the first bird resisted for 10 minutes to a temperature of -13 without dying, though it looked without any strength, with ruffled feathers and stooping down wings. It died after another 11 minutes at the same temperature. The second House Martin underwent the same experiment

---

<sup>27</sup> 60 miles = 96.50 km.

on the same day and showed signs of weakness after an exposure of 15 minutes to a temperature of -13.5. After 10 minutes at the same temperature, it was panting and, after another 10 minutes, it was dead. This proves that House Martins, similarly to Barn Swallows, can withstand low temperatures well.

### Monograph no. 3 by Lazzaro Spallanzani

#### “The Swift<sup>28</sup> (*Hirundo apus*)”



The Common Swift (*Apus apus*) (photo by M. Giordano).

#### **Abstract**

*The Swift returns to us later than the House Martin and the Barn Swallow. Such a late arrival may be due to a greater fear of cold weather than in the other two species of swallows or, more likely, because it can catch its food later in the season. Swifts coming back in springtime to our climate return to the same nest sites they have used in previous years. In reusing old nests, they are not forced to build new ones. The structure and materials of these nests. Swifts' basic instinct to fly towards objects in the air and how it is possible to catch them. How, whenever they can, they like to nest in towers and high buildings. They will also place their nests in ordinary sites such as the dovecotes so common in most parts of Lombardy. Because of this, it has been possible to make exact observations about these birds which could not have been researched in other ways. They neither land on the ground nor perch in trees, they mate inside their nests. Facts observed during such a mating. They show no interest in escaping from sites where they are nesting if discovered by man. Whether this lack of concern stems from unawareness or instinct. False that in terram decidentes non avolant<sup>29</sup>, as stated by Linnaeus.*

<sup>28</sup> The Swift, known as *Hirundo apus* in the 18<sup>th</sup> century, is nowadays classified as the Common Swift (*Apus apus*).

<sup>29</sup> Translation: “Once they fall to the ground, they cannot fly off” (cf. Linnaeus C., 1758 – *Hirundo apus*. In: “Systema Naturae”).

Normally they have a single brood each year. How, after sunset, the males fly high in the air, stay up all night and return to the nest at the beginning of the day. It is not the case, as stated by a famous ornithologist, that the hatched pulli have no begging call. Females do likewise as males, resting high all through the night once they no longer need to warm the pulli. Hypothesis as to why Swifts stay high in the sky at night. Considerable period of time needed by fledglings to exit the nest and fly. Conclusion as to the reason for this. Nature acts in different ways in relation to different kinds of birds. During the hottest hours of the day in the summer, they stay hidden in the holes of towers and other buildings. The morning and evening hours are more suitable for flying in large flocks around the sites where they guard their precious broods. Unique status of young Swifts just before fledging, at their very fattest and heavier than their parents, but this characteristic is not seen in similar species. The reason for this characteristic. After fledging, adult and young Swifts disappear from view but they do not leave our climate. For some months, they inhabit the highest parts of the mountains avoiding landing. The speed and endurance of their flight is of a higher performance than most species of birds. The incredible accuracy of their eyesight. Approximate calculation of the distance from which a Swift can clearly recognise a flying insect. Swifts do not winter inside the crevices of buildings, as Linnaeus believed. Lack of food drives them away from our countries during the autumn rather than the cold. Swifts submitted to different conditions of artificially created cold temperatures.

### **Riassunto**

Il Rondone arriva dalle nostre parti più tardi del Balestruccio, nonché della Rondine. Se questo arrivare più tardi sia dovuto al fatto che il Rondone vuole evitare il freddo, che teme di più rispetto alle altre specie di Rondoni, o più che altro per trovare il giusto tipo di alimentazione. I Rondoni tornano in primavera dalle nostre parti e negli stessi siti di nidificazione dell'anno precedente. Tendono a riutilizzare i vecchi nidi se sono ancora messi bene, altrimenti, se sono rovinati ne costruiscono di nuovi. Struttura e materiale di questi nidi. Particolare è l'istinto dei Rondoni che li porta a volteggiare in carosello per il cielo, volando insieme in stormo nell'aria aperta. Come grazie a questo istinto si riesca a catturarli. Per quanto prediligano nidificare sull'alto delle torri, e di altri imponenti edifici; tuttavia, nidificano anche in costruzioni più umili e basse, quali ad esempio le colombaie, così frequenti in più parti della Lombardia. Grazie a questi siti di nidificazione è possibile effettuare delle precise osservazioni scientifiche, che sarebbe impossibile fare in un altro modo. Dato che i Rondoni non si posano né sulla terra e né sugli alberi, è necessario seguire i loro accoppiamenti nei nidi. Cose osservate in queste circostanze. La loro noncuranza di scappare dai fori dove hanno i loro nidi, se vengono sorpresi dagli esseri umani. Se questa disinvoltura derivi dall'ottusità dell'istinto naturale. È falso che in terram decedentes non avolant, come afferma Linneo. Di solito non procreano che una nidiate all'anno. Come, dopo il tramonto, i maschi si levano in cielo e vi stanno per tutta la notte a caccia di cibo e non ritornano ai nidi che all'alba. Non è vero quanto afferma un valente Ornitologo, che i pulli usciti dall'uovo siano privi di grida di richiamo. Le femmine fanno lo stesso gioco dei maschi di volare in cielo per tutta la notte, in modo che i pulli non hanno bisogno di essere riscaldate da loro. Congetture sulla ragione del soggiorno notturno dei Rondoni nelle parti elevate del cielo. Tempo assai notevole affinché i pulli escano dal nido e volino. Ragione finale di questo fenomeno. La natura procede in modi diversi a seconda della specie di uccelli. D'estate nelle ore più calde del giorno si tengono nascosti nelle buche pontate delle torri, e di altri edifici. Le ore del mattino e della sera sono le migliori per volare in grandi caroselli sonori attorno ai luoghi dove custodiscono

*gli amati nidi. Singolarità nei giovani Rondoni non ancora usciti dal nido, in quanto sono molto più grassi e più pesanti dei genitori, e il suddetto fenomeno si estende però, sebbene con diversa proporzione, alle specie congeneri. Quale esser possa la ragione di tale peculiarità. Dopo la schiusa delle uova e il primo volo si dileguano da noi i Rondoni giovani e vecchi, non allontanandosi però subito dal nostro clima. Per più mesi abitano le cime dei monti, senza mai posarsi su qualche luogo fisso. Il loro volo, per la rapidità, e per lunghissima resistenza è il migliore rispetto a quasi tutte le altre specie di uccelli. La loro incredibile acutezza nel senso della vista. Si calcola presso a poco la distanza, da cui scorgono con distinta chiarezza un insetto volante. È falso che i Rondoni svernino dentro ai fori degli edifici, come credeva il Linneo. La mancanza di cibo piuttosto che il freddo li scaccia in autunno dalle nostre contrade. Rondoni sottoposti a diversi gradi di freddo procurato per esperimento scientifico.*

There is more I need to record in this Monograph than in the two previous ones [translator's note: which were about the Barn Swallow and House Martin]. In many Provinces of Italy, we call "Swift" that species of swallow which is bigger than the other two, with some white on its throat and dark body. Aristotle called all kinds of swallows *apodes* because he either wrongly believed that they were without feet or, perhaps more realistically, he had noticed they scarcely made use of them. In any case, the term *apus* was used by Linnaeus to strictly refer to the "Swift".

Just as the House Martin returns to us 8-10 days later than the Barn Swallow, the Swift arrives even later after the House Martin. In fact, this migrating bird is the last one to arrive; all the Swifts return amongst us between 5<sup>th</sup> or 6<sup>th</sup> of April to around 25<sup>th</sup> April, sometimes even later. I do not believe that this swallow fears the cold weather more than the others do because I have shown how they tolerate it without dying.

My guess is that they are dependent on the insects on which they feed late in the springtime. Many of these little creatures are present during winter but are lethargic and still because of the cold. Others are born in the springtime. Only when it is warm enough, as it is here in April, do the flying insects (the only food of all species of swallow) reach the upper parts of the atmosphere where the Swifts usually fly. Only then will the Swifts appear. The reason, therefore, why they appear earlier or later, is related to whether the country they want to inhabit is nearer or not to the warm southern regions.

As they come back to us, Swifts take possession of the same nesting places which they occupied the year before. I observed this in the case of a hole in a tower in Pavia, not high off the ground, where each year two Swifts nested. I caught them when they had chicks and marked both of them attaching crimson threads to their feet and the next year I had the pleasure of being able to notice that mark on one of the pair. I assume that the loss of its partner was due to death rather than infidelity.

Holes and crevices in walls, cornices and tiled roofs, are the natural sites in which these birds nest here. But there are also artificial sites prepared with a kind of artistry for this purpose. In many dovecotes in Lombardy and in the hills nearby, there are, as well as a few big holes suitable for pigeons, rows of many little holes, sometimes double, one row above the other, extending inside the wall of the dovecote where they enlarge into a kind of cell. This cell opens into the dovecote but is normally closed by a brick or a wooden plug. By staying inside the dovecote or using a long ladder, one can examine these cells. Swifts were using a lot of them, nesting inside. Thanks to these cells, I had the opportunity to make a series of observations, which would not have been easy to do otherwise. I will recount how, thanks to them, I discovered that nesting Swifts behave in the same way as House Martins. If we take out the old nest, they will make a new one but if we leave the nest, they will use it for more years. I have observed many of these nests and the nature and texture seems unique to me. I will describe one. It had an elongated concavity of which the major diameter measured 4 inches, and the minor one  $3\frac{1}{2}$  inches. It weighed 342 grains. The exterior was made from the faeces of the Swifts and contained undigested parts of insects, such as the remains of legs, heads, membranous wings and so on. The inner portion of the nest was the same except that here the droppings were combined with several specks and flakes, and these tiny things could be seen even though they were in the cavity and partially covered by feathers and that sort of down which poplar trees produce in the spring. But these materials would not stay together by themselves to form a consistent body like a nest. Therefore, a substance was needed to bind them and, so to speak, paste them and this substance is administered by the Swift itself, and it is a slimy fluid, always present around its jaws and throat, and which serves for coating the insects it takes. On breaking up and carefully examining one such nest, I observed that it was permeated almost throughout by this sticky mucus which is already hard and shiny, and is the same ashy colour as when it is inside the cavity of the mouth. Adhesion of the objects described above is possible with this substance and the nest can then be compressed and shrunk without breaking, having acquired a degree of elasticity whereby it resumes its original form after compression.

If a Swift wants to build a nest, the droppings which it has deposited inside the hole are to hand and physically perfect for this use. Down from the poplar trees, which is abundant in the spring, is taken from the air and more than once I have seen a Swift rush in and take it away. I have also seen them do this with feathers flying through the air. Indeed, I have made similar comments about martins, and I recounted in the previous monograph how I was given the opportunity to hunt them with a stick and a feather which they grabbed with their bill; I have also done this with Swifts but with a less successful outcome.

The Swift does not always fall to the ground despite the attack leaving its body entangled with the stick, because of the robustness and the strength of its wings, and so it is able to win throughout. There is a curious way of making Swifts come close which is useless with Swallows. It is to wave a handkerchief out of a window not far from the flying Swifts. The trick can work even better by waving a handkerchief attached to the end of a pole. Swifts then fly, impetuously, straight to it, approaching it so closely and when almost right upon it, rush past it, or change direction, bending to the side. They soon return to the handkerchief, however, then dive away again, continuously going to and fro, and by this artifice, one can draw them over and kill them with a shotgun; this was the custom amongst hunters, who would also throw up a hat a number of times with equal success. I do not know why these birds throw themselves at such things, unless it results from a natural habit of pouncing on living things in the air which are their prey, or perhaps, they actually suppose these things to be some harmful bird of prey, having seen how fiercely they will mob hawks if by chance they happen to come near their dwellings. If I released some feathers into the air from a tower or eminent window at a time before the chicks had hatched, the Swifts would come close and take them to their nest, but at other times they had no interest because they had no use for them; this has also been observed in House Martins. Moreover, in the old days they did hunt Swifts in other countries in a similar way to mine. Bellonio<sup>30</sup> says that on the island of Zante<sup>31</sup> children caught a great abundance of them thanks to a feather in which a hook was hidden attached to a wire that hung from a stick. The Swift was hooked in by its desire to take the feather to its nest. When I sailed for Constantinople<sup>32</sup> in 1785, I landed on that island on the 24th of September when the Swifts had already gone but I heard that this way of hunting had not entirely been abandoned. We know from how the same Author in his time they caught them on Candia<sup>33</sup>. They bent a little needle into a hook and, after sticking a cicada on it, they then tied this to a long wire held by an islander. The winged insect flying through the air was then taken by the Swift and, once hooked, the wire was pulled in by the hunter. This latter game originated from observing the Swifts trying to catch cicadas, not, I believe, to use these insects in the construction of their nests but as food, bearing in mind that they leave the ground during the hot season when the birds have finished breeding.

I have given above a description of one of their nests, which suffices to give an idea of them all, as this kind of work is unique to them. Swifts are less involved in the construction of their nests than Sparrows. So Swifts will often

---

<sup>30</sup> Bellonio: Pierre Belon du Mans (1517-1564), "*L'Histoire de la Nature des Oiseaux*" (1555), Paris.

<sup>31</sup> Zante, also known as Zakynthos, is a Greek island of the Ionian Sea.

<sup>32</sup> Constantinople: now Istanbul, Turkey.

<sup>33</sup> Candia: the island of Crete, Greece.

seize their nests, either because the Sparrows have already used the nesting sites before the Swifts' arrival, or, perhaps, to save them the trouble of making one specially. I have seen some of these Sparrow nests, which have been adapted by Swifts for their own use. The materials are thread and flax, little bundles of wool and hemp, fragments of hay and straw, and many feathers. Only the interior surface is completely covered by the gluten of the Swift mentioned above which forms a tough, elastic, ashy-coloured and diaphanous coating, under which can be seen the matter already described. And all the evidence is that the *pulli* inside these nests belong to Swifts not to Sparrows.

Just about all the authors who have written about Swifts tell us that they like to nest up high. Indeed Pavia records many towers which are extremely rich in these birds, and where, in the breeding season, they are never seen dwelling in the lower parts but only in the middle and the top, hidden in the holes that were once used for scaffolding. I have made similar observations elsewhere. Nevertheless, it is far from being their general practice. There is evidence from the busy bridge over the River Ticino in that same city, where many Swifts nest under the arches (even though they are next to the feet of passers-by and not far from the water). In a similar vein, it has been pointed out that Swifts will inhabit the lower parts of towers and dovecotes just as much as the higher ones; moreover, it is often the lower building which shelters a larger number of these birds, while another, much higher one shelters fewer or none, even though the same holes exist in both and they are in the same city, village or castle.

I have noticed that Swifts' favourite places are buildings in hilly or mountainous regions, surrounded by wide open spaces, with no prominent trees, and where accordingly they can rush around flying acrobatically. It is the same with buildings located on rivers with running water. For this reason, dovecotes in both these kinds of sites are usually occupied more abundantly than others, whatever the nature of the skyline, and the Swifts nest in both of them equally well.

It was thought that because they do not land on the ground<sup>34</sup> or in trees, that Swifts mate in the holes where they have their nests. It was very helpful to be able to clarify the facts through having the opportunity to utilise a 'Swift dovecote', which is what I will call those towers designed to house these birds. When Swifts return to us, they are almost always in pairs; they are, therefore, both often in the same hole at certain times of the day and before nightfall. Therefore, as not to scare them, I watched them through a thin hole in the little

---

<sup>34</sup> «Swifts sometimes rise over heaps of manure, where they get insects and where they take flight» (in Montbeillard, *Le Martinet Noir*). I would like to add that an old hunter told me that one day he saw a Swift or something similar, which flew into a mass of soft mud at the edge of a river bank where there were many House Martins taking soil to make their nests. But these are extremely rare incidents and do not change the fact that this kind of bird does not land on the ground.

wooden door expressly made for the purpose of blocking the nesting cell. I then saw the male mating with the female many times, just as the swallows do, except that the act in Swifts is of shorter duration. The male, at those sweet moments, emitted a very small repeated cry, which should not be confused with the longer and infinitely higher cry which sometimes characterises Swifts inside the nest and which is also heard outdoors at night time.

After they have entered their holes and during mating, when they are hatching eggs or feeding *pulli*, Swifts are so inept and unaware, that not only do they not flee at the appearance of man, as I have seen Sparrows do the moment I opened the door of the little cells where they had their nests, but they do not even move away. I should also say that I could remove the female from the eggs, handle her and put her back on them, without her seeking to leave; at most she would go into a corner of the little chamber and remain there, still. The same inertia applied to the male when entering the hole to feed the *pulli* or a hatching female. Often I had to place the bird at the hole from which they had entered and almost give it the impetus to fly away. But I think this inertia is due less to a lack of that instinct by which every animal ensures its own preservation by escaping from danger, and rather more to their long wings and very short feet which makes it hard for them to lift themselves from any flat surface on which they are resting.

The behaviour of Terns, which live mostly on the sea, and in particular the ones we call *stolida*, supports my explanation because they will let men take them without any attempt to escape and they also have very long wings and are extremely slow at taking flight.

The Swifts' apparent indifference to escape when they are inside their nests disappears, however, when they are outside the nest. In the first case, they only move a little, or not at all because they know that the extremely narrow space prevents them from opening their wings to enable them to rise from the surface. It is not the same when they are placed on the floor of a well-lit room of equal length and width. I have seen them take flight even though it may be very flat and they have no high place on which to climb, contrary to what Linnaeus and others have said: *in terram decedentes non avolant* (Syst. Nat. *Hirundo apus*). When, therefore, an already mature Swift is lifted from the nest and placed on flat ground, it almost immediately points its feet on the ground lifting itself up a little, and at the same moment opening its wings and, fluttering, it lifts away from the ground, in a brief and low wheel-like motion, then once again in a less narrow and higher motion, then a third movement of greater extent and, gaining height, becoming a free lord of the air. I have tested ten individuals, including juveniles and adults, in a room, two of whom I let fly out of a window. I agree, however, that if they are grounded by chance, or land on ground full of bushes, high grass or other similar barriers, which appear

to them like insurmountable rocks, then they are unable to flutter their wings.

Usually the brood of a Swallow is two, three for a House Martin, and only one for a Swift. They will breed a second time only if the first brood has perished because cold weather in May killed the *pulli*, either when they were still inside the egg or when newly hatched. Ordinarily, there are no fewer than two and no more than four eggs. The female is the only one to undergo hatching, and during hatching she is fed by the male which, four or five times a day, vomits into her mouth a mouthful of flying insects, such as winged ants, flies of several generations, little bugs, small butterflies, etc. A curious phenomenon can be observed in the males towards evening which I have studied many times with delight. Just before sunset and having performed a series of turns and twists round the towers, dovecotes and other buildings where they have their nests, all the time screaming very sharply, they then rise little by little to a greater height than normal while continuing to make their shrill calls and, dividing into little flocks of 15, 20 or more, they lift up ever higher until finally they are out of sight. Such a phenomenon occurs consistently every evening, about twenty minutes after the sun drops below the horizon. On looking for the direction they took before they disappeared, I would see that they had left the town towards the countryside. So, while a quarter of an hour before they disappeared the air was filled with their cries, once they had gone, nothing could be heard except the broken voice of a female inside a nest.

On observing that the same number of Swifts was flying in the air at sunrise as before sunset, I assumed that the same Swifts had come back but did not know if their return had happened at night or at the break of day. To get to the truth, I went to the top of one of the highest buildings in Pavia an hour and a half before dawn. The sun rose over the horizon without the appearance of a single Swift. They started appearing 12 minutes after sunrise and after 23 minutes they were as numerous as usual. This is what happened. At first, I could hear the cries of the Swifts but could not see even one, then they began to appear very high up as black specks against the sky. Then, diving down, they reached the towers of Pavia in an instant, and began again their cries and usual flights through the air. They do not descend in the same way that they ascend, that is in small flocks, but divide, and only come back together into groups around their homes.

After having hatched the eggs, the female also incubates the new-born Swifts during the early days in the same way as other birds do, because the heat of our climate is not strong enough to furnish the energy which the *pulli* need. The newly hatched Swifts, unlike those of other swallows, are almost mute and ask for nothing but, fortunately, their parents understand the call of nature and administer the food they need: they feed them two or three times a day. Montbeillard states the same.

I have to say candidly that I cannot agree with his statement even though it is expressed in very clear French, at least when I think of my own observations of Swifts. During the summer holiday of 1789 in Fanano, I slept in the room of a tower inside where a Swift nested each year in a specially-made hole in a wall. The hole continued into my room and the inside part was closed off but could be opened by means of a moveable brick. When I got there, the eggs were not yet hatched but a few days later two chicks were born. I then saw that every time the parents entered the hole and approached the chicks (my presence did not scare them at all), they opened their mouths to receive the food, and at the same time they made a weak cry which continued for some time. They did the same with me when I touched the tip of their beak with my finger. At this time, they had no feathers. Feeding times for House Martins and Swallows are not frequent, maybe four, five, or six times a day. I made similar observations in more than one Swift dovecote in relation to the feeding call, which is universal to all nesting birds and to the number of feeding times each day. When the older chicks no longer need to be warmed by their mothers, they also disappear after sunset with the males, and we lose sight of them high in the sky, only to see them return at sunrise. And these comings and goings continue as long as the Swifts inhabit our houses.

Montbeillard talks about it too but as a phenomenon that is observed only in July when the departure of these birds is imminent, which does not at all fit with the observations which I have narrated above. He is convinced that they spend the night in the woods hunting for insects but I doubt whether they can see sufficiently to prey on them. My doubts are based on evidence. I related before that when Swifts are put on the floor of a room, they will lift off the ground and fly, making continuous circular flights around the room. I have observed that it is then difficult to catch them because they wheel towards the upper part of the room. But there is a very easy way to catch them straight off and that is to darken the room immediately by closing the windows. They then suddenly lose direction of flight, bang against the wall and fall to the ground. For this to happen it is not necessary for there to be a complete loss of light. Incidentally, I have noted the same phenomenon with the Barn Swallow, Sand Martin and House Martin. Despite this, I would not assert that Swifts cannot see at all during the night time unless the stars are shining in the sky, otherwise they would be dependent on the stars to fly. I would state only that it seems to me their eyes are unfit to see very tiny living things in the air at night time. And my assertion gains strength from the following observation. While I was on a hill in the early morning at the time when the Swifts were descending and returning to their homes, I managed to kill two with a shotgun. Their gizzards were empty, except for a residue of insects which were unrecognisable because of the effects of digestion. It was therefore clear to me that they had had no

food during the night otherwise there would be an amount there, and that the residue was probably prey from the day before.

Anyone who knows even a little of the behaviour and habits of Swifts, will recognise how their flight resembles nothing more than a game when they are exercising their wings or concentrating on catching food. In the first case, they move through the air in continuous curves, twisting and turning around bell towers, dovecotes or Swift towers, their flight paths marking directions as though they were following actual roads, and always flying strongly and in flocks, and always emitting high-pitched cries. In the second case, their flight is slower, often without any fluttering of the wings, but it can be interrupted by a sudden flying away in any direction and is undertaken by lone and silent Swifts. We observe precisely this second way of flying in Swifts when they return to us not long after sunrise, and hunters too know this well and choose this time, when the flight is more controlled and slower, so as to be able to kill them more easily. I think the reason why they disappear at dusk and fly so high (something which is not observed in Swallows), is because they find the temperature up there cooler than lower down; it is as though these birds love the warm but avoid it when it is too great, as we will see later on. It is remarkable how long it takes young Swifts to leave the nest and fly. They take at least a month, when nearly half that time is enough for a young Sparrow or Goldfinch or even birds larger than Swifts, such as Common Starlings. This law of nature applies also to other swallows but to different degrees. The Barn Swallow starts to fly earlier than the House Martin, even though the latter could fly like a Swallow at this stage but it does not yet dare to leave the nest. The Swift needs more time than both to exercise its wings. This seems to be the reason for the following disparities. The Barn Swallow could be called the “daughter of the air” because, while employing most of its time in this vital medium, it also uses more perching places than the House Martin; sometimes perching on the roads, frequently in trees, and most often sitting on the iron bars stretched horizontally across the rooms and under the arcades where it pastes its nests. The first time that new Swallows leave the nest, they are brought back by their parents after a short flight because they cannot sustain a longer flight as their feathers have not fully developed and, consequently, we often see them resting on some support or another. The slow flying and the continued feeding by the father and mother for some time, is additional evidence of their immaturity. In contrast, the House Martin flies at the same speed as its parents on the first occasion of leaving the nest, as we recorded in our previous monograph, and they need to be able to because their instinct is to remain in the air longer than the Barn Swallow. For Swifts, this need is far greater because they have to in the air even longer.

Therefore, they leave the nests where they were born much later and by

then, the development of their feathers is such that there is no appreciable difference between the length of the wing of a mature fledgling Swift and that of an adult. Nor could I find any difference in the speed of flight between the two; and if you put a young Swift on the flat ground, it is as able to fly off just as an adult does.

This natural instinct in these birds, which are rightly called the “children of the air”, not to leave the nest until safely able to sustain flight, is not found in terrestrial birds. The Magpie, Jay, Starling, Blackbird, Woodpeckers, Tits, Sparrows, and hundreds of other of our countryside birds, leave the place where they were born, or rather they are encouraged to abandon it by their parents, when they can withstand short flights which enable them to move from tree to tree without falling. Other, even more terrestrial birds, such as the Quail, Partridge and Rock Partridge, leave the nest before they are even able to fly. It is the same for many kinds of water birds. Nature is always watchful for the conservation of species and so it provides for the safety of these two kinds of creatures as it does for the swallows.

The structure of a Sparrow, Blackbird, Tit, etc., or Nightingale is such that, besides being able to use the secure support of trees, they can also land without danger of stumbling and can, in any case, counteract this by flying away. Furthermore, a Quail, Rock Partridge or Partridge, even while still unfit to take to the wing, can escape on foot and by strategically hiding in grass, bushes and other hidden places, evading the insidious searches of vermin, and often even those of “Nature’s Tyrant”. Water birds, if pursued by hunters or other enemies, can find safety in similar hiding places and remain free, even though they are not expert flyers. Swifts, unable to land in trees, are almost sure of meeting death if grounded, have no other place for escape or sanctuary than the open and endless air, and so they never leave the nest unless they are sure of being able to remain suspended in this invisible medium.

In Lombardy, young Swifts are mature by 24<sup>th</sup> to 30<sup>th</sup> of June roughly, unless cold rains precede and delay maturity. If the cold deepens to an extent that the eggs go bad or the new-born chicks are killed, then a new brood is brought forth in August, and I have found chicks in the nest in the middle of that month. But this rarely happens, and the date at which the maximum number of newly observed chicks is ready to fly is, as I have said, around the last six days of June. Shortly before then the Swifts form mobs around the places where they hide their beloved broods; they are never as numerous as at this time. However, this mobbing does not take place just at any time of the day. Fearing the heat, they burrow into the holes where they have their broods during the sultriest hours of summer. It is at about 10.30 in the morning that they begin to thin out and by noon they are almost all gone and do not reappear until around 5 in the evening. Therefore, on these hottest days, it is worth taking a look at any bell

tower, tower or dovecote where they nest as, with the increase of heat, they begin to enter the holes and cracks of these buildings in that way of theirs which is so quick, almost touching the walls with their outstretched wings, then, in the blink of an eye, closing them and penetrating into the holes, disappearing inside. And they stay inside until after noon when, with the declining heat, we can observe them coming out from the same holes, with that curious practice of falling by about two feet with their wings half-open, then suddenly puffing out and flying as if swimming in the air. Swift dovecotes are proof that these birds hide away in the hottest hours of the day in their cramped hovels, after which you can always find them inside; nor is this fact ignored by those who go into the towers in search of Swifts for sale because they prefer this time of day for catching the chicks and older ones.

Montbeillard made a remarkable discovery, House Martin chicks weigh more than their father and mother. It was even more remarkable that I was able to make the same observation in Swifts. I wanted to examine the proportions or, as I should more rightly say, the disproportions in the weights between Swifts and other birds because it seemed to me this aspect of comparative physiology deserved the reflection of a Naturalist.

On the 26<sup>th</sup> of June, I was brought a nest of Swifts with two chicks as well as their father and mother. The father weighed 38.5 *denari*<sup>35</sup> + 6 *grani*. The mother weighed 39 *denari* + 5 *grani*. The weight of one of the chicks stood at 48½ *denari* + 9 *grani*: that of the other one stood at 50 *denari* + 9 *grani*. The feathers of the two chicks were just beginning to emerge from the skin. On the same day a second nest was brought to me with a chick and one of its parents; I found that the first weighed 56 *denari* + 11 *grani*, and the second 37 + 10 *grani*. The chick's feathers were about one quarter developed. Another time I had a nest with one parent and four chicks at different stages of maturity. The least mature of all, which was almost naked, weighed 43 *denari* + 2 *grani*: the second one, in which the tips of the feathers were breaking the skin, 45 *denari* + 7 *grani*: the third one, whose feathers had not yet reached the final quarter of their development, 53 *denari* + 1½ *grani*: the fourth, the most mature of them all, weighed 39 *denari* + 11 *grani*. The mother of the four chicks weighed 39 *denari* + 11 *grani*.

These facts form the most convincing evidence that the weight of young Swifts is considerably greater than that of older ones. This preponderance results primarily from the fat which covers the whole body and I must point

<sup>35</sup> *Denaro* (pl. *denari*); in the areas where Spallanzani was born and lived (Duchy of Modena, Duchy of Parma, Duchy of Milan) a *denaro* was worth 24 *grani*, 24 *denari* worth 1 *uncia*, and 12 *once* worth 1 *libbra*. The weight of a *libbra* varied from duchy to duchy and in the same duchy from town to town: in Modena the *libbra* was 0.3404 kg, in Reggio 0.3245 kg, in Parma 0.3280 kg, meanwhile in the Duchy of Milan (Pavia), which was ruled by Austria, the *libbra* was used only for pharmaceuticals and weighed 0.42001 kg.

out, also penetrates the interior, but from which the latter are completely free. This fat is of such taste and delicacy, like the flesh that lies beneath it, as to make the chicks a delicious meal, while already mature birds are unappetising to the palate, fibrous and tough. However, I must point out one characteristic relating to the fatness of the chicks that, in a true sense, came as a surprise to me. The chicks I referred to above had not reached maturity since they were nearly naked, some having feathers just beginning to pierce the body and others with little sign of development. Following these observations, I obtained some more mature Swifts and found that the weight diminished rather than growing or remained the same. Moreover, I knew that having reached this stage of maturity, the bird would lose even more weight, as in those who have already become skilled flyers. The considerable loss of weight in these already fully developed chicks does not result from the leanness of the meat but from the disappearance of the fat which means that to the eye older Swifts can be confused with young ones.

So, at two different stages in the development of the same bird, one has two apparently paradoxical findings, on the one hand the weight of the chick is at its greatest, and greater than that of its father, at an age when one would expect it to be lower, and, in contrast, the weight decreases at that stage when its maturity suggests it should be greater.

But is this bird species with which we are now preoccupied the only one in which this apparent double paradox is seen? We have already said that this was first discovered by Montbeillard in House Martins. Five chicks with no down at all weighed 3 *once* 12 which is the equivalent of 345 *grani* for each one, whereas the father and the mother weighed 288 *grani*. I have also made similar observations in both young and old House Martins. In one case, the weight of the father stood at 12 *denari* + 11.5 *grani*. That of the mother at 15 *denari* + 17 *grani*. They were both taken from a nest within which there were four chicks, two nearly naked, a third in which the feathers had begun to appear, and the fourth lightly feathered. The weight increase reflected greater development. The two nearly naked ones were of equal weight which was 17 *denari*. The weight of the middle one was 16 *denari* + 18 *grani*, and the fourth was 19 *denari* + 7 *grani*. Therefore, those among the House Martin chicks who were furthest from maturity and without any downy feathers were heavier than the adult ones. In addition, one should not omit the fact that the surplus weight in the young ones was the result of fatness, of which almost all the adult birds were free. And, as in the Swifts so in the House Martins, this same fatness reduces as they grow more mature. Whenever, therefore, these birds are nearly ready to fly, the weight is usually below 19 *denari*, and when they fly from the nest it equals or slightly exceeds the weight of their parents, as I have learnt through very many experiences, which I do not refer to so as not to bore the reader excessively.

An essay about two broods of Barn Swallows told me the same thing. There were five chicks in one brood and four in the other. The first-born were so covered in feathers that they could fly, and the others were partially naked. These latter, then, weighed more than the former, and the father and mother Swallows weighed a few *grani* less than the weight of the more mature chicks, one of them reaching  $12\frac{1}{2}$  *denari*, another 12, another  $11\frac{3}{4}$ , when one of the more mature chicks weighed  $12\frac{3}{4}$  *denari*, another 12 *denari* + 19 *grani*. But the weight of one of the less mature chicks amounted to 14 *denari* and 3 *grani*, and another to 14 *denari* and 9 *grani*.

The same thing occurs with the Sand Martin and I shall discuss this in the next monograph. Travelling in 1780 along the River Po<sup>36</sup> from Pavia to Guastalla<sup>37</sup>, my boat stopped twice under a high bank riddled, so to speak, with holes made by this species of swallow, large numbers of which came in and out of the holes and I was able to do lots of hunting, extracting the chicks from the holes with a thin rod with a grappling hook at the end. It was around 7th July, the time when the chicks are either already mature or are becoming so, and we know very well how delicious to our palates these little birds are at this time. Some of them were able to fly, others were beginning to get their feathers and others were between the two. I cannot give the weight of these Swallows, since I did not think to do such experiments at the time. However, I will say, without fear of error, that the largest and fattest were the immature chicks, and that the fathers and mothers (having got some of them out of the holes) were not at all fat, and the thinnest individuals were those closest to fledging. And it is worth noting that the preponderance of weight in the chicks of the above mentioned four species of swallows does not result from their greater flesh condition but for the most part from fat which more or less coats their bodies, and in Swifts this fat spreads everywhere and is so thick as to make them seem like little balls of butter. I say this part because the gizzards and intestines also contribute to the growth in the weight of these birds, being bulkier and heavier in their early development, as has already been noted by Montbeillard. It appears to be the case that this disproportion in weight in the early development stage results in part from the fathers and mothers depriving themselves of necessary food so as to give it to their chicks, as Montbeillard noted that the gizzards of these chicks are so widened from the food they contain as to resemble a cucurbit, meanwhile the gizzards of the father and mother shrink to the point that they contain almost nothing. He bases his explanation on two old House Martins with almost no food in their gizzards, whereas that of one of their chicks had a superabundance. I believe this case to be true but at the same time accidental

<sup>36</sup> River Po, the longest river of Italy (652 km), which crosses the north of the country from the western Alps to the gulf of Venice.

<sup>37</sup> Guastalla is a small town in the province of Reggio Emilia in the Po Plain, northern Italy.

and contradicted by innumerable others, because I opened very many old swallows of the four mentioned species during the time in which they fed their chicks so as to confirm the statements of this Frenchman, and I have always found their gizzards more or less filled with flies and other tiny animals which fly through the air in no less a quantity than that of the chicks which feed from them. What, then, can be the cause of the size of the girth of most swallows when they are immature, which is the same as when they become mature? I dare to take a wild guess at answering. Having at different times fed freshly hatched broods of House Martins and Swifts, giving them tiny and tender insects as food, I have observed that when they first begin to be covered with feathers, they are, so to speak, insatiable, nearly always demanding food with begging calls and swallowing it greedily. This insatiability fades in proportion to the development of the body, and almost ceases when they gain full development. There is no doubt that the surplus of food which these birds I refer to above, took from me at an early age, they would also have taken from their father and mother, likewise responsive to the natural instinct to satisfy a basic need. It therefore seems very natural that the fatness in these nestling birds must grow or decline as a result of the increase and then decrease of the food they consume<sup>38</sup>.

As breeding usually ends in July, Swifts then disappear from our homes, and this disappearance happens gradually because the chicks leaving the nest do not behave in the same way as Barn Swallows and House Martins who repeatedly come back to stay in the nest for some time, but whenever the Swift chicks leave, they never come back again. If you want to pick up a brood of Barn Swallows or House Martins which have only left the nest a few times, just approach at night time, silently, and you will be sure to get them. But if you once let mature Swifts leave a dovecote [for Swifts; *NT*], there is no hope of seeing either young or old back that year.

This departure, however, is only from our homes not from our climate. Badly adapted to the scorching summer heat, they leave our plains as soon as they can take the young with them and move to the mountains in the Alps and Apennines, staying there until the cold comes. On my several trips into these mountains, and especially the Apennines which are more familiar than the Alps, I often ran into Swifts, which being a very sociable bird were always in groups, flying at low altitude and moving from one place to another, but I did not hear their familiar cries.

---

<sup>38</sup> I do not know if another observation about fatness in birds has already been made, that is that while many of them become fatter towards the beginning of autumn; this is considerably more pronounced in older rather than younger birds. Birds like the Golden Oriole, Nightingale, Turtle Dove, Garden Warbler, Wry-neck, etc. are moderately fat in September if born that year but very fat if older. Those who study comparative physiology should consider this fact, well known to hunters but perhaps unknown to scholars.

This kind of swallow is, within the family of birds, the one with the fastest and most sustained flight which is due to the length and shape of its wings. The Kite is celebrated for the incredible sharpness and range of its sight and for its high-speed flight. It has been said that even though this bird of prey flies so high that we lose it from sight, it can still find the little lizards, field mice and birds from high above and choose the ones it wants to prey on (Buffon's *Oiseaux T.I.*). According to calculations which have been made, these birds can see at a distance of three miles. The Kite has been no less praised for its flying which has been called its natural condition, and for the extreme ease with which it can accelerate, stop, hover and make other changes with such facility and lightness, almost as if it were swimming rather than flying.

While some of these appreciative observations may be true, others are exaggerated, and the birds which are the subject of this Monograph are better, in my view, in respect of both sight and flight, than Kites. In the eleven months of my stay in Constantinople, I continuously had before my eyes a multitude of Kites belonging to the species which live and breed there, and could study them with great ease, and when I am able, I will write their story. Here I only caution that I never saw in them as those celebrated sharp-sighted masters in attacking their prey on which they descended, so to speak, from the clouds. Often, they rose above that huge city so high, it is true, they became invisible to the human eye, or were just a tiny speck in the sky. But it never, ever happened that they then swooped down upon the green lizards, other lizards and amphibians, even though I carefully tried to search for them. When they did fling themselves at them and took them, the distance in the air from them to their little prey was 300 or 350 feet at the most, estimated by sight. Kites' absence of the fear of man is because they are never bothered but left to engage in their hunting in the most densely inhabited places, and I was present more than once and so I could not have been deceived (...).

As Swifts feed on insects that fly in the air, tiny beings invisible to us from afar, we do not know from how far away they can take them. I do not know if Bellonio was correct in asserting that these birds can detect a fly from an eighth of a league<sup>39</sup>. I am now able to report what I saw so well which happened by pure chance. One year when I was on holiday at Ginevreto Oltrepò<sup>40</sup> in mid-September, I went one day to the nearby Montù Beccaria<sup>41</sup> and halfway along my path I observed tens of Swifts which, through their continuous flying round the same spot, indicated to me that they were hunting

---

<sup>39</sup> The league ("lega" in Italian) is the unit of length commonly used throughout ancient Europe. The distance it represented varied from country to country but corresponded in theory to the distance covered in an hour on foot or by horse, from 4 to 6 km.

<sup>40</sup> Ginevreto Oltrepò, nowadays Zenevredo, is a little municipality in the Province of Pavia, Lombardy.

<sup>41</sup> Montù Beccaria is a little municipality in the Province of Pavia, Lombardy.

for insects. I found that their prey were in fact winged ants coming out of the ground. Of the many anthills in the surrounding fields, there was one large one in the farmer's backyard consisting of a mound of crumbled earth from the centre of which some of these ants were coming out through a little hole, and then flying up and soon being taken by the Swifts. This little scene caught my attention but in order to contemplate it better I had to move away from the anthill a little because my presence was causing the birds some trepidation. I therefore decided to shut myself away in the farmer's house from where I could see everything clearly but without being seen by these flying hunters. When a winged ant rose ten or twelve feet from the ground, the Swift, which had been wandering through the air with no clear direction, would then quickly swoop towards it with its mouth open, grab it and then close its mouth making that delicate sound with its bill, just exactly like a swallow when catching a fly as prey. Often the Swift would just descend from above and then I had nothing but my eye with which to judge the distance from which the Swift could distinguish the ant. But sometimes there were a few rows of trees close to me at the point when it started its rush towards the ant, and then, having a fixed point with which to accurately measure the distance, I found it to be about 314 feet. It is therefore demonstrated that Swifts can see accurately to 314 feet an object with a diameter of five lines<sup>42</sup>, as long as it is one of these flying ants; I do not know if Nature has given Kites the same precision and sharp eyesight.

A Swift's descent with the speed of an arrow from high in the sky, almost hugging the ground then suddenly taking the opposite direction with equal speed and climbing again up to the same height, then scuttling into their narrow holes, creeping along the walls of the towers, dovecotes and other buildings without touching them, all these are new arguments which admirably confirm the accuracy and clarity of their eyesight. And the repeated cries they emit which sound so amazing and clearly show that their chests do not pant during these ever so fast excursions.

Still regarding the subject of flight, my observations show that Swifts surpass Kites. It is true that the latter delights in living in the air, wandering forever restless, then hovering suspended without any significant fluttering.

But it is also clear that they do take a rest on trees from time to time during the day and certainly roost on them each night. In contrast, Swifts abandon their nests after breeding (which, as I said earlier, happens in the majority of cases before the end of June) and during July, August, September and a good portion of October, they live in the mountains way up in the air without ever pausing, and I remember having seen on 7<sup>th</sup> November 1779 a flock over the

---

<sup>42</sup> The "line" (*linea* in Italian and *ligne* in French) is an ancient unit used to measure length equivalent to 2.2558 mm.

city of Reggio, a phenomenon which I have seen only once but it was fortunate because it showed the unparalleled ease with which they can stay in the air for a very long period of time.

Linnaeus would have it that Swifts wintered in “temples” (*Hybernant in Templorum foraminibus l.c.*), and with the word *temple* he meant every high building in whose holes they breed. Klein, Heerkens, Herman, and some other naturalists, also thought the same but they are all wrong. Montbeillard visited the nests of these birds in mid-April, twelve to fifteen days before their appearance, and could not find a single one. From all the evidence, it is clearly proven that, by the arrival of winter, Swifts have already left our climate. The inaccuracy of the alternate view is confirmed by visits which I made, all of them without success, in the winter and early spring to nests in Swift dovecotes: nor did I leave out, once again, with no success, the towers in Pavia which are so important to these birds.

As with Swallows and House Martins so with Swifts, I do not think it is the cold which drives them from our climate but the lack of food and therefore the need to move to another place where they can find food at their leisure. My opinion is based on experiments in which I artificially created cold conditions. Six Swifts, fathers and mothers of broods, were placed in six glass tubes which were completely surrounded by ice crushed into tiny pieces. In a short time, as recorded by the thermometer, each one of the tubes touched freezing point, and I left the birds in that state for three hours and three quarters. Then, when touched by a little glass rod, they bestirred themselves and strove to ascend the internal walls of the tubes, but in vain. When extracted, they showed almost their initial liveliness. Placed on the floor of the room where I carried out the experiment, they began to run or rather to crawl in that way of theirs, keeping their wings more or less spread, swinging right and left and, in the middle of this movement, they rose from the ground and flew, seeking to flee without caution out of the closed windows.

This was followed by another more severe trial, in which the Swifts experienced cold created by a mixture of ice and sodium chloride, which I had also used on other swallows. This mixture grew colder by degree so that the Swifts passed from freezing to -10.5 degrees. As the cold grew, they showed evidence of suffering, often struggling and gasping, despite there being no restriction in the air supply within the tubes as they were constantly open to the exterior. After they had remained at the recorded -10.5 degrees for 35 minutes, I took the birds from the tubes and put them on the floor. They were alive, their eyes were open and there was some movement but they did not move from one place to another. They stayed in this depressed state, one for seven minutes, another for ten, others for more, then, reinvigorated, they tried to escape, at first dragging themselves across the floor and then

flying towards the closed door. But I was not yet satisfied. I submitted them to an even more severe ordeal. For three hours more they remained inside the tubes at the same degree of cold, meanwhile I was looking through the opening in the tubes at their symptoms as they occurred. During the first hour, they struggled occasionally, during most of the second their movements were fewer and during the remaining period they stood, not lethargic and always keeping their eyes open, showing signs of life if you moved to touch them. Placed on the floor, and therefore once again exposed to the temperature of the atmosphere (the experiment was run on 27<sup>th</sup> June when the thermometer recorded 18¾ degrees above freezing), they continued still and, if supine, remained in that unnatural posture. But soon after, they tried to straighten up and succeeded; all of them, sooner or later, regained their previous strength. I noticed that while gradually regaining their strength, they drew out very long inhalations and exhalations.

While I was doing these experiments, I was preparing a new one with very cold temperatures. When the thermometer reached -13½, six Swifts were placed, as before, inside the tubes. One lived for only seven minutes, two lasted twenty-five, and the other for three, although they seemed dead after this period of time, they regained consciousness after an hour when they were transferred and kept at room temperature and this did not happen with the others; these three, however, finally deceased after a further eighteen minutes of the cold recorded above. This explains how this kind of swallow will die from severe cold even if it can tolerate it for longer periods of time, and that its nature does not therefore differ from that of the other two swallows. I believe, as I have said, that if Swifts leave our winter climate, they do so because of the lack of the insects on which they feed, and not because of the coming of the cold season. And so, the absence of these tiny creatures due to a sudden cold spell in the spring after the return of the Swifts to our neighbourhood drives them away from us for a few days – this implies that they can come back but later on it's fair to say that they do not come back so I am not sure if I have understood the sentence; and I saw this happen in a cold milder than that which drives away Barn Swallows and House Martins. This sometimes happens in mid-May, usually after a long downpour, which alters the temperature so that the thermometer drops from +12 or +15 degrees, to +8 or +7 degrees. This change in the air atmosphere does not cause the House Martins and Barn Swallows to leave their nests but it is not so for Swifts which all disappear and do not return with clear skies. It is not the rain which forces them to leave. To see how little they fear it, or more correctly, how they like the rain, you only have to observe them during a heavy rainfall in summer, flying high and numerous, with slow-beating wings, most of them not moving from the spot and showing clear

signs of joy, while other birds protect themselves from the heavy rainstorm in the cracks of buildings or under eaves, or amongst dense trees or in other suitable shelters. The reason that Swifts leave us is that the flying insects, which have been made torpid by the cold rainfall, cannot rise to the altitude where the Swifts fly but can only rise as high as where the House Martins and Barn Swallows usually fly.

**Monograph no. 4 by Lazzaro Spallanzani****“The Sand Martin (*Riparia riparia* Linnaeus, 1758)”**

The Sand Martin *Riparia riparia* (photo by A. Turri).

***Abstract***

*i) Description of the Sand Martin; ii) Similarities and dissimilarities with the House Martin; iii) Its late arrival in springtime like the Swift; iv) The sand banks of watercourses are the sites where it digs to make its nest. How it avoids obstacles in the ground when digging and makes nests practically inaccessible to man. Examination of these holes and of the nests therein; v) Times for brooding. Possibility to send or receive news from far away in a very short time when the Sand Martin is hatching or feeding its fledglings, similarly to what has been described for the Barn Swallow and the House Martin; vi) Disappearance after completing reproduction; vii) Whether during the cold season it stays hidden in the holes dug for nesting; viii) On the disappearance of this bird, the explanations put forward by other scholars are examined together with the contrary opinion of the Author; ix) Specimens of Sand Martin subject to various degrees of artificially induced cold; x) Whether they hibernate in cold situations. Research extended to other kinds of swallows; xi) Our non-migrating birds feel the cold less than migrating ones; xii) An exceptional period during which many small stopover birds were observed; xiii) It is thought that the Sand Martin possesses some sort of ability or power that is awakened in certain periods of time, inducing the bird to change climate, independently of the temperature of the atmosphere and decrease of food sources.*

**Riassunto**

*Descrizione del Topino. Somiglianze, e dissomiglianze con il Balestruccio. Alla guisa del Rondone suo tardo arrivo da noi in tempo di primavera. Le rive sabbiose dei fiumi sono i siti che fora e dove costruisce il nido. Come sa difendere questi fori dalle protuberanze, e renderli poco accessibili agli uomini. Esame di questi fori e dei nidi collocati dentro. Tempi delle covate. Con il Topino che cova o che dà l'imbeccata ai piccoli si possono inviare o ricevere notizie da lontano in un tempo molto breve, come si è visto con la Rondine comune e il Balestruccio. Dopo avere nidificato scompare da noi. Se durante la stagione fredda stia nascosta nei fori fatti per riprodursi. Si esaminano le ragioni addotte da altri per questo occultamento e si riferiscono le ragioni contrarie dell'Autore. Topini sottoposti a diversi gradi di freddo artificiale. Se a causa del freddo vadano in letargo. Questa ricerca è estesa ad altre rondini congeneri. Gli uccelli stazionari presso di noi risentono meno del freddo degli uccelli di passo. Epoca memorabile, in cui sono stati osservati diversi uccelli migratori, dalla quale si deduce che in loro si occulti una facoltà o potenza che, risvegliata in certi tempi prefissati, li induce a cambiare clima, indipendentemente dalla temperatura dell'atmosfera e dalla diminuzione degli alimenti.*

The Sand Martin was also named by Linnaeus and other zoologists as “Bank Martin” because of the places it frequents and makes its nests, literally the banks of watercourses and sometimes beaches. I had the opportunity to inspect several sites along both the R. Ticino and the R. Po as far as Goro<sup>43</sup> and where it flows into the Adriatic Sea, thanks to a boat made available for me. Thus, I was able to stop wherever I saw banks riddled with holes dug by these birds, and this was an extremely favourable condition to add new and reliable information to what had already been written about them.

The Sand Martin is the smallest among the swallows described in this series; the lower part of the body is whitish; a grey ring surrounds its neck and the same colour is found in the upper part of its body. Its legs are short like those of the other swallows. Its flight is faster than the House Martin's but is usually closer to the ground. When it lands, it is able to take off quickly. Its calls and shrieks resemble more those of the House Martin rather than those of the other swallows. Although the range of its sounds is rather limited, it can satisfy all its communication needs.

In our region the Sand Martin appears towards mid-April; therefore, later than the Barn Swallow and the House Martin, similar to the Swift. Like the other species of swallows, it can disappear for a few days owing to bad weather or lack of flying insects, which make up its only food source. The Sand Martin flies all the time over the rivers along which it digs holes, constantly coming and going without ever leaving the sites chosen for its nests. Although, not all rivers are suitable for this bird, only those like the Po or the Ticino that have steep sandy banks, easy to dig into.

---

<sup>43</sup> Goro is a fishing village in the Province of Ferrara on the River Po delta.

According to Linnaeus, its tunnels should have a winding path. I am not denying that sometimes they are like this, but usually they are straight or almost in a straight line. As I was able to observe, when the path of their tunnels is somehow winding, the cause of this is some stone or tree root hindering this swallow's digging and therefore causing a diversion from the straight line. It has been said that Sand Martins can occupy the holes dug by Bee-eaters (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758) or Kingfishers (*Alcedo atthis* Linnaeus, 1758). I do not dare to doubt this fact, although from my direct observations and from those of the people who look for their broods (since the young are excellent to eat), the Sand Martins from the Ticino and Po dig their nests by themselves. But what do they use for digging? We might think their bill, a very useful tool for birds, used by many of them to build their nests, but in this case the analogy would be misleading. Therefore, only the digging bird itself can give the solution. This should not seem strange, since in most cases only accurate observations can reveal the actual animal behaviour.

By observing a sandy bluff with many holes towards the end of April, when Sand Martins return to our territory, it will be certainly possible to notice some of these birds scraping the soil in order to prepare their underground shelter. Indeed, this is performed using their claws, which are long and apt for this purpose. Moreover, their claws allow them to cling to the steepest slopes, which are the only places where they stand, since they never go on tree branches or roofs or even on the ground. Although the old burrows may be used for several years, at every spring the House Martins dig new ones, and this is certainly done by the birds born in the same colony the previous year.

Common people have a good opinion of these birds since it is believed that they can forecast rivers' high flows by opening new burrows at higher levels on the sand banks to anticipate the rise of water level. Nevertheless, this is only a presumed ability, like the one ascribed to the Barn Swallow, which would forecast rain when it flies very close to the ground (*dum volitat iuxta terram pluvias praesagit*<sup>44</sup>). I am writing this Monograph while I am on holiday in a beautiful villa in Lombardy and, by looking out of the window, I can see some 35-40 Barn Swallows flying low together over a meadow from morning till evening. I have been watching them flying like this for over twenty days and not a single drop of rain has fallen so far. I observed this behaviour many other times, concluding that this so-called skill of Barn Swallows is in fact false. Equally inappropriate is the belief that Sand Martins would forecast inundations, nonetheless these birds know how to protect their nests from these unfavourable events by placing them high on the banks, where high-water conditions hardly ever occur. Furthermore, they adopt the precaution of

---

<sup>44</sup> Translation: "When it flies close to the ground it forecasts rain" (cf. Linnaeus C., 1758 – *Riparia riparia*. In: "Systema Naturae").

nesting only where sand banks are steep, as if they knew that nests dug onto gentle slopes would be easily accessible to humans.

The tunnels dug by Sand Martins are around 11-18 inches<sup>45</sup> deep and their width is proportionate to the diameter of the hole opened by the birds. In both Sand Martin and House Martin nests, the entrance hole is slightly larger than the diameter of their bodies. This is true for many other species of birds. Indeed, a similar behaviour is typical of the European Bee-eater (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758) and the Common Kingfisher (*Alcedo atthis* Linnaeus, 1758), which dig their nests on sand banks. Similarly, the Green Woodpecker (*Picus viridis* Linnaeus, 1758) drills holes in tree trunks by means of its sharp and very hard bill, opening a hole just sufficient to pass through it. In addition, the skill of the Eurasian Nuthatch (*Sitta europaea* Linnaeus, 1758) is also worth mentioning since it nests inside trees, although using pre-existing cavities. If the hole is too big, the Nuthatch will make it smaller by spreading mud and dung around it in order to reduce it to a suitable size for its body.

The Sand Martin builds its nest at the bottom of the tunnel in the shape of a rough segment of a concave sphere, padded with intertwined little roots arranged in a circle, the larger ones towards the outside and the thinner ones in the innermost part, with the addition of some little feathers. Here the female hatches five or six white eggs, similar in shape to hen eggs, wide at one extremity and pointed at the other.

Montbeillard, who does not seem to have ever observed this species, wrote briefly about it copying from other Authors and quoting Frisch<sup>46</sup>, saying that Sand Martins produce just one single hatch. I cannot say what happens elsewhere, but I verified that along the rivers Ticino and Po there are always two and sometimes three hatches of the Sand Martin: the first one around the 8<sup>th</sup> of June and the last one in the month of August. During hatching time, Sand Martins do not go far from their nesting sites. By sailing down the Po, I could watch them as they flew fast up and down close to the water surface then, at a certain distance, they flew back and so on. Nevertheless, they always remained near their colony, often going in and out of their holes. Obviously, their constant flying over the water surface is meant for catching the little insects.

At a quarter of a mile from Pavia to the West, there is a canal with nearly stagnant water flowing between two sandy bluffs that are all riddled with the holes of these swallows. One day, as I watched their comings and goings over the water when they had their fledglings in the nests, I thought of the Barn

---

<sup>45</sup> The inch ranged in Europe from 2.60 to 2.708 cm. The metric system was adopted in 1798-99 under Napoleonic rule. Up to then, measurement units varied from country to country and also within each of them.

<sup>46</sup> Johann Leonhard Frisch (1666-1743), German Lutheran pastor and philologist, was the author of a famous and richly illustrated ornithological treatise.

Swallow which, when transported many miles away, quickly returns to the nest in which it had been caught (see Monograph no. 1). Therefore, I decided to do the same experiment with Sand Martins, exploiting the moment when both parents were inside the burrow to feed their brood. I had them taken out of the nest by means of a stick with a curved extremity. This took place one morning when I was leaving for Milan, taking the two Sand Martins with me. When I reached this town, I let them free at a prefixed hour. Immediately these birds flew high in the sky and soon they were out of sight. Each of them had a thick silk thread tied to one foot. I had an agreement with a friend of mine who knew at which time I would free the birds and would wait by the canal where the Sand Martins had their nest to check whether they would go back to their hole. As my friend duly told me when I came back from Milan, the birds had arrived at their nest after about 13 minutes from the time when I had freed them. In order to guarantee the accuracy of the measurement, we synchronised our watches. Once I returned to Pavia, after 4 days, I was able to verify that the birds were actually those that I had set free in Milan, seeing as they were still wearing the silk threads. Furthermore, since tying those silk threads to their legs, I was also able to verify that Sand Martins reuse the burrows dug in the previous year.

Once they are done caring for their broods, Sand Martins disappear from our territory until the following springtime. Their departure precedes the one of other swallows. Some years ago, towards the end of August, I sailed along the Po from Pavia to Gualtieri<sup>47</sup>, in the Duchy of Modena, and another year I went down the same river from Borgoforte<sup>48</sup> as far as Goro, where the Po flows into the sea by means of several channels. These journeys along the river offered me the opportunity to see long stretches of the banks full of holes, although Sand Martins were no longer present. On the contrary, Barn Swallows and House Martins were still flying around in great numbers.

Some scholars believe that during the cold season Sand Martins take cover inside their burrows and that Barn Swallows might do likewise, thus confusing the two species. Montbeillard supports the idea that Sand Martins withstand the cold better than other swallows because of them frequenting rivers and streams and their blood would be less warm. In addition, the burrows they dig for nesting may look like those of hibernating animals. Finally, according to this view, Sand Martins would find insects in the soil to feed upon in every season (*l. c.*)<sup>49</sup>. Based on these remarks, this Author believes that, among European swallows, Sand Martins have the ability of hibernating underground, although this behaviour would be limited to some individuals only and certainly not to the whole species. (...)

---

<sup>47</sup> Gualtieri is a town in the Province of Reggio Emilia.

<sup>48</sup> Borgoforte is a village in the Province of Mantua.

<sup>49</sup> Here redirecting to Montbeillard in Buffon & Montbeillard, 1770-1783, VI.

At this point, a remark by John Achard<sup>50</sup> should be quoted. Late in March 1761, this Author was descending the river Rhine on his way to Rotterdam and when he reached Basel, where the southern bank of the river is high and steep, he stopped to observe some boys who were lowering each other down along the sheer bluffs by means of ropes. These boys were using long sticks equipped with a wad-extractor<sup>51</sup> in order to pull out the Sand Martins from the holes, in which according to the boatmen, the birds stayed hidden until the warm season. He bought some of these birds from the boys and found out that they were numb, as if they were dead. Therefore, he placed one of these martins inside his shirt up against his skin and the other one on a bench in the sun. The first bird woke up after about a quarter of an hour whereas the second one did not regain its strength. Mr Achard, then, feeling that the bird under his shirt was moving, held it in his hands for a while and then placed it again inside his shirt for another quarter of an hour and, at this point, the Sand Martin became lively enough to fly off and disappear from sight.

As should any researcher searching for the truth, I shall now comment scientifically Montbeillard's thoughts as well as Achard's remarks, and then I shall talk about my own experience on this subject. Now, although because of evaporation wet areas are colder than dry ones, I would like to point out that in Lombardy Sand Martins start occupying their holes from mid-April, when according to my measurements along the rivers Ticino and Po the air is usually some degrees above +10°. Moreover, the idea that their blood should be less warm is groundless since at the contact with the thermometer and inside their body they result to be as warm as the other swallows. It is true that their tunnels might resemble those of some hibernating animals like marmots, although they are more similar to those of animals that do not hibernate in winter such as mice. Furthermore, the Hazel Dormouse, a hibernating rodent, never builds its nest underground. Finally, there is no evidence whatsoever that Sand Martins would find insects inside their tunnels both in winter and in summer. In both seasons, I had several tunnels dug out but at the most I found some cobwebs, caterpillars or lizards, and I could not say if our Sand Martins could eat these creatures since they are so different from the insects they catch in the air.

Achard left us a good description undoubtedly proving the existence of some species of swallows subject to lethargy but he did not specify which species. At the most, considering the circumstances, we may presume that he was referring to the Sand Martin. Therefore, we remain doubtful about it. Now I will speak frankly about the results my investigations led me to. In two

---

<sup>50</sup> John Achard (1721-1770) was a Swiss scholar who lived in England where he was tutor of Sir William Bentinck, 2<sup>nd</sup> Duke of Portland.

<sup>51</sup> The wad-extractor was a tool made up of two wound up sharp irons used to remove the wad from muzzle-loading firearms.

different seasons, that are October and February, I had 50 Sand Martin tunnels dug out on the shores of the Po. The digs, of varying depth, proceeded from the top of the bank; therefore, each tunnel was brought to light in all its length. Nevertheless, inside them there were only the old nests or just some remains of them at the bottom of the tunnels. In this way, I was able to demonstrate that this species of swallow spends the winter elsewhere, not in our regions.

These remarks coincide with the view of Mr Collison<sup>52</sup>, who, in October 1757, did not find a single Sand Martin inside a bank riddled with holes in England, which had been dug in the most scrupulous manner.

Swifts, Barn Swallows and House Martins, which are usually considered intolerant to cold, were exposed artificially to low temperatures in order to determine up to which point they could resist. In particular, this experiment had to be carried out with Sand Martins, if what is said about some specimens in certain areas being found in winter, numb from the cold is true. Therefore, on 25<sup>th</sup> June, I placed four Sand Martins inside a large glass tube, placed in turn into the usual mixture of ice and salt. When the thermometer read freezing point, I checked the Sand Martins and noticed that they did not look at all weakened, and when I freed two of them, they started to fly in the room as well as before. By lowering the temperature furthermore, the birds started to struggle and tried to escape from the container, therefore showing some degree of suffering. The thermometer then reached  $-10^{\circ}$  and remained steady: the Sand Martins were exposed to that temperature for 20 minutes. Afterwards, they were placed on a table, where they barely had the strength to move, stretching out their wings but with eyes completely shut.

Bit by bit they resuscitated and after half an hour they were flying in the room. Another half an hour of the same treatment was not sufficient to make them die. Indeed, once they were put on the table, they fell over to one side and remained still for some minutes, after which they started to try straightening themselves, although very slowly. After several useless attempts, in the end they managed to turn round and could walk on the floor, although without flying. By observing them carefully as they were coming to, I noticed that their breathing, which at first was imperceptible, slowly started to become heavier as their eyes were opening after which the birds regained mobility. Finally, after three hours after their removal from the glass tube, they showed enough strength to take flight, although they were not as lively as before.

At this point, I prepared another mixture of ice and salt and brought the temperature down to  $-14^{\circ}$ ; after 20 minutes, two of the four swallows were dead and the other two also looked dead, but after five hours they started to show signs of life, although they were so debilitated that they could no longer fly.

---

<sup>52</sup> Peter Collinson (1693-1768) was an English naturalist. Here it is written "Collison" due to a misprint in the original text.

By comparing the effects of artificial exposure to the cold of Sand Martins with those recorded on Barn Swallows, House Martins and Swifts, we can say that all four species do not seem to feel the first exposure but at the second one ( $-8^{\circ}$  or  $-9^{\circ}$ ) they definitely show signs of suffering although without dying. Only at temperatures of  $-13^{\circ}$  or  $-14^{\circ}$ , do they eventually die (see my other monographs).

I am truly surprised. I would have never believed that these small birds which arrive at the beginning of the warm season and leave when the cold approaches, together with many other birds, were strong enough to withstand such low temperatures. Indeed, we should admire these small birds because their reaction to an enforced shift from warm conditions to cold ones was certainly more sudden and harder than when they are progressively exposed to similar temperatures from autumn to winter.

But is this torpor that we observe in them a true lethargy, similar to that of many animals which, inaccurately, we say “sleep” during winter? It might seem so, if we consider the lack of movement, the extremely weak and hardly perceivable breathing and the state of unconsciousness, followed by their recovery with warmer conditions. Actually, these effects could be the result of a sort of asphyxia, comparable to the one experienced by these small creatures when they are kept for a short time underwater or inside a glass sphere with some mephitic gas. Such a situation is quite different from actual hibernation, which lasts several months and has no negative consequences whereas this artificial state of asphyxia has a lethal result after a shorter time.

Eager to understand this phenomenon if possible, I hypothesised that if some swallows really went into hibernation they would not be exposed to too low a temperature, such as a freezing temperature, or perhaps less strong, like the one experienced by the Barn Swallows of the Rhine observed by Achard. On four species of swallows, I first used snow or ice to lower the temperature but without causing torpor, but later I achieved much lower temperatures. Therefore, I thought that an icehouse<sup>53</sup> would be useful for my research. At this point, though, my sincerity and love for the truth compel me to admit that I made a mistake while I was reasoning about the lethargy of Barn Swallows.

In one of my notes to *Contemplation of Nature* by Charles Bonnet, which was translated and printed for the first time in Modena in 1770, I wrote that I saw some Barn Swallows die without becoming lethargic after I had kept them for 3 hours in a room contiguous to an icehouse, notwithstanding the thermometer read  $+5^{\circ}$ . From this experience, I deduced that those swallows feel the cold, and in my Monographs of *Fisica Vegetabile*, published in 1776,

---

<sup>53</sup> In those days, wealthy families had a room in the basement (icehouse) in which they kept ice and pressed snow collected during the winter in order to preserve perishable foods and cool drinks for most of the year. It was also used as a remedy against fever.

I report the same observation reasoning about the causes of lethargy. After me, also Buffon came to the same conclusions by using an icehouse.

At this point, though, I have to rethink it, because although the fact described is true, otherwise I would not have published it, the consequence that I deduced is not true, *i.e.* that Barn Swallows generally cannot stand the cold.

Many years before I wrote about my tests in this book, I became aware of this wrong opinion during the sudden snowfalls that sometimes happen even in the spring, after the return of Sand Martins. In my first Monograph, I wrote that when these cold spells are short Barn Swallows do not go away and keep flying without showing any distress despite the harsh weather. Ten years ago (unfortunately I did not record the day and the year), at the beginning of April there was a heavy snowfall in Pavia which lasted several hours, with such low temperatures that the water along the roads froze. Moreover, in the countryside there was plenty of damage to the buds of fruit trees which were sprouting. Nearly all Barn Swallows and House Martins had already arrived and did not move away from the town, but since they could not find the flying insects, they fed upon they were looking for flies and spiders on the walls and in open barn houses. Then I realised that these small birds were not that intolerant when it came to low temperatures after all, unlike what I had previously thought up to that moment, since they were still active without suffering or damage, notwithstanding the snow and ice. Indeed, successive experiments with ice and salt proved that swallows could withstand much lower temperatures. During my experiments, I noticed that some birds went numb only after prolonged exposures to the cold. Therefore, I hypothesised that the same thing might occur to Barn Swallows when they are exposed to the same conditions. In order to demonstrate this, I needed the use of an icehouse. I tested four species of swallows by placing five individuals of each species into an icehouse during the month of May. In order to protect the birds from the considerable humidity of that place, I put them inside baskets covered with oilcloth, which in turn were buried in the snow.

In order to guarantee adequate airflow, I made holes in the snow in correspondence with the holes in the oilcloth. Now and then I checked them. After 12 hours, none of them had died; they instead remained awake and lively, staying very close to each other to protect themselves from the cold. I observed the same situation after another 12 hours, so I put two of them in my hands, after having tied a line to one of their legs, and set them free in the icehouse. The swallows started to fly around, although rather slowly. After 35 hours, four swallows were dead, precisely two Barn Swallows, one Sand Martin and one Swift. Prostration was evident in the other individuals: some were lying on the floor, others could hardly stand on their feet and, when placed on one hand they did not try to fly off. When thrown in the air, they fell to the ground with their wings half open.

These were the symptoms of impairment rather than lethargy since the birds did not keep their eyes shut, as it is always the case with lethargic animals; they looked ill and close to death. After 40 hours, another seven birds were dead and the remaining ones were dying. Even in these ones, it was not possible to recognise the symptom of lethargy but rather that of dying animals. Indeed, after 45 hours, none of them were alive.

Other tests were carried out in July with the same number of individuals of the same species and at the same conditions. I will not go into details since it is enough to report that after 48 hours in the icehouse, these twenty birds were all dead after showing the same symptoms.

I said that oilcloth was wrapped round the baskets to insulate the birds from the humidity of the icehouse. I soon realised that this was a necessary precaution after having seen that in another basket without this protection two Barn Swallows had died in just 2 hours and a half and I found them so wet as if they had plunged into water. Humidity was also the cause of death of the Barn Swallows after three hours from when they had been placed in the room next to the icehouse, about which I discuss in *Contemplazione della Natura*. I remember that when I got hold of them, I found them very moist.

Therefore, all these combinations using artificially induced cold seemed to rule out lethargy in Barn Swallows. Yet, I was still doubtful because of a large number of observations and experiments on warm- and cold-blooded animals that in winter hibernate; they will be the subject of another paper that I intend to publish. In fact, I had noticed that although they showed torpor at the approach of winter, they never became torpid in other seasons notwithstanding the exposure to cold weather, even at very low temperatures. I therefore deduced that if Barn Swallows or other similar species actually hibernated, the experiments so far carried out should be considered inconclusive.

Now, to clear these doubts it was necessary to carry out appropriate inspections at the most suitable time of the year, that is when Barn Swallows get ready to leave as the cold season approaches. This experiment excluded the Swifts which go away late in July and the Sand Martins which depart in September. On the contrary, Barn Swallows and House Martins leave later; therefore, they were ideal candidates. I made sure to obtain individuals of the two species as late as possible. By watching the habits of the House Martins which were under the eaves of some houses in large numbers, I noticed that after completing their last hatch they still spent every night in their nests, although every day their number dwindled and on 22<sup>nd</sup> September of that year only 8 or 10 were left.

At night-time, I had a few nests inspected. Four martins were caught but the others flew away. I also managed to catch Barn Swallows by waiting until 26<sup>th</sup> September, when five individuals were caught by means of a net in a reed bed

on which they had been sleeping for over a month. They were really among the last ones left since all the others had already departed.

These latest experiments, though, did not produce new information since I put the House Martins and the Barn Swallows in the icehouse immediately and none of these birds showed any sign of hibernation. Rather, they slowly perished getting weaker and weaker, as it had occurred in the previous experiments, until after 41 hours they were all dead.

In order for these experiments in the icehouse to provide adequate data, I wanted to be sure that the death of these birds was caused by the cold and not by the lack of food. I must therefore specify that whilst carrying out every experiment with the cold, a test was performed with some subjects of the same species that were kept in a cage without food in a room of my house until they died. Several individuals managed to survive up to the fifth day whereas the others resisted at least three and a half days. On the contrary, the birds placed inside the icehouse did not survive to the second day, dying at the most after 48 hours. It was therefore evident that in the icehouse death was determined by very low temperatures.

Furthermore, I observed the symptoms of Barn Swallows in the cages as they progressively failed, which were not the symptoms of animals turning torpid. Essentially, I noticed that they were not different from the symptoms shown by the Barn Swallows dying in the icehouse.

In short, I cannot think of more effective and clear proof to demonstrate that Barn Swallows, at least in our areas, should be excluded from the number of the species which hibernate during the cold season.

For what concerns the cold, we should notice that although swallows withstood it longer than expected, yet they showed less resistance than sedentary birds, such as Sparrows, Chaffinches, Green Woodpeckers, Goldfinches etc. Indeed, since I tested also these other species in the same manner used for Barn Swallows, I ascertained that they remained lively despite the many hours spent at  $-12^{\circ}$ ,  $-13^{\circ}$  and even  $-15^{\circ}$ . In addition, the duration of their survival in the icehouse was often equal to the one of individuals kept in cages at room temperature without food. This resilience to the cold is perhaps part of their constitution, since Nature destined them to live in our country in every season.

I will complete this Monograph with a general reflection inspired by the season in which I am writing.

Warm pleasant weather hardly ever remains in autumn. In mid-September, heavy rain fell on our countryside nourishing the ground, parched by a very long drought, followed by sunny and windless days. It was nice to feel the summer-like warmth which was still present. During several consecutive nights, the thermometer never went down below  $+10^{\circ}$  and during the day it always ranged between  $+13^{\circ}$  and  $+16^{\circ}$  in the shade. These mild temperatures

have been extremely favourable to the plant and animal Kingdoms. Incredibly, plants have continued to vegetate and some of those which bloom in spring, were covered with flowers even in the autumn. In October, violets blossomed on the banks of canals and among the grassy meadows. The insects that at the first cold become torpid and hide underground were fully awake and very active. I could see swarms of them as I walked along the paths of gardens, meadows and groves.

Similarly to what I said about plants, several insects subject to metamorphosis had become adults and were flying, which normally happens late in the spring. After 20<sup>th</sup> October, some species of magnificently-coloured butterflies, which come out of their chrysalis in April-May, were enjoying the nectar of flowers. I was even more surprised in hearing the cicadas chirping, which were active for many hours every day in mid-October as they would be during the hottest days of July and August.

Certainly, if it is not the cold, it is the lack of food that drives migrating birds to leave our side of the world and move elsewhere where they can find enough food. Therefore, that year the Barn Swallows of Lombardy should have stayed longer. The fine weather persisting, the warm autumn temperature and the abundance of insects should have been a valid reason for them to stay longer. Yet, it did not happen. At the end of September nearly all the Swifts and House Martins had gone. Therefore, their departure was not delayed compared to the previous years. However, I noticed something else. Like elsewhere in Italy, also in Lombardy many other migrating birds come and go, such as Nightingales, Blackcaps, Wrynecks, Shrikes, Bee-eaters, Golden Orioles, European Nightjars (*M. luscinia*<sup>54</sup>, *M. atricapilla*<sup>55</sup>, *Yunx*<sup>56</sup>, *Lanius*<sup>57</sup>, *M. apiaster*<sup>58</sup>, *O. galbula*<sup>59</sup>, *C. europaeus*<sup>60</sup>), which are all insectivorous species. I was very careful in monitoring their departure and ascertained that despite this mild autumn they did not leave our areas later than in previous years.

All things considered, we must conclude that the birds' autumn migration is an ability or an instinct that is triggered at a prefixed time and drives them to move to a different climate zone, unconditioned by air temperature or decrease in food availability.

Indeed, this fact was also confirmed by observing the behaviour of another species at the time of migration. The great Buffon reported that Quails kept in captivity become restless, very agitated, slamming their wings against the

---

<sup>54</sup> *Luscinia megarhynchos* Brehm, 1831.

<sup>55</sup> *Sylvia atricapilla* Linnaeus, 1758.

<sup>56</sup> *Jynx torquilla* Linnaeus, 1758.

<sup>57</sup> *Lanius* sp.

<sup>58</sup> *Merops apiaster* Linnaeus, 1758.

<sup>59</sup> *Oriolus oriolus* Linnaeus, 1758.

<sup>60</sup> *Caprimulgus europaeus* Linnaeus, 1758.

bars of the cage trying to flee. This occurs in the months of September and April. A very diligent friend of mine from Reggio Emilia, who had the hobby of breeding the fledglings of Nightingales, told me that towards the end of September, when this species leaves our territory, the caged birds become very agitated, jump up and down, flutter their wings trying to get out at any cost; and this occurs especially during night hours. At first, when this friend of mine noticed this sudden behaviour during the night, he thought that it was caused by the presence of some disturbing animal, such as a cat, but immediately realised that there was nothing that should scare them. Indeed, after a few days the birds went back to their usual calm behaviour. That restless impulse to leave cannot be caused by the lack of food or by the cold since those who like to keep these birds feed them properly and protect them from the cold. Therefore, they develop a particular instinct that induces them to go away at pre-established periods of time.

## Monograph no. 5 by Lazzaro Spallanzani

### “The Great Swift<sup>61</sup> (*Hirundo melba*)”



The Alpine Swift *Tachymartus melba*, syn. *Apus melba* (photo from Wikipedia).

#### **Abstract**

Very little is known of the origins of this bird, normally resident in the highest mountains, and on the steepest cliffs. The Author's comments on the different habits of this bird. Its proficient speed in flight. Its comparison with the Common Swift. About its arrival in our land. Nesting, hatching, and its offspring. The departure. Differences in breeding habits between the Common Swift and the Alpine Swift. This bird, if it falls to the ground, it can rise again and fly. Its description. The great length of the wings. Configuration and structure of the nest. The Alpine Swift exposed to the harsh cold. Nesting seasons of the Swallow, House Martin, Sand Martin and Alpine Swift, and notes on individuals wintering in adverse weather on the islands of Lipari. There seen flying on mild winter days. No likelihood that the intervals of rest are taken up in torpor. It has been suggested that the greatest number of these birds at the approach of winter go to Africa. Observations of the Author, which lead us to believe in this migration.

---

<sup>61</sup> The Great Swift (*Hirundo melba*), nowadays known as the Alpine Swift (*Tachymartus melba*, syn. *Apus melba*).

### **Riassunto**

*Scarsissimo nota la biologia di questo uccello, perché in genere abita le montagne più alte e le rupi più scoscese. Osservazioni dell'Autore su diverse sue abitudini. La sua prodigiosa destrezza nel volo. Suo confronto con il Rondone comune. L'arrivo nelle nostre zone. Nidificazione, cova e pulli. La partenza. Differenze nel comportamento riproduttivo tra Rondone comune e Rondone maggiore. Anche quando cade a terra, si alza e riparte in volo. Prodigiosa apertura alare. Forma e struttura del nido. Il Rondone maggiore esposto alle inclemenze del freddo. Rondone, Balestruccio, Rondone, Topino e Rondone maggiore nidificanti, e casi di svernamento nelle Isole Eolie. Osservazioni a Lipari nelle tiepide giornate invernali. Nessuna evidenza che durante il riposo cadano in letargo. Massima probabilità che la gran parte di questi uccelli si sposti in Africa all'approssimarsi dell'inverno. Osservazioni dell'Autore, quali prove di questi spostamenti.*

Although this species of Swallow was not unknown to the ancients, and is not rare in parts of Europe, being a typical inhabitant of the highest mountains and of the steepest cliffs, the ancient literature concerning it is far less than that for the other related species. This for me is a reason to try to increase the little that we do know of it, which is not much more than the bare description of this bird<sup>62</sup>. I found the Great Swift to be breeding in parts of Helvetia, the Palmaria Islands<sup>63</sup>, Ischia<sup>64</sup> and Lipari<sup>65</sup>, also in some ancient and eminent buildings of Pera<sup>66</sup> in Constantinople. However, there I was not allowed to acquire any knowledge above the general facts that the Great Swift appears to be black and white when in flight, compared with the all-dark appearance of the Common Swift, and is twice the size of the Common Swift, with the wings proportionately longer. I talked about the flight speed of the Common Swift. It can certainly reach very high speed, but the speed of these Great Swifts is certainly superior. Birds which fit such a description are also birds of prey, for instance kites. On the Apennines and Alps, but much more in my travel back to Italy from Constantinople to Vienna, crossing the immense mountain chain of Wallachia, Transylvania, the Banat and Lower Hungary, I saw a huge number of birds of prey, of every shape, size and of many kinds. I have sometimes come across them hunting when they hurl themselves onto other birds. I have seen these same birds when hunting in the East as trained falcons. Everyone knows this to be the moment of their fastest flights. I am not joking when I say that the flight of these Swifts, on the occasions when they achieve the highest speed, is even faster and even bolder. There is the greatest possible similarity in their daily lives between them and the Common Swift.

<sup>62</sup> Cf. Philippe de Guéneau Montbeillard (1720-1785), who has written more than other authors have about the Great Swift (*le Martinet à ventre blanc*).

<sup>63</sup> Palmaria Islands: two small islands in the Ligurian Sea, Italy.

<sup>64</sup> Ischia: an island in the Gulf of Naples.

<sup>65</sup> Lipari: the largest of the Aeolian Islands (or Lipari Islands), north of Sicily.

<sup>66</sup> Pera: also known as Galata, now the core of Beyoğlu, a district of Istanbul, Turkey.

They fly in large and small flocks, in proportion to the sites they inhabit, swooping hundreds of times a day around the prominent rocks that protrude into the air from the cliffs that enclose their nests, accompanying these flights by an incessant clamour of noisy shrieking voices, this is what is common to these two species, with the difference, however, that the cries of these Swifts are stronger, sharper, and longer.

Another difference has been observed, and that is that these Great Swifts in the middle of their flights will often hang by their claws from the rough rocks near their nest sites, and that then others join them, eventually forming in this way a kind of animated pendant chain, which then melts away again, the birds all calling out as they leave; a curious habit which I never saw in the Common Swifts. This behaviour is one that I have witnessed many times while standing under those cliffs, under those rugged stony masses, in whose fissures the Great Swifts nest; but the inaccessibility of these places has prevented me from studying that other part of their natural history, that of most interest to the naturalist, that is, their breeding behaviour. Even now, I would be in the dark, if I had not known that in the mountains of Modena there was an ancient tower where every year the Great Swifts breed, and where every year the owners have the fledglings harvested, for their flesh is good to eat. This site is a high tower in Guiglia<sup>67</sup>, close to the Palace of Casa Montecuccoli<sup>68</sup>, and the small holes where the Great Swifts make their nests are as easy to visit and observe as the artificial nest places made elsewhere for the Common Swifts (see the third Monograph). This tower, an established nesting site which the Great Swifts use for breeding, can be accessed easily by man, and this is really something of a phenomenon in Italy. For although with the onset of summer storms I have seen more than one of these birds flying at great heights over the slopes of the Apennines, and I assume that they come from these mountains, this is not something that I can prove. However, at the cost of great effort I found that in Guiglia I could obtain the information that I had been searching for elsewhere in vain. This information, in response to my requests, was brought to me by a dear friend who was in contact with the custodian of the tower in Guiglia, who each year is responsible for harvesting the chicks and sending their breasts to the owner, the noble Lord Montecuccoli. The value of these results to me was immense, as it meant that not only did I now know things previously shrouded in mystery, but I could inform my Readers of them too.

The Great Swifts arrive in Guiglia usually around March 12<sup>th</sup>. Once they have arrived, they immediately lay their eggs in old nests; if the old nests are

---

<sup>67</sup> Guiglia is a village in the mountains of the Province of Modena (490 m a.s.l.).

<sup>68</sup> The Montecuccolis were a noble family of the Duchy of Modena. Raimondo Montecuccoli (1609-1680), a field-marshal of the Austro-Hungarian Empire, defended Austria against the Turks and eventually defeated them in the famous battle of the River Rába, Hungary, in 1664.

missing, they will build new ones. In order for the Great Swifts to build their nests more easily, the caretakers throw down small feathers from the tower windows, which are quickly taken by the Swifts in the air, then they are taken to their little nesting places and used for the construction of new nests. They have two broods; the first is of three or four eggs, and the chicks fledge in mid-July. The second is usually composed of only two eggs, and these chicks fledge about the second half of September. The incubation period is normally of three weeks. In hot weather, they also fly at night, and they can be heard screaming around the tower in mid-air.

They stay in the country until October, but at the first snowfall of the month or cold spell, they disappear. Although every year their fledglings are taken by the caretaker to be eaten, they return again the following year to breed. These peculiarities relating to their breeding when compared with those of the Common Swifts, reveals more and more essential differences between the two species. Firstly, the Great Swifts arrive considerably earlier than that of the Common Swifts. Next, the Great Swift has two broods while the Common Swift has only one. Finally, the Great Swifts do not abandon the breeding holes any earlier than October, while the Common Swifts fly away in July (see the third Monograph).

Although the report I have does not reveal if the Great Swift when resting on its nest, is affected by the same inertia that enables men to take it without it trying to escape, I think it must be, as I was sent a live Swift taken from a nest in Guiglia in July 1794, along with other specimens being stuffed and prepared for preservation in the Museum of the University of Pavia. The bird was fully mature, since when I tossed it in the air outdoors with a thin wire rope tied to its foot, it took off at an incredible speed. Placed on the bare ground, it flew away by itself, as does the Common Swift, yet it was necessary to tease it in order to get it off the ground, otherwise it did nothing but stir, spread its wings and slightly beating them against the soil, without lifting off. Just like mature Common Swifts, it was moderately fat and it weighed a little less than two mature Common Swifts I found. The upper side of the body and upper wings were dark-coloured, while the throat and belly were white, with a dark chest. I omit any further details, seeing as it is possible to read the detailed and beautiful description in the work of Montbeillard, which I have already referred to several times. Instead, I will pause for a moment to highlight the length of the wings, which are huge unlike any other small a bird, reaching 8 inches from the base to the wingtips, with a good 3 inches protruding beyond the tail. Such long and bow-shaped wings, as are those of these Swifts, clearly reveal their potential for high-speed flight, even for those who have never seen them alive and flying.

Having had a whole intact nest used by these swifts sent to me from Guiglia, I could now compare it with those of Common Swifts. Its concavity is

somewhat larger in all shapes and sizes and its structure show greater precision and meticulous work. Sticks, straw, poplar cotton and feathers, together with a pile of the bird's own excrement, form the bulk of the nest of Common Swifts. These different elements, being separate and not linked together by the nest maker, would not have been strong enough to form the consistency of a nest, if this same bird had not glued them together secreting gluten from its mouth (third booklet). None of this gluten can be seen in the nests of Great Swifts. The concavity is lined with a thin layer of delicate feathers interwoven. Under this layer can be seen straw and fescues<sup>69</sup>, laid in concentric circles, closely intertwined, and strengthened by a huge number of minute leaves of woody plants, which are embedded in the spaces created by the interweaving of the circular straw layers. In this way, the nests acquire consistency and solidity. How then do these birds, who never rest on trees or on the ground, who eat, and even drink in the air and who have adopted flight as their natural state, collect the leaves from which they build a good part of their nests. We cannot understand it or explain it otherwise than by assuming that they catch these leaves whilst flying, once the force of the wind has blown them into the air.

When the young swift which was sent to me from Guiglia, came into my hands, it was already 31 hours since it had been taken from the nest, and after such long abstinence it must have been very weak. Even in this state, I wanted to expose it to those rigors of the cold, which other related species had experienced. For 7 hours it resisted inside a tube whose temperature was -8 ½ degrees. It died later in an ice room after having survived the cold for 25 hours. But in neither case did there occur any symptoms of lethargy. It remains, therefore, definitely proven that the various species of swallows which have thus far been discussed, which are the Barn Swallow, House Martin, Sand Martin, Common Swift and Great Swift never adopt such behaviour.

In the fourth tome of my *Viaggi alle Due Sicilie...*, I have already mentioned that these five species of swallows not only nest in the Aeolian Islands, but that some individuals from these species, except for the Sand Martin, winter there. That is why on clear winter days, somewhat warmed by the Scirocco winds, you may see them flying around, mostly along the streets of the city of Lipari. And when I left the islands in the middle of October, some Barn Swallows as well as Great and Common Swifts were roaming through the air. We can therefore conclude that it is true that during turbulent, less gentle, days (it is known that there are very mild winters on these islands) these swallows take cover in hidden places on the island where they find shelter. They do not, as I have said already, become lethargic during these times. I have demonstrated by my experiments that this passive state does not take place in these birds but

---

<sup>69</sup> Grasses of the genus *Festuca*.

rather that they fall into in a state of rest, let's say inertia, which they then come out of at the arrival of hot and sunny days, thanks to the insects awakened and freed by the mild temperatures, as well as showing more appetite than swallows when they are driven by hunger. There is no danger that in those times of abstinence the birds would perish, as they bring with them a kind of reserve adapted to feed them for a given time, which consists in that abundant fat with which they are coated, as I have seen in the Barn Swallow, in the House Martin caught at the end of September, when they were about to leave our lands.

With the exception of those individuals which spend the winter in the Aeolian Islands and in some parts of Sicily, as I have been informed of by farm workers, I think that most of their number migrate to Africa. And since it has been shown that swallows neither winter among us, unable to live because they lack the necessary food, nor do they go into hibernation, I do not see what other climate, outside Africa, would agree so well with such delicate little birds, when combined with the convenience of a quick and easy route from Europe to Africa. And I myself was in a way an eyewitness to this passage, because towards the end of October, due to having spent much time at the Strait of Messina to purchase phosphoric jellyfish (lc T. IV, Chap. XXVII), I observed at that time several flocks of the above-described swallows crossing over of the Strait, flying from North to South, that is to say in the direction of Africa.

\* \* \* \* \*



*Common Swifts and House Martins flying around the clock tower of Fanano (artwork by Ariadne Trollenskog: @Trollenskog).*





Sergio Invernizzi\*

## Una rivisitazione dei criteri di «divisibilità»

### Riassunto

I criteri di divisibilità sono noti argomenti dei programmi della scuola secondaria; peraltro sono spesso presentati come scioglilingua, o come regole da mandare a memoria, e sempre o quasi sempre senza dimostrazioni. Poi, l'idea che i criteri di divisibilità consentano di stabilire se un numero è divisibile per un altro “senza bisogno di fare la divisione” è un falso, in quanto, prima o dopo, almeno una divisione va fatta. In questa nota presentiamo dapprima i criteri di divisibilità di un numero intero basati su opportune somme delle sue cifre decimali, dimostrandoli in base ad un unico principio che risale a Pascal (1654), e che, in ruce, sfrutta la teoria delle congruenze (o, se si preferisce, l'aritmetica modulare). Vediamo poi i criteri “alla Zbikowski”, che utilizzano tecniche di calcolo degli inversi nel gruppo moltiplicativo  $\mathbb{Z}_p^*$ , con  $p$  primo. Questo consente di collegare i criteri di divisibilità con l'identità di Bézout e con la crittografia. Infine, sono aggiunti alcuni codici nel linguaggio R, alcuni suggerimenti e vari complementi.

### Abstract

**A new analysis of the divisibility criteria.** The divisibility criteria are well-known topics in Italian secondary school curricula; moreover, they are often presented as tongue twisters, or as rules to be memorised, and, always or almost always, without proofs. Moreover, the idea that the divisibility criteria allow us to establish whether a number is divisible by another “without the need to perform the division” is false, since, before or after, at least one division must be made. In this note we first present the divisibility criteria of an integer based on an appropriate sums of its decimal digits, on the basis of a single principle which dates back to Pascal (1654), and which, in essence, exploits the theory of congruences (or, if you prefer, modular arithmetic). We then see the “Zbikowski” criteria, which use techniques for calculating the inverses in the multiplicative group  $\mathbb{Z}_p^*$ , with  $p$  prime. This allows us to connect the divisibility criteria with Bézout identity and cryptography. And lastly, codes in the R language, suggestions and complements are added.

**Parole chiave:** criteri di divisibilità, test di Zbikowski, inversi modulari, identità di Bézout, algoritmo di Blankinship.

**Keywords:** divisibility criteria, Zbikowski test, modular inverses, Bézout identity, Blankinship algorithm.

---

\* Già ordinario di Matematiche complementari nell'Università di Trieste; socio della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena; e-mail: invernizzi2@gmail.com.

## 1 Introduzione

La domanda spontanea è: *C'era proprio bisogno di un altro articolo sui criteri di divisibilità?* In effetti sono già moltissimi i testi che trattano i criteri di divisibilità, ma, in genere, non vi si trovano le dimostrazioni né gli opportuni riferimenti storici; e se questo è abbastanza ragionevole per chi studia, lo è forse meno per chi insegna (e l'insegnamento universitario, su questo, non aiuta tanto). Fra le varie trattazioni esistenti, segnaliamo un lavoro recente (in inglese) di Eric L. McDowell (McDowell, 2018), divulgativo e conciso, ma nel complesso abbastanza completo al livello dell'istruzione secondaria; da questo abbiamo preso alcune idee e riferimenti storici.

C'è poi da chiedersi: *Ma a cosa serve insegnare i criteri di divisibilità?* La miglior risposta forse è in una citazione attribuita al matematico sovietico Igor Shafarevich (1923–2017): «... rimane un mistero il motivo per cui oggetti così semplici come i numeri interi richiedano, per la loro comprensione, praticamente l'intero macchinario che i matematici sono in grado di creare». Quindi, i criteri di divisibilità, anche quelli scolastici classici, possono ben servire da “invito” per mostrare a chi studia come “dietro” a quei criteri ci sia una matematica seria, talvolta difficile e profonda, tutta da scoprire. E questo va detto e spiegato, perché, altrimenti, chiunque riterrebbe i criteri di divisibilità del tutto obsoleti ed inutili, in quanto “superati” da una qualunque APP *Calcolatrice* del telefonino.

## 2 Premessa tecnica (con qualche abuso di notazione)

Sia  $\mathbb{Z}$  l'anello (commutativo) dei numeri interi, e sia fissato un intero  $m \geq 2$ ; assumiamo nota la definizione dell'anello  $\mathbb{Z}_m$  delle classi di equivalenza modulo  $m$ .<sup>1</sup> La notazione classica per  $\mathbb{Z}_m$ , quella che elenca i suoi

<sup>1</sup> Dato un intero  $m \geq 2$ , la relazione in  $\mathbb{Z}$  definita da  $a \sim b \iff \exists k (a - b = km)$  è una relazione di equivalenza, la *congruenza modulo  $m$* . Se  $a \sim b$  si scrive  $a \equiv b \pmod{m}$ , che si legge « $a$  è congruo a  $b$  modulo  $m$ ». La classe di equivalenza di un assegnato elemento  $a \in \mathbb{Z}$  è costituita da tutti e soli i numeri del tipo  $a + km$ , con  $k \in \mathbb{Z}$ , e si indica con  $[a]$ . Ovviamente, se  $a \equiv b \pmod{m}$ , si ha  $[a] = [b]$ . Si verifica facilmente che in  $\mathbb{Z}$  la relazione di equivalenza modulo  $m$  è *compatibile* sia con l'addizione “+” di  $\mathbb{Z}$  che con la moltiplicazione “ $\times$ ” di  $\mathbb{Z}$ , e questo implica che il quoziente  $\mathbb{Z}_m := \mathbb{Z} / \sim$  “eredita” da  $\mathbb{Z}$  la struttura di anello commutativo, ed è detto appunto l'*anello delle classi di equivalenza modulo  $m$* . Indichiamo con  $\varphi: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}_m$  l'applicazione che associa ad ogni intero la classe di equivalenza modulo  $m$  cui appartiene. Per ogni  $a, b \in \mathbb{Z}$  si ha  $\varphi(a+b) = \varphi(a) + \varphi(b)$  e  $\varphi(a \times b) = \varphi(a) \times \varphi(b)$ : in termini eleganti,  $\varphi$  è un *omomorfismo* (quello ovvio, *canonico*). Osserviamo che in qualche anello  $\mathbb{Z}_m$  ci possono essere *divisori dello zero*: ad esempio in  $\mathbb{Z}_6$  si ha  $3 \times 4 = 0$ , in quanto  $12 \equiv 0 \pmod{6}$ . Ma se  $m$  è un numero *primo*,  $\mathbb{Z}_m$  non ha divisori dello zero, anzi, vale un teorema fondamentale

$m$  elementi, è

$$\mathbb{Z}_m = \{[0], [1], [2], \dots, [m-1]\} \quad (1)$$

dove  $[k]$  è il sottoinsieme di  $\mathbb{Z}$  costituito da tutti e soli gli interi che, nella divisione (euclidea) per  $m$ , danno resto  $k$  (per la definizione del resto, è  $0 \leq k < m-1$ ). Si noti bene che la scelta di come elencare gli elementi nella (1) è pura estetica: invece di  $\mathbb{Z}_5 = \{[0], [1], [2], [3], [4]\}$  si potrebbe scrivere  $\mathbb{Z}_5 = \{[3], [1], [4], [0], [2]\}$ , ed anche la scelta classica dei rappresentanti di classe è solo una scelta arbitraria, per quanto comoda: si potrebbe scrivere anche  $\mathbb{Z}_5 = \{[20], [-189], [27], [68], [-26]\}$  (ma nessuno lo fa, tranne noi in questo lavoro). Qui, per semplificare le notazioni, togliamo dalle classi le parentesi quadre, e come rappresentanti delle classi scegliamo  $m$  interi consecutivi, con lo 0 il più possibile “centrale”:

$$\begin{aligned} \{-j, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, j\} & \text{ se } m = 2j + 1 \text{ è dispari,} \\ \{-j + 1, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, j\} & \text{ se } m = 2j \text{ è pari.} \end{aligned}$$

Ad esempio  $\mathbb{Z}_6 = \{-2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ,  $\mathbb{Z}_7 = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ . Se  $m$  è dispari questa rappresentazione mostra di quanto dista, in più o in meno, un intero  $n$  dal multiplo di  $m$  ad esso più vicino: ad esempio, per  $m = 7$ , la classe di  $n = 20$  è  $-1$ , in quanto 20 è sotto di un'unità rispetto al multiplo di 7 più vicino, che è 21. Se  $m$  è pari, fra i due eventuali multipli di  $m$  a minima distanza da  $n$  si sceglie il minore: ad esempio, per  $m = 6$ , la classe di  $n = 9 = 6 + 3 = 12 - 3$  è 3, e non  $-3$ , che infatti non è nell'elenco.<sup>2</sup>

### 3 I criteri di divisibilità “scolastici”

Presentiamo qui i classici criteri di divisibilità usualmente riportati nei manuali scolastici (la divisibilità per 2, per 3, ecc.). Essi si basano sulla teoria delle congruenze, ed è per questo che comunemente si attribuiscono a Carl Friederich Gauss, che presentò tale teoria nelle sue *Disquisitiones Arithmeticae* (1798). Va però notato che già Blaise Pascal aveva dettagliatamente descritto questi criteri in un lavoro presentato all'Académie Parisienne nel 1654 (Pascal, 1654).

---

per il seguito di questo lavoro: ogni elemento  $\neq 0$  dell'anello  $\mathbb{Z}_m$  è invertibile (per la moltiplicazione) se e solo se  $m$  è un numero primo. Quindi, nella terminologia algebrica, si può dire che, se  $m$  è un numero primo, allora l'anello  $\mathbb{Z}_m$  è un *corpo commutativo* (o *campo*), ed in particolare  $\mathbb{Z}_m^* = \mathbb{Z}_m \setminus \{0\}$  è un gruppo rispetto alla moltiplicazione.

<sup>2</sup> Nel linguaggio comune, per indicare l'ora, è più informativo dire “manca un quarto alle otto”, oppure “sono le otto meno un quarto”, piuttosto che “sono le sette e tre quarti”; e per gli orari equidistanti dall'ora “piena” è preferibile dire “sono le otto e trenta” piuttosto che “sono le nove meno trenta”.

In ogni caso sono da secoli parte del *folklore* matematico, per cui è superfluo discuterne qui la priorità (ma si veda l'Appendice).

Dimostreremo questi criteri in base ad un unico metodo unificante, il *metodo della sequenza associata*, che ora presentiamo. Per ogni intero  $n \geq 2$ , sia

$$n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k = a_0 + a_1 10 + a_2 100 + a_3 1000 + \dots + a_N 10^N$$

il suo sviluppo in base  $B = 10$ , dove le  $a_k$  sono le cifre decimali.<sup>3</sup> Si noti bene che  $a_0$  è la cifra delle unità,  $a_1$  quella delle decine,  $a_2$  quella delle centinaia, ecc. Ad esempio, per  $n = 364595$  la stringa  $(a_0 a_1 \dots a_5)$  è  $(595463)$ , come se il numero fosse “rovesciato”. Per ogni potenza  $10^k$  ( $k \geq 0$ ), a cominciare da  $10^0 = 1$ , calcoliamo  $s_k = 10^k \bmod m$ , cioè

$$s_0 = 1, \quad s_1 = 10 \bmod m, \quad s_2 = 100 \bmod m, \quad s_3 = 1000 \bmod m, \quad \dots$$

Gli  $s_k$  possono essere calcolati facilmente: ponendo  $\alpha = 10 \bmod m$ , si ha  $s_k = \alpha^k$ , dove la potenza  $k$ -esima è *modulare*, cioè calcolata in base alla moltiplicazione dell'anello  $\mathbb{Z}_m$ . Essendo  $\mathbb{Z}_m$ , come insieme, un insieme finito (di  $m$  elementi), gli  $s_k$  non possono essere tutti distinti: per semplicità supponiamo  $s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$  distinti, ma  $s_6 = s_3$ ; allora è pure  $s_7 = s_6 \times \alpha = s_3 \times \alpha = s_4$ ,  $s_8 = s_5$ ,  $s_9 = s_6 = s_3$ ; quindi il ciclo  $[s_3, s_4, s_5]$  si ripete periodicamente dopo l'anticiclo  $(s_0, s_1, s_2)$ .<sup>4</sup> Ha senso quindi, e la notazione si spiega da sè, rappresentare la sequenza dell'esempio come  $(s_0, s_1, s_2, [s_3, s_4, s_5])$ . In generale possiamo scrivere:

$$(s_0, s_1, \dots, s_q, [s_{q+1}, \dots, s_{q+p}])$$

dove  $s_{q+1}, \dots, s_{q+p}$  è la  $p$ -pla del periodo che si ripete. Chiameremo questa sequenza la *sequenza associata* ad  $m$ . Questa sequenza fornisce *tutti* i criteri di divisibilità aritmetici di tipo “congruenziale”, ossia che non si limitano a dire se  $n$  è divisibile per  $m$ , ma forniscono anche la classe di resto di  $n \bmod m$ . Il “trucco” consiste nell'osservare che

$$n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k \equiv \sum_{k=0, N} s_k a_k \bmod m$$

Si deduce da questo che la divisibilità di  $n$  per  $m$  può essere sempre dedotta dalla divisibilità per  $m$  di una opportuna somma di cifre decimali di  $n$ , ovvero “*ex solâ additione characterum numericorum propositi cujusvis numeri, utrum ille sit alterius propositi numeri multiplex*” (Pascal, 1654).

<sup>3</sup> Le stesse considerazioni si possono fare in modo del tutto analogo per basi  $B \neq 10$ .

<sup>4</sup> Terminologia presa in prestito dai numeri decimali periodici, dove si distinguono il *periodo* e l'*antiperiodo*.

**Divisibilità per 2** Si ha  $10^0 = 1 \equiv 1 \pmod{2}$ , e per  $k \geq 1$  si ha  $10^k \equiv 0 \pmod{2}$ . La sequenza associata è

$$(1, [0])$$

da cui  $n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k \equiv a_0 \pmod{2}$ , ed in particolare  $n$  è *divisibile per 2 se e solo se lo è la cifra delle unità*, cioè se essa è pari.

**Divisibilità per 3** Si ha  $10^0 = 1 \equiv 1 \pmod{3}$ ,  $10^1 = 10 \equiv 1 \pmod{3}$ , e quindi (visto che  $1^k = 1$ ) anche per  $k \geq 2$  si ha  $10^k \equiv 1 \pmod{3}$ . La sequenza associata è

$$([1])$$

da cui  $n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k \equiv \sum_{k=1, N} a_k \pmod{3}$ , ed in particolare  $n$  è *divisibile per 3 se e solo se lo è la somma delle sue cifre*.

**Divisibilità per 4** Si ha  $10^0 = 1 \equiv 1 \pmod{4}$ ,  $10^1 = 10 \equiv 2 \pmod{4}$ ,  $10^2 = 100 \equiv 0 \pmod{4}$ , e quindi, anche per  $k \geq 3$  si ha  $10^k \equiv 0 \pmod{4}$ . La sequenza associata è

$$(1, 2, [0])$$

da cui  $n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k \equiv (a_0 + 2a_1) \pmod{4}$ , ed in particolare  $n$  è *divisibile per 4 se e solo se lo è la somma della cifra delle unità con il doppio di quelle decine*.<sup>5</sup>

**Divisibilità per 5** Si ha  $10^0 = 1 \equiv 1 \pmod{5}$ , e per  $k \geq 1$  si ha  $10^k \equiv 0 \pmod{5}$ . La sequenza associata è

$$(1, [0])$$

da cui  $n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k \equiv a_0 \pmod{5}$ , ed in particolare  $n$  è *divisibile per 5 se e solo se la sua cifra delle unità è 0 oppure 5*, che sono le uniche cifre decimali divisibili per 5.

---

<sup>5</sup> Uno dei vari criteri di divisibilità per 4 che si trovano nei manuali scolastici afferma che un numero intero è divisibile per 4 “se le ultime due cifre sono tali che la sua penultima è dispari e l’ultima è 2 oppure 6, oppure la sua penultima cifra è pari e l’ultima è 0, 4, 8.” Questo è corretto, ma viene da pensare come e perché si debbano escogitare regole così inutilmente complicate dal punto di vista linguistico. Si noti che altri criteri come “un numero intero è divisibile per 4 se nella sua scomposizione in fattori primi compare il fattore 2 con esponente maggiore o uguale a 2” sanno un po’ di circolo vizioso, in quanto nella scomposizione in fattori fatta scolasticamente “a mano” si inizia col controllare se il numero dato è divisibile per 2, poi se lo è per 3, ecc. Si veda anche la nota 23 a piè di pagina.

**Divisibilità per 6** Ovviamente un intero è divisibile per 6 se sono soddisfatti simultaneamente i due criteri di divisibilità per 2 e per 3 (il che equivale a ragionare in termini di intersezione di ideali di  $\mathbb{Z}$ ). Qui però abbiamo disponibile un criterio che non dipende dalla fattorizzazione in primi. Si ha  $10^0 = 1 \equiv 1 \pmod{6}$ ,  $10^1 = 10 \equiv 4 \pmod{6}$ ,  $10^2 = 100 \equiv 16 \equiv 4 \pmod{6}$ , ecc. Visto che  $4 \equiv -2 \pmod{6}$ , la sequenza associata è

$$(1, [-2])$$

da cui  $n = \sum_{k=0, N} a_k 10^k \equiv (a_0 - 2 \sum_{k=1, N} a_k) \pmod{6}$ , ed in particolare  $n$  è divisibile per 6 se e solo se lo è la differenza tra la cifra delle unità ed il doppio della somma delle altre cifre. Ad esempio,  $n = 1032$  è divisibile per 6 in quanto lo è la somma  $2 - 2 \times (1 + 0 + 3) = -6$ . Invece 44 non è divisibile per 6, in quanto  $4 - 2 \times 4 = -4$ , come i famosi 44 gatti di una nota canzone italiana per bambini,<sup>6</sup> che sarebbero stati perfettamente allineati in fila per 6, se non fosse stato che alla marcia mancavano proprio 4 gatti, o, se si preferisce, ce n'erano 2 di troppo.

**Divisibilità per 7** Alla divisibilità per 7 dedicheremo interamente il prossimo paragrafo. Per applicare a 7 qui il metodo della sequenza associata, dobbiamo calcolarla: si ottiene

$$(1, [3, 2, -1, -3, -2, 1])$$

Infatti,

$$\begin{aligned} 1 &= 0 \times 7 && +1, \\ 10 &= 1 \times 7 && +3, \\ 100 &= 14 \times 7 && +2, \\ 1000 &= 143 \times 7 && -1, \\ 10000 &= 1429 \times 7 && -3, \\ 100000 &= 14286 \times 7 && -2, \\ 1000000 &= 142857 \times 7 && +1. \end{aligned}$$

Quindi, avendo ritrovato il resto +1, abbiamo finalmente concluso il calcolo della sequenza.<sup>7</sup> Si noti che la struttura della sequenza associata può essere riscritta come

$$(1, 3, 2, -1, -3, -2, 1, 3, 2, -1, -3, -2, \dots)$$

<sup>6</sup> *Quarantaquattro gatti* (“in fila per sei col resto di due”) è un brano musicale del 1968, vincitore della 10<sup>a</sup> edizione dello Zecchino d’Oro, un festival musicale italiano dedicato alla musica per bambini.

<sup>7</sup> Alternativamente, possiamo ricalcolarla usando la tabellina della moltiplicazione in  $\mathbb{Z}_7$  successivamente presentata nel § 4.3.1. Il primo valore è sempre 1; il secondo è  $10 \pmod{7} = 3$ ; per il terzo, la classe di 100 si ottiene dalla tabellina:  $3 \times 3 = 2$ ; la classe

e, in particolare, possiamo affermare, a parole, che *un numero  $n$  è divisibile per 7 se lo è la somma delle tre somme a segni alterni: delle cifre di indice  $k \equiv 0 \pmod 3$ , delle cifre di indice  $k \equiv 1 \pmod 3$  moltiplicata per 3, e delle cifre di indice  $k \equiv 2 \pmod 3$  moltiplicata per 2.*

Tutto questo si semplifica largamente se  $n$  ha solo tre cifre. Per esempio, sia  $n = hdu$ , dove  $h$  sono le centinaia,  $d$  le decine ed  $u$  le unità. Al rovescio abbiamo  $(udh)$ , e quindi  $n$  è divisibile per 7 se e solo se lo è  $1 \times u + 3 \times d + 2 \times h$ . Applichiamo a  $n = 148$ : calcoliamo  $1 \times 8 + 3 \times 4 + 2 \times 1 = 22$ , che non è divisibile per 7 (ha classe = 1) e quindi neppure 148 lo è (anzi si sa ora che  $148 \pmod 7 = 1$ ).

Per un esempio più complicato, sia  $n = 777213213$ : questo numero è divisibile per 7, in quanto  $(3 - 3 + 7) + (1 - 1 + 7) \times 3 + (2 - 2 + 7) \times 2 = 42$ , e poiché 42 è divisibile per 7, anche 777213213 lo è.

In Appendice riportiamo l'esempio utilizzato da Pascal per illustrare questo criterio. Si potrà notare che Pascal, in luogo della sequenza  $(1, 3, 2, -1, -3, -2, \dots)$ , utilizza la  $(\pmod 7)$  equivalente  $(1, 3, 2, 6, 4, 5, \dots)$ , cf. Fig. 1. Alla divisibilità per 7 dedicheremo interamente la prossima sezione.

	Scriptis continuis 1, 2, 3, 4, 5, etc. subscribo 1 sub 1:										
Ordine cifra decimale	→	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Moltiplicatore	→	6	2	3	1	5	4	6	2	3	1
mod 7 =	→					-2	-3	-1	2	3	1

Figura 1: La tabella di Pascal (1654) per il test di divisibilità per 7. La sequenza dei moltiplicatori modulo 7 è stata aggiunta all'originale.

**Divisibilità per 8** La sequenza associata ad  $m = 8$  è

$$(1, 2, 4, [0])$$

ed in particolare,  *$n$  è divisibile per 8 se e solo se lo è la somma della cifra delle unità con il doppio di quella delle decine e con il quadruplo di quella delle centinaia.* Le cifre delle migliaia ecc. non contano in quanto 1000, ecc., è già divisibile per 8.

di  $1000 = 100 \times 10$  è allora  $2 \times 3 = -1$ ; quella di  $10000 = 1000 \times 10$  è  $-1 \times 3 = -3$ ; ecc. Intuitivamente, si potrebbe scrivere  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow -1 \rightarrow -3 \rightarrow -2 \rightarrow 1$ , dove ogni freccia rappresenta la moltiplicazione per  $\alpha = 3 (= 10 \pmod 7)$  nella tabellina della moltiplicazione in  $\mathbb{Z}_7$ .

**Divisibilità per 9** La sequenza associata a 9 è la stessa di quella associata a 3, ossia

$$([1])$$

da cui  $n$  è divisibile per 9 se e solo se lo è la somma delle sue cifre.

**Divisibilità per 10** Anche se banale, la sequenza associata a 10 è

$$(1, [0])$$

quindi, in particolare,  $n$  è divisibile per 10 se e solo se la sua cifra delle unità è 0, che è l'unica cifra decimale divisibile per 10.

**Divisibilità per 11** La sequenza associata a 11 è

$$(1, [-1, 1])$$

ed in particolare,  $n$  è divisibile per 11 se e solo se lo è la differenza fra la somma delle cifre di indice pari e la somma delle cifre di indice dispari. Come nel caso  $m = 7$ , riscrivendo la sequenza come

$$(1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, \dots)$$

il criterio si può ridire, a parole, ma in modo forse inutilmente complicato, affermando che *un numero è divisibile per 11 se lo è la somma delle due somme a segni alterni: quella delle cifre di indice  $k \equiv 0 \pmod{2}$ , pari, e quella delle cifre di indice  $k \equiv 1 \pmod{2}$ , dispari, moltiplicata per  $-1$ .*

**Divisibilità per 101** Per rapidità, generiamo la sequenza associata ad  $m = 101$  con un codice nel linguaggio R (R Core Team, 2021):

```
> m = 101; k = 0:11; p = 10^k; r = p%m
> r[which(r>m/2)] = r[which(r>m/2)]-m; r
[1] 1 10 -1 -10 1 10 -1 -10 1 10 -1 -10
```

Scrivendo la sequenza come

$$(1, 10, -1, -10, 1, 10, -1, -10, 1, 10, -1, -10, 1, 10, -1, -10, \dots)$$

si capisce facilmente<sup>8</sup> che si è dimostrato il criterio popolare: *un numero è divisibile per 101 se lo è, raggruppando le cifre a due a due da destra*

<sup>8</sup> Si deve valutare  $a_0 + 10a_1 - a_2 - 10a_3$  ecc. Ma  $a_0 + 10a_1 = (a_1a_0)$  (un numero di due cifre), e  $a_2 + 10a_3 = (a_3a_2)$ , un altro numero a due cifre. Il criterio per 101 funziona in un certo senso per un colpo di fortuna: si è in base 10 e si trova proprio 10 ai posti pari della sequenza.

verso sinistra, la differenza tra la somma delle coppie che occupano posto dispari e la somma delle coppie che occupano posto pari. Esempio: sia  $n = 32781267$ . Raggruppiamo:  $n = 32\ 78\ 12\ 67$ . Ai posti pari:  $67 + 78 = 145$ ; ai dispari  $12 + 32 = 44$ ; la differenza è  $= 145 - 44 = 101 \equiv 0 \pmod{101}$ , quindi  $n$  è divisibile per 101.

## 4 La divisibilità per 7

### 4.1 Il “magico numero” 7: una breve storia

Il numero 7 è ubiquitario in moltissime situazioni nelle quali, alla fin fine, c'è un po' di mistero. Nel linguaggio comune, sette sono i colori dell'arcobaleno, e sette sono le note musicali. Poi, nella Bibbia, sette sono i giorni della Creazione; ed ovviamente sette sono i giorni della settimana. Nella dottrina cattolica, sette sono i Sacramenti, sette i Doni dello Spirito Santo, e sette sono i Peccati Capitali. Nella tradizione ebraica, sette sono le braccia il candelabro del Tempio ebraico, la *Menorah*. Poi sette erano le antiche Meraviglie del mondo, e Roma fu fondata su sette colli ed ebbe sette re. Il sette abbonda poi nelle favole (“Biancaneve e i sette nani”, 1812) e nei fumetti (“Zio Paperone e le sette città di Cibola”, 1954), ed addirittura spopola nel cinema: “I sette Samurai” (1954), “Sette spose per sette fratelli” (1954), “Il settimo sigillo” (1957), “I magnifici sette” (1960), “Seven” (1995), “Sette anni in Tibet” (1997), e come non citare “Quando la moglie è in vacanza” (1955), il cui titolo originale è “The Seven Year Itch”, con chiaro riferimento alla cosiddetta crisi del settimo anno.

Insomma, 7 è un numero magico e misterioso, e lo è da sempre, almeno dai tempi dei babilonesi e della loro aritmetica sessagesimale.<sup>9</sup> Però i babilonesi consideravano come “veri” numeri solo i sessagesimali limitati, ossia quelli con un numero finito di cifre non nulle “dopo la virgola”.<sup>10</sup> Se ora andiamo a leggere qualche tavoletta degli inversi  $1/m$  (delle quali le più antiche risalgono al 1800 a.C.), vediamo che per questi antichi il 7 non è invertibile:<sup>11</sup>

$$\begin{array}{cccccc} 1/1 = 1, & 1/2 = 30', & 1/3 = 20', & 1/4 = 15', & 1/5 = 12', \\ 1/6 = 10', & 1/7 = \text{non esiste}, & 1/8 = 7'30'', & 1/9 = 6'40'', & 1/10 = 6' \end{array}$$

<sup>9</sup> In effetti, il calcolo aritmetico in base 60 è piuttosto efficace, tanto che è quello usato da Tolomeo nell'*Almagesto*; lo stesso Copernico ne fece uso molti secoli dopo, ed oggi vive nella misura degli angoli e del tempo (in ore, minuti primi e secondi).

<sup>10</sup> I babilonesi li chiamavano numeri *regolari*: in altre parole sono quelli che moltiplicati per una potenza della base 60 danno un intero.

<sup>11</sup> Per facilitare i calcoli, si pensi alla suddivisione di un'ora in minuti e secondi – ereditata dalle civiltà arcaiche –: ad esempio, un quarto d'ora corrisponde a 15 minuti.

Oggi noi sappiamo che quel «non esiste» dipende dal fatto che un razionale  $1/m$  ha sviluppo in base 60 limitato se e solo se i fattori primi di  $m$  sono fra i numeri 2, 3 e 5. Quindi  $1/7$  non ha sviluppo sessagesimale limitato.<sup>12</sup>

È possibile che questa antica caratteristica del 7 sia all'origine della sua fama? Avanziamo una risposta: no. Ma una risposta potrebbe venire dalla ricerca psicologica. Nel 1956 lo psicologo americano George A. Miller (Miller, 1956) pubblicò un articolo intitolato *The magical number seven,...*, uno dei più famosi e più citati articoli di psicologia. Nell'articolo, Miller discute i limiti della memoria umana, ed afferma che la quantità di informazione che siamo in grado di elaborare, al momento dato, è circoscritta attorno al numero “magico” 7, cioè: lo *span* (arco, intervallo) della nostra memoria a breve termine (o memoria di lavoro) si limita, più o meno, ad una capacità di 7 *chunk* (pezzo) alla volta. Sarebbe questo inconscio collettivo che genera la necessità di creare elenchi che non vadano oltre i 7 elementi: secondo la teoria di Miller, se le antiche Meraviglie del mondo, o i nani di Biancaneve, o i Peccati Capitali fossero 10 o 12 invece di essere “solo” 7, pochissimi si ricorderebbero quali o chi sono.

## 4.2 Il criterio del *Talmud*

A proposito di Mesopotamia, il primo criterio di divisibilità per 7 si trova nel *Talmud Babilonese*,<sup>13</sup> precisamente nel trattato *Avodah Zarah* 9b. Riportiamo questo passo in una libera traduzione in italiano dalla versione ebraico/inglese (Talmud, 2024):

Rav Huna, figlio di Rav Joshua, disse: Se uno non sa quale sia l'anno nel Ciclo Sabbatico di sette anni, aggiunga un anno [a quello nell'Era della Distruzione], metta da parte le centinaia come Cicli Giubilari, e converta il resto in Cicli Sabbatici [di sette anni ciascuno] dopo avervi aggiunto due anni per ogni secolo completo; ciò che avanza gli darà il numero dell'anno indicato nell'attuale Ciclo Sabbatico. Come trucco mnemonico, per aggiungere due anni per ogni secolo, si pensi al versetto «Già da due anni vi è stata la carestia nel paese».

Il versetto biblico citato come promemoria è *Genesi*, 45:6. Rav Huna si basa sul calendario che ha origine (anno 1, non anno 0) nell'anno 70

<sup>12</sup> Quel che si potrebbe fare è passare agli sviluppi sessagesimali illimitati (periodici), ed allora si otterrebbe lo sviluppo con periodo tre:  $1/7 = 8' 34'' 17''' \bar{8} 34 \bar{17}$ ; infatti  $(8/60 + 34/60^2 + 17/60^3)/(1 - 1/60^3) = 1/7$ , dove  $1/(1 - 1/60^3)$  è la somma della serie geometrica di ragione  $r = 1/60^3$ , ma, chiaramente, sia le serie geometriche che il concetto stesso di uno sviluppo con infinite cifre, per quanto queste possano essere ricorrenti, erano fuori portata per i babilonesi.

<sup>13</sup> Il *Talmud* venne redatto nelle accademie rabbiniche della Mesopotamia nel periodo c.450 – c.550, e per questo è anche detto *Talmud Babilonese*.

dell’Era Volgare (perifrasi laica per d.C.), quando i romani distrussero il Secondo Tempio di Gerusalemme. Ad esempio, l’algoritmo di Rav Huna applicato all’anno di redazione di questa nota, il 2024 dell’Era Volgare, opera come segue. Il 2024 è il 1955 dell’Era di Distruzione. Aggiungendo un anno otteniamo  $1955 + 1 = 1956$ . Mettendo da parte le 19 centinaia, ci resta 56. Se aggiungiamo 2 per ciascuna delle centinaia, che sono 19, otteniamo  $56 + (19 \times 2) = 94$ . Dividendo infine quest’ultimo risultato per 7, otteniamo  $94 = 13 \times 7 + 3$ . Pertanto, il 2024 è il 3° del Ciclo Sabbatico.

La necessità di un criterio di divisibilità per 7 che includa anche il computo della classe di resto viene ovviamente dal fatto che i calendari adottati nella tradizione ebraica sono organizzati in cicli di 7 anni, i Cicli Sabbatici, e non in cicli di 4 anni come il calendario giuliano e quello gregoriano.<sup>14</sup>

La dimostrazione del criterio del *Talmud* è semplice. Posto infatti  $n = 100b + a$ , si ha, visto che  $100 = 14 \times 7 + 2$  e quindi  $100 \equiv 2 \pmod{7}$ :

$$\varphi(n) = \varphi(100b + a) = \varphi(100)\varphi(b) + \varphi(a) = 2\varphi(b) + \varphi(a) = \varphi(2b + a),$$

dove  $\varphi$  è l’omorfismo canonico  $\mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}_7$ . Ovviamente l’algoritmo è fruibile quando è facile determinare “a mente” la classe modulo 7 di  $2b + a$ , cioè, in pratica, quando il numero  $b$  delle centinaia di anni ha al massimo due cifre decimali; ma questo è largamente sufficiente per gli usi comuni, visto che garantisce la praticabilità dei calcoli per almeno 99 secoli, cosicché, alla fine, Rav Huna non era certo assillato da eventuali valori “grandi” di  $b$ . Vedremo nella prossima sezione come sia possibile superare questo ostacolo.

### 4.3 I test alla Zbikowski

Questa sezione (e la nota intera) nasce come reazione alla notizia – che ha destato un certo clamore “mediatico” – della “scoperta” nel 2018 di un test di divisibilità per 7 da parte di Chika Ofili, un ragazzino nigeriano di 12 anni della Westminster Under School di Londra.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> In questi, per sapere se un anno è bisestile o no, basta il criterio di divisibilità per 4, anche se, nel caso del calendario gregoriano, serve anche quello ovvio per 400 (Brusadin & Invernizzi, 2010).

<sup>15</sup> Ammettendo che Chika abbia scoperto la cosiddetta “new mathematical formula” in modo indipendente (senza trovarla sui motori di ricerca), la cosa triste è che il test era del tutto sconosciuto non solo al ragazzino, ma anche, per loro stessa ammissione, sia alla sua insegnante, la prof. Mary Ellis, che era fra l’altro la *Head of Mathematics* della scuola, sia agli “esperti” da lei consultati. Questo prova ancora una volta la grande importanza di una visione storica della matematica e della conoscenza del passato. Per informazioni ulteriori su questa vicenda, si suggerisce di googlare “Chika Ofili”. In un certo senso la classica lamentela di Robert Musil (1880–1942) «oggi si scrive troppo e si legge poco» vale anche per gli studi di matematica.

Questo test era già ben noto almeno dal 1860, ed è noto (a chi è noto) come test di Zbikowski (Zbikowski, 1861; Dickson, 1919). Si veda la Fig. 2 per un piccolo estratto del lavoro originale.

**Note sur la divisibilité des nombres. par  
A. Zbikowski. (Lu le 30 novembre 1860.)**

**Une propriété curieuse concernant la divisibilité des nombres par 7 consiste en ce qui suit: doublons les unités de l'entier donné, et retranchons ce produit du nombre de ses dizaines; si le reste est divisible par 7, l'entier donné le sera également. Cette proposition se démontre facilement de la manière suivante.**

Figura 2: L'incipit dell'articolo di A. Zbikowski del 1860, pubblicato nel 1861, sui test di divisibilità, in particolare sulla divisibilità per 7: (dato un intero  $a \geq 1$ ) si raddoppi la cifra  $a_0$  delle unità, e si sottragga  $2a_0$  dal numero delle decine (il numero ottenuto cancellando  $a_0$  dallo sviluppo decimale di  $a$ ): se questa differenza è divisibile per 7, allora lo è anche  $a$ .

Il test di Zbikowski afferma quindi che un numero (intero positivo)  $a$  è divisibile per 7 se lo è  $a' = (a - a_0)/10 - 2a_0$ , dove  $a_0$  è la cifra delle unità di  $a$ , affermazione che si dimostra facilmente in modo diretto, in quanto, se  $a'$  è multiplo di 7, lo è anche  $10a' = (a - a_0) - 20a_0 = a - 21a_0$ , e pertanto lo è anche  $a$ . Nel seguito, usando l'aritmetica modulare in  $\mathbb{Z}_7$ , daremo una dimostrazione che “spiega perché” il test funziona, ottenendo così anche una versione “generalizzata” del test, e concluderemo con un'osservazione su un punto talvolta dibattuto.

#### 4.3.1 Una “spiegazione” del test di Zbikowski

Ricordiamo che come rappresentanti delle classi di resto modulo 7 in  $\mathbb{Z}$  abbiamo scelto  $(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$  in luogo dei classici  $(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6)$ .<sup>16</sup> Sarà nel seguito utile avere sott'occhio la tabellina (Tabella 1) della moltiplicazione in  $\mathbb{Z}_7$  con i simboli ora introdotti.<sup>17</sup> Sia  $n$  un intero  $\geq 2$ , sia  $a$  la cifra delle unità nello sviluppo decimale di  $n$ , e sia  $b$  il numero

<sup>16</sup> Possiamo essere più formali. Dato  $n \in \mathbb{Z}$ , consideriamo l'insieme delle distanze  $|n - 7j|$  di  $n$  dai multipli  $7j$  di 7 ( $j \in \mathbb{Z}$ ). Per il Principio del Buon Ordinamento degli interi non-negativi, queste distanze hanno un minimo  $d^* = |n - 7j^*|$ , ed è  $d^* < 4$ , perché altrimenti il minimo si avrebbe per  $j^* - 1$  o per  $j^* + 1$ , cioè per il multiplo di 7 precedente o per quello successivo. Quindi  $n = 7j^* \pm d$ , ovvero  $n \equiv \pm d \pmod{7}$ , con  $\pm d$  che può assumere i valori  $-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ .

<sup>17</sup> La tabellina si ricava a mano con sole tre moltiplicazioni “impegnative” in  $\mathbb{Z}_7$ ; precisamente sono:  $2 \times 2 = -3$  (in  $\mathbb{Z}$  si ha  $2 \times 2 = 4$  e mancano 3 al 7),  $2 \times 3 = -1$  (in  $\mathbb{Z}$  si

$\times$	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	2	-1	3	0	-3	1	-2
-2	-1	-3	2	0	-2	3	1
-1	3	2	1	0	-1	-2	-3
0	0	0	0	0	0	0	0
1	-3	-2	-1	0	1	2	3
2	1	3	-2	0	2	-3	-1
3	-2	1	-3	0	3	-1	2

Tabella 1: Tabellina della moltiplicazione nell'anello  $\mathbb{Z}_7$ .

ottenuto dallo sviluppo di  $n$  “cancellando” la cifra  $a$ . Si ha quindi l'identità  $n = 10b + a$ . Sia  $\mathbb{Z}_7 = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ , e sia  $\varphi : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}_7$  l'omomorfismo canonico. Tenendo conto che  $\varphi(10) = 3$ , si ha in  $\mathbb{Z}_7$

$$\varphi(n) = \varphi(10b + a) = \varphi(10)\varphi(b) + \varphi(a) = 3\varphi(b) + \varphi(a) \quad (2)$$

Moltiplicando per  $-2$ , che è l'inverso di  $3$  nell'anello  $\mathbb{Z}_7$  (ossia  $(-2) \cdot 3 = 1$ ), si ha:

$$(-2)\varphi(n) = ((-2) \cdot 3)\varphi(b) + (-2)\varphi(a) = \varphi(b) + (-2)\varphi(a) = \varphi(b - 2a) \quad (3)$$

Nell'anello  $\mathbb{Z}_7$  vale la legge dell'annullamento del prodotto (perché  $7$  è un numero primo), per cui  $\varphi(n) = 0$  se e solo se  $\varphi(b - 2a) = 0$ ; altrimenti detto, con le notazioni precedenti:  $n$  è divisibile per  $7$  se e solo se lo è  $b - 2a$ . La prova mostra che il luogo di  $-2$  si può prendere un intero del tipo  $-2$  più un multiplo di  $7$ , ad esempio  $5$  va bene (come la scelta fatta nel cosiddetto “test di Chika”:  $n$  è divisibile per  $7$  se e solo se lo è  $b + 5a$ ).

### 4.3.2 Il test di Zbikowski “generalizzato”

Sia dato un intero  $n \geq 2$ , con  $p$  cifre nel suo sviluppo in base  $10$ . Scelto un intero  $k$  ( $1 \leq k < p$ ) sia  $a$  il numero definito dalle ultime  $k$  cifre di  $n$ , e sia  $b$  il numero definito dalle cifre restanti. Ad esempio, se  $n = 631534$ , scegliendo  $k = 3$  si ha  $a = 534$ ,  $b = 631$ . In generale  $n = 10^k b + a$ . Può però capitare di dover applicare il test a numeri  $n$  negativi (si veda un esempio nel paragrafo *Regole pratiche*). In tal caso la scomposizione

---

ha  $2 \times 3 = 6$  e manca  $1$  al  $7$ ),  $3 \times 3 = 2$  (in  $\mathbb{Z}$  si ha  $3 \times 3 = 9$  e siamo di  $2$  oltre il  $7$ ); oppure (o anche) con il programmino del n. **4** in “Suggerimenti e complementi”. Si noti che fra i fattori c'è lo  $0$ , il che genera una riga ed una colonna di zeri: si rifletta che si tratta della tabellina della moltiplicazione nell'anello  $\mathbb{Z}_7$ , e non nel gruppo moltiplicativo  $\mathbb{Z}_7^*$ . Cf. anche <https://demonstrations.wolfram.com/ModularArithmeticTables/>, dove anche lo zero è presente nei fattori.

va modificata in modo ovvio: ad esempio, se  $n = -122$ , e  $k = 1$ , e per assicurare che sia sempre  $n = 10b + a$ , vanno scelti  $b = -12$  ed  $a = -2$ .

Sia  $\varphi: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}_7$  l'omomorfismo canonico. Applicandolo ad  $n = 10^k b + a$ , e visto che  $\varphi(10) = 3$ , si ha in  $\mathbb{Z}_7$ :

$$\varphi(n) = \varphi(10^k b + a) = \varphi(10)^k \varphi(b) + \varphi(a) = 3^k \varphi(b) + \varphi(a) \quad (4)$$

Nell'anello  $\mathbb{Z}_7$  ogni elemento  $\neq 0$  è invertibile, ed in particolare l'inverso di 3 è  $-2$  (ossia  $(-2) \cdot 3 = 1$  in  $\mathbb{Z}_7$ ), e quindi l'inverso di  $3^k$  è  $c_k = (-2)^k$ ; ad esempio,  $c_1 = -2$ ,  $c_2 = (-2) \cdot (-2) = -3$ ,  $c_3 = (-3) \cdot (-2) = -1$ , ...

Ora ecco qua il trucco di cui Rav Huna non aveva bisogno, e che ci consente di "scaricare" la eventuale "grandezza" di  $b$  su  $a$ : moltiplichiamo la (4) per  $c_k$

$$c_k \varphi(n) = \varphi(b) + c_k \varphi(a) = \varphi(b + c_k a) \quad (5)$$

Nell'anello  $\mathbb{Z}_7$  vale la legge dell'annullamento del prodotto, e  $c_k \neq 0$ , per cui  $\varphi(n) = 0$  se e solo se  $\varphi(b + c_k a) = 0$ ; altrimenti detto, con le notazioni precedenti:  $n$  è divisibile per 7 se e solo se lo è  $b + c_k a$ . Ad esempio, per  $n = 631534$ , scegliendo  $k = 3$ , si ha  $a = 534$ ,  $b = 631$  e quindi, essendo  $c_3 = -1$ , si ha  $b - a = 631 - 534 = 97$  che non è divisibile per 7, e quindi neppure  $n$  lo è. In più, visto che la classe di 97 in  $\mathbb{Z}_7$  si determina subito, ed è  $-1$ , la (5) ci consente di calcolare la classe  $\varphi(n)$  di  $n$ , che è  $(-1)/c_3 = 1$ .

### Regole pratiche

Cifre da tagliare: $k =$	1	2	3	4	5
$r = b + c_k a$	$b - 2a$	$b - 3a$	$b - a$	$b + 2a$	$b + 3a$
Moltiplicatore: $1/c_k =$	3	2	-1	-3	-2

Il moltiplicatore indica per quanto bisogna moltiplicare la classe di  $r = b + c_k a$  per ottenere la classe di  $n$ . Ad esempio, sia  $n = 9924626692469$ .

regola con  $k = 5$ :  $a = 92469$ ,  $b = 99246266$ ,  $b + 3a = 99523673$ .

regola con  $k = 4$ :  $a = 3673$ ,  $b = 9952$ ,  $b + 2a = 17298$ .

regola con  $k = 2$ :  $a = 98$ ,  $b = 172$ ,  $b - 3a = -122$ .

regola con  $k = 1$ :  $a = -2$ ,  $b = -12$ ,  $b - 2a = -8$ .

Ora  $-8 = 7 \cdot (-1) - 1$  ha evidentemente classe  $-1$ , e quindi  $n$  non è divisibile per 7.

Riassumendo, abbiamo applicato quattro volte la regola, con moltiplicatori 3, 2, -3, -2, per un moltiplicatore totale (il loro prodotto) pari a  $36 \equiv 1 \pmod{7}$ . Ne viene che la classe di  $n$  è  $(-1) \cdot 1 = -1$ , ed

infatti a  $n = 9924626692469$  manca proprio un'unità per raggiungere  $9924626692470 = 7 \times 1417803813210$ , che è un multiplo di 7.

Il punto dibattuto cui abbiamo accennato in precedenza è l'opinione che i test di divisibilità per  $m$  consentono solo di decidere se un dato numero  $n$  è divisibile per  $m$  o no, senza però poter determinare la classe di  $n \pmod{m}$ . Questo è ben vero se ci si limita a guardare solo agli enunciati dei test, ma se si dedica un po' di tempo allo studio delle dimostrazioni, appare chiaro che queste forniscono proprio la classe cercata, ed i test di divisibilità ne diventano un corollario: se la classe ottenuta è 0, allora  $n$  è divisibile per  $m$ , altrimenti non lo è (indipendentemente da quale sia la classe  $\neq 0$ ).

### Suggerimenti e complementi

1. Il caso degli sviluppi degli interi in base  $B \geq 2$ . Un intero  $n \geq 2$  è divisibile per  $B - 1$  se e solo se lo è la somma delle sue cifre  $B$ -adiche: questo perché, per  $k \geq 0$ , è  $B^k \equiv 1 \pmod{B - 1}$ . Pertanto la "stranezza" dei test di divisibilità per 7 dipende dalla scelta della base  $B = 10$ . Ad esempio, con  $B = 8$ , un intero  $n \geq 2$  è divisibile per 7 se e solo se lo è la somma delle sue cifre ottali: sia  $n = 72011638983515644 = (3776543210123456774)_8$ . La somma delle cifre ottali di  $n$  è  $3 + 7 + 7 + \dots + 7 + 7 + 4 = (115)_8$ , e  $1 + 1 + 5 = 7$  (si noti che  $(115)_8 = 77$ ); quindi  $n$  è divisibile per 7.

2. Sia  $B = 16$  e sia  $n = 4520989 = (44fc1d)_{16}$ . La somma delle cifre esadecimali di  $n$  è  $4 + 4 + f + c + 1 + d = (31)_{16}$ , e  $3 + 1 = 4$  (si noti che  $(31)_{16} = 49$ ); quindi  $n$  non è divisibile per  $B - 1 = (f)_{16} = 15$ , anzi, abbiamo verificato che  $n \equiv 4 \pmod{15}$  (o, se si preferisce,  $n \equiv 4 \pmod{f}$ ).

3. Scrivere un codice, nel linguaggio di programmazione preferito, che stampi la tabellina della moltiplicazione nell'anello  $\mathbb{Z}_m$ , con  $m \geq 2$  anche non primo, usando per le classi la rappresentazione scelta al par. 2. Qui una soluzione possibile con R, per  $m = 13$ :

```
m = 13
j = m%2
M = 1:m + j %% m - m
U = ((M % M) %% m+j)%m-j
colnames(U)=rownames(U)=paste0("[" ,M, "]" ); U
```

L'output è simile a quanto presentato nella Tabella 2 (e può essere sfruttato per i successivi n. 5 e n. 6).

4. Seguendo la strategia illustrata per  $m = 7$  nella nota 7 del § 3, possiamo tentare di calcolare a mano la sequenza associata ad  $m = 13$ , in

×	[-6]	[-5]	[-4]	[-3]	[-2]	[-1]	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
[-6]	-3	4	-2	5	-1	6	0	-6	1	-5	2	-4	3
[-5]	4	-1	-6	2	-3	5	0	-5	3	-2	6	1	-4
[-4]	-2	-6	3	-1	-5	4	0	-4	5	1	-3	6	2
[-3]	5	2	-1	-4	6	3	0	-3	-6	4	1	-2	-5
[-2]	-1	-3	-5	6	4	2	0	-2	-4	-6	5	3	1
[-1]	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
[0]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[1]	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
[2]	1	3	5	-6	-4	-2	0	2	4	6	-5	-3	-1
[3]	-5	-2	1	4	-6	-3	0	3	6	-4	-1	2	5
[4]	2	6	-3	1	5	-4	0	4	-5	-1	3	-6	-2
[5]	-4	1	6	-2	3	-5	0	5	-3	2	-6	-1	4
[6]	3	-4	2	-5	1	-6	0	6	-1	5	-2	4	-3

Tabella 2: Tabellina della moltiplicazione nell'anello  $\mathbb{Z}_{13}$  generata automaticamente con un codice R. Le due linee ed il simbolo  $\times$  di moltiplicazione sono abbellimenti estetici successivi.

modo da ricavarne il relativo test di divisibilità per 13 (sugg.: con tanta pazienza si calcola la sequenza che risulta periodica: il blocco che si ripete è  $[1, -3, -4, -1, 3, 4]$ ; per quanto sia possibile ricavarne un test, non pare ragionevole farlo:<sup>18</sup> nel prossimo esempio cambieremo metodo).

**5.** Ricavare il test di divisibilità per 13 alla Zbikowski: *un numero  $n$  è divisibile per  $m = 13$  se è divisibile per 13 la somma fra il numero privato dell'ultima cifra e il quadruplo dell'ultima cifra stessa* (sugg.: adattare il criterio di Zbikowski; porre  $n = 10b + a$ . In  $\mathbb{Z}_{13}$  si ha  $\varphi(10) = -3$ , quindi  $\varphi(n) = \varphi(10)\varphi(b) + \varphi(a) = -3\varphi(b) + \varphi(a)$ . L'inverso di  $-3$  in  $\mathbb{Z}_{13}$  (nella nostra rappresentazione) è 4 (da  $-3 \cdot 4 + 13 = 1$ ); quindi  $4 \cdot \varphi(n) = 1 \cdot \varphi(b) + 4\varphi(a) = \varphi(b + 4a)$ .)

**6.** Ricavare il test di divisibilità per 17 alla Zbikowski: *un numero  $n$  è divisibile per  $m = 17$  se è divisibile per 17 la differenza fra il numero privato dell'ultima cifra e il quintuplo dell'ultima cifra stessa* (sugg.: al solito sia  $n = 10b + a$ . In  $\mathbb{Z}_{17}$  si ha  $\varphi(10) = -7$ , e, magari per tentativi, se ne trova l'inverso, che è  $-5$ : infatti  $-7 \cdot (-5) - 2 \cdot 17 = 35 - 34 = 1$ .)

<sup>18</sup> Vi è quindi un motivo serio se i test "scolastici" si fermano a  $m = 11$ , con l'eccezione di  $m = 101$ : le sequenze associate diventano via via troppo complicate. Ad esempio, la sequenza associata ad  $m = 17$  è  $[1, -7, -2, -3, 4, 6, -8, 5, -1, 7, 2, 3, -4, -6, 8, -5]$ , ed ha periodo 16, mentre quella associata ad  $m = 19$  è  $[1, -9, 5, -7, 6, 3, -8, -4, -2, -1, 9, -5, 7, -6, -3, 8, 4, 2]$ , ed ha periodo 18. Queste sequenze sono "facilmente" ricavate dalle tabelline della moltiplicazione eventualmente ottenute al n. 3.

7. Ricavare il test di divisibilità per 23 alla Zbikowski (sugg.:  $10 \bmod 23 = 10$ , e, stavolta “a occhio”,  $10 \cdot 7 = 70 = 69 + 1 = 3 \cdot 23 + 1$ ). Il moltiplicatore è 7, per cui: *un numero  $n$  è divisibile per  $m = 23$  se è divisibile per 23 la somma fra il numero privato dell’ultima cifra ed il prodotto di 7 per l’ultima cifra stessa*. Per prova, sia  $m = 23 \times 61 = 1403$ ,  $140 + 7 \times 3 = 161$ . Iterando,  $16 + 7 \times 1 = 23$ .

8. I test presentati nei tre punti precedenti mostrano l’importanza di saper calcolare in un corpo  $\mathbb{Z}_p$  (con  $p$  primo) l’inverso (moltiplicativo)  $y$  di un suo elemento  $x \neq 0$ . Esiste una semplice formula in proposito:  $y = x^{\Phi(p)-1}$ , dove  $\Phi(p)$  è l’ordine di  $\mathbb{Z}_p^*$ , il sottogruppo moltiplicativo di  $\mathbb{Z}_p$ , ed è  $\Phi(p) = p - 1$ . In pratica  $y = x^{p-2}$ , valore che va evidentemente riportato modulo  $p$ .

Ad esempio, per  $p = 7$  si ha  $x = \varphi(10) = 3$  e  $y = 3^{7-2} = 3^5 = 243$ , che riportato modulo 7 fa  $y = 5$  (o se si preferisce  $y = -2$ ). Questa formula ha però il difetto di “esplodere” rapidamente. Già per  $p = 17$ , dove  $x = \varphi(10) = 10$ , dobbiamo calcolare  $10^{15} \bmod 17$ , che fa  $y = 12$  (o se si preferisce  $y = -5$ ), e per  $p = 23$  dobbiamo calcolare  $10^{21} \bmod 23$ , una brutta faccenda. Approfondiamo un po’. Nel calcolo di  $y = 10^{21} \bmod 23$  con il “metodo diretto” (cioè calcolando prima la potenza  $10^{21}$  e poi il resto nella divisione per 23), il software R lancia un avvertimento: probabile perdita totale di accuratezza in modulus. Ma ora, specialmente per le necessità della crittografia a chiave pubblica, come la popolare crittografia RSA, tutti i maggiori software hanno una funzione che calcola l’esponenziazione modulare.<sup>19</sup>

Il software R ha, nel pacchetto `numbers`, la funzione `modpower(n,k,m)`, che calcola la potenza  $n$  elevato alla  $k$  modulo  $m$ , e si ha senza problemi, `modpower(10,21,23) = 7`. Lo stesso algoritmo è implementato in Python (Van Rossum & Drake, 2009) con la funzione `pow(n,k,m)`. L’esponenziazione modulare si basa sull’uguaglianza

$$(a \cdot b) \bmod m = [(a \bmod m) \cdot (b \bmod m)] \bmod m$$

che è esattamente il metodo di calcolo che abbiamo suggerito quando abbiamo consigliato di usare la tabellina della moltiplicazione in  $\mathbb{Z}_m$ .

9. Il codice di R che segue implementa l’algoritmo esteso di Euclide, che calcola non solo il massimo comun divisore  $d = \text{MCD}(a,b)$  di due interi (positivi)  $a$  e  $b$ , ma anche trova valori per i coefficienti  $s$  e  $t$  nell’identità di Bézout<sup>20</sup>  $d = sa + tb$ . Va però ricordato che R ha una fun-

<sup>19</sup> Cf. [https://en.wikipedia.org/wiki/Modular\\_exponentiation](https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_exponentiation).  
Visitato il 25 marzo 2024.

<sup>20</sup> Cf. [https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_esteso\\_di\\_Euclide](https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_esteso_di_Euclide).  
Cf. [https://it.wikipedia.org/wiki/Identità\\_di\\_Bézout](https://it.wikipedia.org/wiki/Identità_di_Bézout).  
Visitati il 26 marzo 2024.

zione dedicata e ottimizzata, che è la funzione `extGCD(a, b)` del pacchetto `numbers`. Quando  $a$  e  $b$  sono coprimi (cioè quando  $d = 1$ ), l'algoritmo qui presentato offre un modo semplice di calcolare gli inversi modulari.

Infatti, se  $sa + tb = 1$ , evidentemente è  $sa = 1 \pmod{b}$ , e quindi  $s$  è l'inverso moltiplicativo di  $a$  in  $\mathbb{Z}_b$ . Come esempi, sfruttando eventualmente un compilatore di R online, suggeriamo `euc.ext(10,7)`, `euc.ext(10,17)`, `euc.ext(10,23)`, `euc.ext(15,18)` e `euc.ext(42, 2027)`.

Questo il codice che proponiamo:

```
euc.ext = function(a,b){
  r = a; nr = b;
  s = 1; ns = 0;
  t = 0; nt = 1;
  while (nr != 0) {#
    q = r %/% nr;
      tmp = nr; nr = r - q*nr; r = tmp;
      tmp = ns; ns = s - q*ns; s = tmp;
      tmp = nt; nt = t - q*nt; t = tmp;
  }
  print(c(r,s,t));
  if (r==1) cat("(inverso di ",a," mod ",b,") = ",s) }
```

**10.** Nel 1963, W.A. Blankinship (1920–1998), un matematico allora in servizio presso la *National Security Agency* degli USA, pubblicò un algoritmo “veloce” per il calcolo dell’MCD di due interi positivi e dei coefficienti (non unici) dell’identità di Bézout, basato sul calcolo matriciale (Blankinship, 1963). Si immagina facilmente perché il Dipartimento della Difesa americano fosse interessato già nel 1963 alla “soluzione” dell’identità di Bézout: per la crittografia. Si noti ancora che l’algoritmo di Blankinship è esattamente quello utilizzato da R nella funzione `extGCD` precedentemente ricordata. Dati  $a \geq b > 0$ , l’algoritmo inizia con la matrice

$$\begin{bmatrix} a & 1 & 0 \\ b & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

e continua sommando opportuni multipli di una riga all’altra, alternando la scelta delle righe; termina quando si trova uno 0 nella prima colonna (in una qualunque delle due righe: ad esempio, per  $a = 93$  e  $b = 40$ , lo 0, al termine dell’algoritmo, si presenta nella prima riga, mentre, per  $a = 1876$ ,  $b = 365$ , lo 0 si presenta nella seconda riga).

La formulazione dell’algoritmo di Blankinship si deduce facilmente dal codice R di questo esempio:

```

a=2147483647 # .Machine$integer.max
b=46368
m=matrix(c(a,b,1,0,0,1),2,3); step=0;
while((m[2,1]*m[1,1])!=0){
  c=-(m[1,1]%/%m[2,1]);
  m[1,]=m[1,]+c*m[2,];
  if((m[2,1]*m[1,1])!=0){
    c=-(m[2,1]%/%m[1,1]);
    m[2,]=m[2,]+c*m[1,] };
  step=step+1}
m # matrice finale con uno 0 nella prima colonna
if (m[1,1]==0) {row=m[2,]}
} else if (m[2,1]==0) {
  row=m[1,]}
}
cat("Numero passi = ",step,"\n","MCD(",a,",",b,") = ",row[1],
"\n","Bezout: ",row[1]," = ",row[2],"*",a," + ",row[3],"*",b)

```

L'output è:

```

Numero passi = 6
MCD( 2147483647 , 46368 ) = 1
Bezout:
1 = -11969 * 2147483647 + 554331258 * 46368

```

Si noti che in 6 passi l'algoritmo ha calcolato<sup>21,22</sup> l'inverso  $b^{-1} = 554331258$  di  $b = 46368$  nel gruppo moltiplicativo  $\mathbb{Z}_{2147483647}^*$ .

Un altro esempio, con

$$\begin{aligned}
 a &= 811 \cdot 821 \cdot 823 \cdot 827 = 453178561051 \\
 b &= 787 \cdot 797 \cdot 809 \cdot 811 = 411530880661
 \end{aligned}$$

(entrambi assegnati come prodotti espliciti di numeri primi, con 811 come solo fattore comune); l'output è:<sup>23</sup>

```

Numero passi = 11
MCD( 453178561051 , 411530880661 ) = 811
Bezout:
811 = 242236111 * 453178561051 + -266750850 * 411530880661

```

<sup>21</sup> Il numero  $a = 2147483647 = 2^{31} - 1$  è l'ottavo numero primo di Mersenne, ed è il massimo numero intero con segno rappresentabile come variabile intera in un sistema a 32 bit, come R. La primalità di  $2^{31} - 1$  fu dimostrata da Eulero nel 1772.

<sup>22</sup> Calcoli di questo tipo sono alla base della crittografia a chiave pubblica e sono fondamentali per il cifrario RSA e per le sue estensioni, che forniscono, ad esempio, un efficiente strumento per generare la cosiddetta firma digitale.

<sup>23</sup> Questo mostra che il calcolo del MCD con il metodo della scomposizione in fattori primi, e la collegata idea che il MCD serva fondamentalmente solo per ridurre le frazioni ai minimi termini – due diffusi standard nel *folklore* della didattica secondaria – lasciano il tempo che trovano.

## Appendice

Riportiamo, nel latino originale,<sup>24</sup> il passo in cui Pascal (Pascal, 1654) illustra il suo criterio di divisibilità per 7. Dato  $n = 287542178$ , Pascal somma le cifre “rovesciate” moltiplicate per i coefficienti della sua tabella (cf. Fig. 1):  $(8, 7, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 2) \times (1, 3, 2, 6, 4, 5, 1, 3, 2) = 119$ ; iterando la procedura su 119 trova 14, ed infine prova, “più per curiosità che per altro”, che 14 è un multiplo di 7, per cui conclude che  $n$  è divisibile per 7.

### EXEMPLIS GAUDEAMUS.

QUÆRO, QUI SINT NUMERI MULTIPLICES NUMERI 7.

Jam proponatur numerus quilibet, 287642178, de quo quæritur utrum exactè dividatur per 7; hoc sic agnoscetur.

Sumatur *semel* dextrâ ad sinistram, nempe 8, *primo enim numero seriei continuæ subjacet unitas*. Quare ponatur ille 8, primus character *semel* ..... 8.

Secundus, qui est 7, *ter* sumatur, seu per 3 multiplicetur, *secundo enim numero seriei subjacet 3*, sitque productus ..... 21.

Tertius *bis* sumatur, *subjacet enim 2 ipsi 3*, quare tertius character qui est 1, per 2 multiplicatus, sit ..... 2.

Quartus eâdem ratione per 6 multiplicatus ..... 12.

Quintus per 4 multiplicatus ..... 16.

Sextus per 5 multiplicatus ..... 25.

Septimus *semel*, *septimo enim subjacet 1* ..... 7.

Octavus *ter* sumptus ..... 24.

Nonus *bis* sumptus, ..... 4.

Et sic deinceps si superessent. Jungantur hi numeri ..... 119.

Si ipse aggregatus 119 est multiplex ipsius 7, numerus quoque propositus, 287542178, ejusdem 7 multiplex erit.

Potest autem dignosci eâdem methodo, utrum ipse 119 sit multiplex 7, scilicet sumendo *semel* primum characterem ..... 9.

secundum characterem *ter* ..... 3.

et præcedentem *bis* ..... 2.

14.

Si enim summa 14 est multiplex 7, erit et 119 ejusdem multiplex.

Sed et si, curiositate potius quam necessitate moti, velimus agnoscere utrum 14 sit multiplex 7, sumatur character ultimus

*semel* ..... 4.

et præcedens *ter* ..... 3.

7.

Si summa est multiplex ipsius 7, erit et 14 multiplex 7, quare et 14, et 119, et 287542178.

<sup>24</sup> Cf. [fr.wikisource.org/wiki/Page:Cœuvres\\_de\\_Blaise\\_Pascal,\\_III.djvu/343](http://fr.wikisource.org/wiki/Page:Cœuvres_de_Blaise_Pascal,_III.djvu/343) e 344. Visitato il 10 marzo 2024.

### **Ringraziamenti**

Devo ringraziare Carla Fiori, dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, e Maurizio Rinaldi, dell'Università degli Studi del Piemonte Orientale, per le tante conversazioni e per gli utili suggerimenti su vari aspetti, sia matematici che storici, della nota. Ed esprimo infine un sincero ringraziamento al prof. Giovanni Tosatti, in modo speciale per la pazienza con cui mi ha guidato nel rispetto delle norme redazionali.

### **Bibliografia**

- BLANKINSHIP W. A., 1963 – *A New Version of the Euclidean Algorithm*, Amer. Math. Monthly, **70**, pp. 742–745.
- BRUSADIN G., INVERNIZZI S., 2010 – *On the origin of the 97/400 leap years rule in the Gregorian calendar*, Atti Soc. Nat. Mat. Modena, **141**, pp. 261–270.
- DIKSON L.E., 1919 – *History of the Theory of Numbers*, Vol. 1: *Divisibility and primality*, Carnegie Institution of Washington, p. 339.  
In: <https://archive.org/details/historyoftheoryo01dick/page/338/mode/2up>.  
Visitato il 31 ottobre 2022. Cf. Chelsea Publishing Co., New York, 1966.
- MCDOWELL E.L., 2018 – *Divisibility Tests: A History and User's Guide*, Convergence (May 2018). In: [maa.org/press/periodicals/convergence/divisibility-tests-a-history-and-users-guide](http://maa.org/press/periodicals/convergence/divisibility-tests-a-history-and-users-guide). Visitato il 10 marzo 2024.
- MILLER G.A., 1956 – *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*, Psychol. Rev., **63** (2), pp. 81–97.
- PASCAL B., 1654 – *De numeris multiplicibus ex sola characterum numericorum additione agnoscendis*, Œuvres, t. III, p. 314, éd. L. Brunschvicg.  
In: [fr.wikisource.org/wiki/Œuvres\\_de\\_Blaise\\_Pascal/Tome\\_3/Texte\\_entier](http://fr.wikisource.org/wiki/Œuvres_de_Blaise_Pascal/Tome_3/Texte_entier).  
Visitato il 10 marzo 2024.
- R CORE TEAM, 2021 – R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.  
URL: <https://www.R-project.org/>.
- TALMUD – Talmud, b. In: [https://www.sefaria.org/Avodah\\_Zarah.9b](https://www.sefaria.org/Avodah_Zarah.9b). Visitato il 7 marzo 2024.
- ZBIKOWSKI A., 1861 – *Note sur la divisibilité des nombres*, Bull. Acad. Imp. Sci. Saint-Petersbourg, **3**, pp. 151–153.
- VAN ROSSUM G., DRAKE F. L., 2009 – *Python 3 Reference Manual*, CreateSpace, Scotts Valley, California.





**Gianni Graziosi\***

## Che cos'è un elemento?

### **Riassunto**

*Il concetto di elemento chimico ha subito una costante evoluzione nel corso della storia. Dal concetto filosofico di ἔργη dell'antica Grecia, la nozione di elemento si è modificata e adattata alle conoscenze che via via venivano acquisite. Lavoisier identificò gli elementi come sostanze semplici, isolabili e non più scomponibili mediante procedimenti chimici. Con Mendeleev ricomparve una concezione astratta. Il chimico austriaco Paneth riprese il concetto suggerito dal chimico russo proponendo l'uso dell'espressione "sostanza di base" per indicare l'elemento, un'entità immateriale caratterizzata da un numero atomico. Fino a giungere al significato di elemento secondo il Gold Book della IUPAC (Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata). Un concetto che è stato continuamente ridefinito viene esposto e chiarito attraverso le scoperte, i simboli e i nomi degli elementi chimici.*

### **Abstract**

***What is an element?** The concept of a chemical element has undergone constant evolution in the course of history. From the philosophical ἔργη of ancient Greece, the notion of the element has changed and has been adapted as new discoveries were made. Lavoisier identified elements with simple substances that could be isolated and could not be further broken down by chemical procedures. Mendeleev reintroduced an abstract conception. The Austrian chemist Paneth took up the concept put forward by the afore mentioned Russian chemist and suggested using the expression "base substance" in order to define an element, an incorporeal substance that is characterised by an atomic number. Therefore, finally we reach the definition of element according to the Gold Book of the IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). A concept that has been continually redefined is exposed and clarified through the discoveries, symbols and names of chemical elements.*

**Parole chiave:** *Elementi chimici, storia dei nomi, storia della chimica, tavola periodica, radioattività, isotopi*

**Keywords:** *Chemical elements, naming history, history of chemistry, periodic table, radioactivity, isotopes*

---

\* Già docente di Chimica, via U. Foscolo 136, 41058 VIGNOLA (MO); e-mail: graziosigi@libero.it.

## 1. Introduzione

*Mia madre mi mostrò che quando lo stagno o lo zinco venivano piegati emettevano un “grido” particolare. «Dipende dalla deformazione della struttura cristallina» – mi spiegava – dimenticando che avevo solo cinque anni e non potevo capire le sue parole; ciò nondimeno, esse mi affascinarono e suscitavano in me il desiderio di saperne di più (Sacks, 2002).*

“Elemento”: questo sostantivo di uso comune ha innumerevoli significati e spesso si fatica a capirne il concetto chimico. Può indicare l’ambiente o il mezzo in cui vivono determinati animali: i pesci vivono nell’acqua che è il loro elemento. Nell’espressione “la furia degli elementi” ci si riferisce ai fenomeni naturali che causano tempeste e inondazioni. Può volere indicare le parti che costituiscono un meccanismo, un oggetto, un edificio. In linguistica qualsiasi parte di una frase o di una parola che, attraverso l’analisi, si può isolare dalle altre. È pure usato in economia, in matematica e in senso astratto. Elemento può riferirsi ad una persona, a un individuo: quello studente è uno dei migliori elementi dell’istituto; nel quartiere di notte circolano degli elementi poco raccomandabili. Persino in un contesto strettamente chimico ha un doppio significato. Gli elementi della chimica sono i principi fondamentali della scienza chimica, ma gli elementi chimici sono un gruppo di sostanze semplici dalle quali derivano tutte le sostanze conosciute che si trovano in natura. La domanda “che cos’è un elemento?” naturalmente si riferisce al secondo significato. Forse oggi questa domanda può apparire ridicola, ma i nostri antenati la ritenevano complicata.

## 2. Primi elementi

Diversi pensatori greci si interrogarono sulla natura dell’universo e sostennero che all’origine di tutti i corpi materiali vi fosse un unico principio chiamato *archè* (ἀρχή), vocabolo greco che significa “principio, origine”. Esso era immutabile e incorruttibile, nonostante i cambiamenti e le numerose forme che la materia poteva assumere. Aristotele (384-322 a.C.), nella *Metafisica*, ricostruisce la genesi delle prime filosofie scorgendo, nella ricerca dell’*archè*, il motivo unificante delle varie teorie:

*La maggior parte di coloro che primi filosofarono pensarono che i principi di tutte le cose fossero solo quelli materiali. Infatti essi affermano che ciò di cui tutti gli esseri sono costituiti e ciò da cui derivano originariamente e in cui si risolvono da ultimo, è elemento ed è principio degli esseri, in quanto è una realtà che permane identica pur nel tramutarsi delle sue affezioni. [...] Tuttavia, questi filosofi non sono tutti d’accordo circa il numero e la specie di un tale principio. Talete, iniziatore di questo tipo di filosofia, dice che quel principio è l’acqua<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Aristotele, *Metafisica*, I, 3, 983b 5-20.

Talete di Mileto (VII-VI secolo a.C.), filosofo, astronomo e matematico greco, sosteneva che l'*archè* coincidesse con l'acqua. Egli si convinse di questo fatto osservando che il nutrimento di tutti esseri viventi è in buona parte costituito da tale sostanza e che i semi, per germogliare, necessitano di umidità. Secondo Anassimene di Mileto (ca. 586-528 a.C.) e Diogene di Apollonia (V secolo a.C.) invece tale sostanza era l'aria che poteva essere compressa fino ad ottenere altre sostanze più dense come l'acqua e la terra. Eraclito di Efeso (ca. 540-480 a.C.) e Ippaso di Metaponto (ca. 530-450 a.C.) erano convinti che l'*archè* fosse il fuoco. Anche il filosofo greco Empedocle (ca. 495-435 a.C.), che visse ad Akragas (Agrigento), affrontò il problema dell'elemento che doveva essere alla base dell'universo. Non riuscendo a decidere tra le varie alternative egli raggiunse una soluzione, per così dire, di compromesso e decise che i principî erano quattro aggiungendo all'acqua, all'aria e al fuoco, la terra. Il filosofo greco Platone (V-IV secolo a.C.) sostanzialmente accettò la dottrina di Empedocle e nel *Timeo* (360 a.C.), dialogo che tratta della cosmologia e della struttura della materia, scrisse:

*E in questo modo e di così fatti elementi, quattro di numero, fu generato il corpo del mondo, concorde per proporzione, e però ebbe tale amicizia che riunito con sé nello stesso luogo non può essere disciolto da nessun altro, se non da quello che l'ha legato. La composizione del mondo ricevette per intero ciascuno di questi quattro elementi. Perché l'artefice fece il mondo di tutto il fuoco e l'acqua e l'aria e la terra, senza lasciare fuori nessuna parte o potenza di nessuno di essi, [...]»<sup>2</sup>.*

Platone associava ciascun poliedro regolare convesso a un elemento: il fuoco al tetraedro, la terra al cubo, l'aria all'ottaedro e l'acqua all'icosaedro. «*Restava una quinta combinazione e demiurgo se ne giovò per decorare l'universo*»<sup>3</sup>, si trattava del quinto poliedro regolare, il dodecaedro, che il filosofo associò all'immagine del cosmo intero.

Anche Aristotele, famoso allievo di Platone, accettò la dottrina dei quattro elementi di Empedocle e, a ognuno di essi, attribuiva due delle quattro qualità, caldo, freddo, secco e umido, che la materia secondo lui possedeva. Il fuoco era associato al caldo e al secco, l'aria al caldo e all'umido, l'acqua al freddo e all'umido e la terra al freddo e al secco. Inoltre sosteneva che ogni elemento tende a stare o a tornare in quello che sarebbe il suo luogo naturale; la terra e l'acqua verso il basso, l'aria e il fuoco, al contrario, verso l'alto. Inoltre ai quattro elementi di Empedocle ne aggiunse un quinto la cosiddetta *quintessenza* o *etere*. Esso è «*il corpo primo dunque è eterno, non s'accresce e non diminuisce,*

<sup>2</sup> Platone, *Timeo* [VII].

<sup>3</sup> Platone, *Timeo* [XX].

e non è soggetto ad invecchiamento, alterazione o altre affezioni»<sup>4</sup>, e non esiste sulla Terra. L'etere sarebbe quindi stato l'elemento di cui erano costituite le sfere celesti, le parti dell'universo che si trovavano fuori dalla sfera sublunare, perfette ed immutabili. Le idee filosofiche di Aristotele assunsero un carattere quasi dogmatico fino al Rinascimento e così, per quasi duemila anni, i quattro elementi furono accettati come i costituenti ultimi della materia.

In realtà alcune delle sostanze che oggi vengono classificate come elementi erano già conosciute nell'antichità, ma i nostri antenati non le avevano riconosciute come tali. Le prime tracce del fatto che l'uomo iniziò ad isolare e lavorare oro, rame e argento risalgono all'Età del Rame (detto anche Calcolitico), un periodo preistorico collocabile al V-IV millennio a.C. Questi elementi hanno una caratteristica comune, si possono trovare in natura allo stato nativo, ossia allo stato metallico. L'uso del piombo è di poco posteriore a quella del rame e, considerato che in natura non è presente allo stato nativo, fu probabilmente uno dei primi metalli ad essere stato estratto per fusione con elementari processi metallurgici (Andreoni, 2012). All'Età del Bronzo, periodo che si protrasse dal 3500 al 1100 a.C. circa, può essere fatto risalire l'impiego dello stagno assieme al rame per ottenere una lega metallica con cui si produssero utensili, armi, ornamenti: il bronzo. La capacità di estrarre il ferro dai suoi minerali risale al 2000-1500 a.C. quando i popoli dell'Asia Minore, in particolare i Calibi e gli Ittiti, utilizzarono la siderurgia per fabbricare armi. Il mercurio, già noto in tempi antichi in Cina e India, è stato rinvenuto in Egitto in tombe del Nuovo Regno risalenti al 1500 a.C. Inoltre gli antichi conoscevano il carbonio sotto forma di carbone e lo zolfo che viene citato anche nel libro della Genesi.

L'alchimia è stata un fenomeno complesso, con origini che affondano nel passato, un'antica disciplina, un misto di scienza, filosofia e magia, che mirava al rinnovamento spirituale dell'uomo attraverso lo studio delle trasformazioni materiali. Gli alchimisti, pur con tutti i loro limiti e falsi concetti da cui partivano, ebbero tuttavia il merito di dare ampio spazio alla sperimentazione e, sotto certi aspetti, l'alchimia è stata la precorritrice della chimica come scienza moderna. Ad essa dobbiamo molto: l'invenzione di apparecchiature, la scoperta di varie tecniche di laboratorio (calcinazione, distillazione, purificazione), il miglioramento dei procedimenti metallurgici, la lavorazione dei metalli, la scoperta di nuove sostanze e nuove tecniche di tintura delle stoffe e del vetro. Lo studioso islamico Abū Mūsā Jābir ibn Hayyān al-Azdī (VIII-IX sec.), nome latinizzato in Geber, ai cinque elementi della tradizione greca aggiunse due principî lo zolfo e il mercurio che, secondo le sue teorie, erano i costituenti dell'oro (Fuso, 2019). Per combinarli però era necessario un principio, l'*elisir*, che venne identificato con la pietra filosofale, in grado, tra l'altro, di garantire vita eterna.

<sup>4</sup> Aristotele, *Del cielo*, I, 270 b.

Nel Cinquecento il medico, alchimista, filosofo svizzero Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541), universalmente noto con il nome di Paracelso, aggiunse agli elementi un terzo principio che chiamò sale. Zolfo, mercurio e sale costituivano la cosiddetta *tria prima*, la quale includeva quelli che erano considerati i tre fattori primari del cosmo e dell'essere umano, ossia l'anima, lo spirito e il corpo (Fuso, 2019). Il sale rappresentava tutto quello che era inalterabile e incombustibile, invece lo zolfo era il responsabile dell'infiammabilità e della combustione, infine il mercurio era il principio responsabile della fusibilità e della volatilità. Paracelso, probabilmente, fu una delle figure che ebbe la più profonda influenza sull'evoluzione dell'alchimia. Pur credendo nella trasmutazione dei metalli riteneva che il vero scopo dell'alchimia fosse lo sviluppo di una medicina efficace in quanto permetteva di ricavare dei medicinali dai minerali. Paracelso è considerato il fondatore della cosiddetta *iatrochimica* e pose le basi della moderna farmacologia contestando fortemente le teorie vitalistiche allora dominanti. Secondo la sua dottrina le proprietà di ogni sostanza erano apprese con *ratio et experientia*, il medico doveva manipolare i componenti messi a disposizione dalla natura al fine di ottenere un medicamento.

Alla fine del Medioevo la lista degli elementi includeva antimonio, arsenico, bismuto e zinco. La preparazione dell'arsenico fu descritta nel 1250 dal domenicano Albert Graf von Bollstädt (ca. 1193-1280) – ossia Alberto Magno – pur essendo già noti da molto tempo alcuni suoi composti. La scoperta del bismuto, conosciuto fin dall'antichità, non è attribuita a nessuno, nel testo *De Natura Fossilium* (1546), Georg Agricola (1494-1555) affermava che il *bisemutum* (detto anche *plumbum cinereum*) era un metallo distinto da stagno e piombo (Cervellati, 2020). Nel 1753 il chimico francese Claude François Geoffroy (1729-1753) dimostrò definitivamente che il bismuto era un metallo diverso da piombo e stagno. Un discorso a parte merita lo zinco; le sue leghe sono state usate fin dall'antichità, come, ad esempio, l'*orichalcum*<sup>5</sup> con cui i romani coniarono monete, il sesterzio ed il dupondio, ma, a causa del basso punto di ebollizione e della reattività chimica, gli antichi non ne scoprirono la vera natura metallica. Fu utilizzato come componente dell'ottone fin dall'antichità (prima del 1000 a.C.) dai metallurgisti indiani (Biswas, 1993) senza però averne compresa la sua vera natura. In occidente l'alchimista Paracelso fu il primo ad indicare chiaramente che lo zinco era un metallo nuovo e aveva proprietà distinte dagli altri metalli conosciuti. Infine il chimico tedesco Andreas Marggraf (1709-1782), nel 1746, pubblicò le sue scoperte sul metodo per estrarre lo zinco dalla calamina, silicato basico di zinco  $(\text{ZnOH})_2\text{SiO}_3$ .

<sup>5</sup> Oriccalco, un'antica lega metallica di rame e zinco, simile all'ottone, utilizzata anticamente per la fabbricazione di strumenti musicali e per coniare monete.

Il primo elemento la cui scoperta può essere con certezza collegata al nome dello scopritore, l'alchimista tedesco Henning Brande (ca. 1630-1710), è il fosforo (P). Egli, nel 1669, riscaldando dell'urina concentrata, nel tentativo di ricercare la pietra filosofale, una sostanza capace di donare vita eterna e trasformare il piombo in oro, individuò nel residuo una particolare sostanza che splendeva di luce propria, da lui denominata *fuoco freddo* (Ciardi, 2019).

### 3. Elementi secondo Robert Boyle

Una delle figure che diede un contributo fondamentale al passaggio dall'alchimia, alla chimica moderna, intesa come scienza della materia, fu sicuramente l'irlandese Robert Boyle (1627-1691). Tra le sue numerose opere, sia di carattere scientifico sia di natura teologico-filosofico, la più famosa, per la quale spesso è ricordato, è *The Sceptical Chymist or Chymico-Physical Doubts and Paradoxes (Il chimico scettico ossia dubbi e paradossi chimico-fisici)* del 1661. L'opera (Fig. 1) è scritta sotto forma di dialogo tra il filosofo antico Carneade, che esprime le convinzioni di Boyle, e altri tre personaggi, il sostenitore di Aristotele, Temistio, il seguace di Paracelso, Filopono, e il libero pensatore e giudice imparziale, Eleuterio. L'obiettivo dell'opera era una critica al concetto della materia accettato dagli alchimisti e, in particolare, all'idea dei quattro elementi di Aristotele e a quella dei tre principî di Paracelso. In tale opera si può leggere:

*E per prevenire eventuali errori, devo avvertirvi che, in accordo con quei chimici che parlano più chiaramente dei loro principî, io intendo per elementi certi corpi semplici e primigeni, o assolutamente non mescolati, che, non essendo composti da nessun altro corpo, né l'uno dall'altro, costituiscono gli ingredienti dei quali si compongono immediatamente tutti quanti i corpi considerati perfettamente misti, e nei quali questi ultimi vengono in ultimo risolti. Ora, ciò che cerco di stabilire è se vi sia qualcuno di questi corpi che sia costantemente riconducibile in tutti, e in ognuno dei cosiddetti corpi composti (Boyle, 1661, pp. 249-250).*

Molti storici della scienza hanno visto in questa definizione un'anticipazione del moderno concetto di elemento; tuttavia secondo altri storici il concetto di elemento è ancora lontano da quello attuale. Secondo quest'ultima interpretazione per Boyle la materia non è tanto costituita da elementi, ma da particelle uniformi che si possono unire fra loro per formare gli altri corpi (Fuso, 2019). Il filosofo Carneade, che ricordo esprime le idee di Boyle, mentre passeggia espone ai suoi compagni di discussione alcune premesse:

*Preposizione 1. Non è assurdo pensare che durante la prima formazione dei corpi misti la materia universale di cui essi, fra le tante cose dell'universo, sono*

composti, sia stata effettivamente suddivisa in piccole particelle di forma e dimensioni particolare, e mosse da moto vario (Boyle, 1661, p. 51).

Preposizione 2. Non è neppure impossibile che diverse di queste minuscole particelle fra le più piccole e vicine si siano associate qua e là in piccole masse, o grappoli, e con la loro unione abbiano costituito grandi ammassi di certe piccole concrezioni primarie, o masse, non tanto facilmente scomponibili in quelle particelle che, unendosi, le avevano costituite (Boyle, 1661, p. 52).

Preposizione 3. Non voglio perentoriamente negare che, con l'aiuto del fuoco, non si possa ottenere da quei corpi misti che partecipano sia alla natura animale che a quella vegetale, un certo numero (che può essere 4, o 5, o 6, o giù di lì) di sostanze che meritano denominazioni diverse (Boyle, 1661, p. 56).

Preposizione 4. Si può verosimilmente ammettere che queste sostanze distinte, che generalmente producono o di cui sono fatti i concreti, possano essere definite, senza troppa sconvenienza, loro elementi o principî (Boyle, 1661, p. 56).

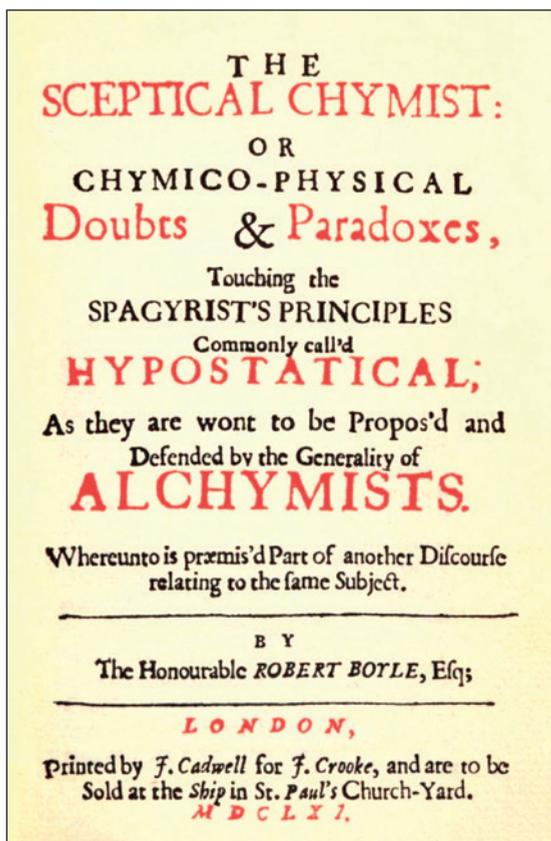


Fig. 1 – Frontespizio dell'opera di R. Boyle: "The Sceptical Chymist..." (1661).

Boyle, figlio del suo tempo, era ancora legato ad alcune concezioni alchemiche, ad esempio, credeva nella trasformazione dei metalli vili in oro, ma nello stesso tempo rappresenta una fondamentale figura del passaggio dall'alchimica alla chimica moderna.

#### 4. Teoria del flogisto

Lo sviluppo della metallurgia, a partire dal secolo XIV, aveva spinto gli artigiani e gli studiosi a interessarsi della combustione e della calcinazione. Si sapeva che un metallo sottoposto all'azione del fuoco, in presenza di aria atmosferica, si trasformava in una calce. Viceversa la calce sottoposta all'azione del fuoco in presenza di carbone rigenerava il metallo. La prima interpretazione dei due fenomeni si deve al medico e chimico tedesco Georg Ernst Stahl (1659-1734) che, per la prima volta, nella sua opera sulla fermentazione, *Zymotechnia fundamentalis, seu fermentationis theoria generalis* (1697) (Chang, 2002), propose di chiamare il principio infiammabile o *terra pinguis*<sup>6</sup>, con il nome di flogisto. La teoria del flogisto riusciva a spiegare bene il processo di combustione. Secondo Stahl durante la combustione ogni sostanza liberava nell'aria il flogisto; questo fatto spiegava sia la perdita di peso sia il fatto che le ceneri non erano più in grado di bruciare perché prive di flogisto. Anche la calcinazione veniva interpretata; un metallo riscaldato perdeva flogisto e si trasformava in calce (oggi diremmo ossido), in altre parole si comportava in modo simile ad una sostanza che brucia. Questa teoria spiegava in modo ragionevole anche le reazioni che permettevano di ottenere il metallo da un minerale. Quando si scaldava un minerale in presenza di carbone, sostanza ricca di flogisto, questi lo cedeva al minerale che, di conseguenza, rigenerava il metallo mentre il carbone dava origine alla cenere povera di flogisto. Vale la pena evidenziare che nella teoria di Stahl l'aria non aveva nessun ruolo attivo nei processi di combustione, aveva solamente un ruolo intermediario, in pratica raccoglieva flogisto dalle sostanze che ne erano ricche e lo cedeva a quelle che ne erano prive. Tuttavia i chimici del tempo erano perfettamente consapevoli che le calci ottenute per riscaldamento dei metalli pesavano di più dei rispettivi metalli di partenza. Per conciliare l'aumento di peso con la prevista perdita di flogisto durante la calcinazione fu ipotizzato che esso avesse peso negativo.

#### 5. Lavoisier e la rivoluzione chimica

La teoria dominante nel XVIII secolo, nell'ambito della ricerca chimica,

---

<sup>6</sup> Nel 1669 l'alchimista tedesco Johann Joachim Becher (1633-1682) sostituì all'elemento aristotelico fuoco un nuovo principio infiammabile, la *terra pinguis*.

fu quella elaborata da Stahl capace di giustificare, in maniera coerente e unitaria, i processi di combustione e di calcinazione tramite un principio materiale combustibile chiamato flogisto. Le scoperte settecentesche riguardanti lo stato gassoso cambiarono in modo irreversibile le teorie della materia. Nel 1752, il medico scozzese Joseph Black (1728-1799) scoprì una sostanza aeriforme, diversa dall'aria comune, che chiamò *aria fissata* o *fissa* (anidride carbonica) e ne descrisse le proprietà (Ciardi, 2008, p. 43). Questa scoperta suscitò notevole interesse e numerosi cultori delle scienze si interessarono allo studio dell'aria e del suo comportamento. Nei decenni successivi vennero scoperte rapidamente varie *arie*. Alessandro Volta (1745-1827), nel 1776, rimestando il terreno fangoso delle zone paludose scoprì un nuovo gas che nominò *aria infiammabile delle paludi*, vale a dire metano (Ciardi, 2008). Nel 1766 il fisico inglese Henry Cavendish (1731-1810) annunciava la scoperta di un'*aria infiammabile* (idrogeno) ed era convinto di essere riuscito finalmente a isolare il flogisto, ossia il principio fondamentale sul quale si basava la teoria di Stahl. Nel 1772 lo scozzese Daniel Rutherford (1749-1819) scoprì un nuovo aeriforme che chiamò *aria mefitica* o *mofette* o *flogisticata* (azoto). Nel 1771 il chimico svedese Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), per primo, riscaldando ossido di mercurio, isolò l'ossigeno che chiamò *aria di fuoco*, ma la sua scoperta non fu pubblicata fino al 1777. Pochi anni dopo, nel 1774, questo gas fu riscoperto da Joseph Priestley (1733-1804); considerato che esso aveva la capacità di mantenere viva la combustione, Priestley seguace della teoria di Stahl, lo chiamò *aria deflogisticata*.

Anche il chimico, filosofo, naturalista ed economista francese Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) si interessò allo stato gassoso e, attraverso numerosi esperimenti condotti con l'aiuto della moglie Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1836), riuscì a tracciare una nuova immagine della scienza che segnò un netto taglio con il passato, una vera e propria *rivoluzione chimica*. Egli si convinse che i processi di combustione e calcinazione andavano attribuiti alla fissazione di un'*aria* specifica, diversa da quella atmosferica. Scopri che lo zolfo, sottoposto a combustione, aumentava di peso e si trasformava in acido *vetriolico*, assorbendo una notevole quantità di aria che si fissava in esso ed era responsabile del suo aumento di peso. Anche il fosforo si comportava allo stesso modo. Dopo la scoperta di Priestley, Lavoisier si rese conto che le caratteristiche dell'*aria deflogistica* consentivano di chiarire la combustione, la quale non comportava la perdita di una sostanza, ma comportava la combinazione con una parte dell'aria, un gas per il quale conìò il nome di *oxygène* (generatore di acidi) (Lavoisier, 1789, p. 55). Lavoisier capì che l'aria atmosferica era un miscuglio di gas composto principalmente da 4/5 di aria *flogisticata* o *mofeta*, ossia azoto, e da 1/5 di aria *deflogisticata*, aria respirabile, ossigeno.

Dalla combustione dell'*aria infiammabile* con l'*aria deflogisticata* Henry Cavendish (1731-1810) arrivò alla conclusione che l'acqua era il risultato della

combinazione delle due *arie*. Lavoisier rifece gli esperimenti di Cavendish confermando che l'acqua era il risultato dell'unione di due sostanze elementari ben diverse da quelle indicate dalla tradizione, l'ossigeno e l'idrogeno. Egli assegnò all'*aria infiammabile*, il nome *hydrogène*, perché dalla sua combustione si generava acqua.

Nel 1787 pubblica l'opera *Méthode de nomenclature chimique* (Fig. 2), scritta assieme a Claude Louis Berthollet, in cui sostiene la necessità di procedere ad una nuova nomenclatura chimica, così come aveva fatto il grande naturalista svedese Carl von Linné (1707-1778) nell'ambito della botanica, che permettesse di riconoscere in modo semplice e chiaro le sostanze. Ogni chimico utilizzava un proprio linguaggio e non esisteva il minimo accordo sui principî fondamentali della scienza chimica. I termini come quelli di *polvere di Algaroth*, *sale Alembroth*, *Pompholix*, *acqua fhagédénique*, *turbith minerale*, *colcothar* e molti altri andavano semplicemente eliminati (Lavoisier, 1787, p. 24). Come pure i nomi di *olio di tartaro*, *olio di vetriolo*, *burri di arsenico* e di *antimonio*, *fiori di zinco* ecc. che: «*sont plus ridicules encore, parce qu'ils font naître des idées fausses ; parce qu'il n'existe, à proprement parler, dans le règne minéral, & surtout dans le règne métallique, ni beurre, ni huile, ni fleurs ; enfin parce que les substances qu'on désigne sous ces noms trompeurs, sont la plupart de violents poisons*» (Lavoisier, 1787, pp. 24-25). La creazione di un linguaggio semplice e univoco era necessaria per caratterizzare la chimica come una disciplina sperimentale. Un modo di comunicare ben lontano dalla confusione terminologica che caratterizzava i testi alchemici, nei quali si trovavano espressioni vaghe ed assurde, nomi ridicoli ed insignificanti, inoltre una stessa sostanza poteva essere indicata con molti nomi differenti.

Adottando un punto di vista sicuramente empiristico Lavoisier cercò di eliminare la concezione filosofica dell'elemento come entità astratta sostituendola con il concetto di sostanza materiale semplice, isolabile, non ulteriormente decomponibile con proprietà osservabili. Nel suo *Traité élémentaire de chimie* scrisse:

*Je me contenterai donc de dire que si par le nom d'éléments, nous entendons désigner les molécules & indivisibles qui composent les corps, il est probable que nous ne les connaissons pas: que si au contraire nous attachons au nom d'éléments ou de principes des corps l'idée du dernier terme auquel parvient l'analyse, toutes les substances que nous n'avons encore pu décomposer par aucun moyen, son pour nous des éléments; non pas que nous puissions assurer que ces corps que nous regardons comme simples, ne soient pas eux-mêmes composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes*<sup>8</sup> (Lavoisier, 1793, p. XVII).

<sup>7</sup> “Sono ancora più impropri perché danno origine a false idee; perché non esistono, propriamente parlando, nel regno minerale e soprattutto in quello metallico, né burro, né olio, né fiori; infine perché le sostanze che designiamo con questi nomi forvianti sono potenti veleni”.

<sup>8</sup> “Mi accontenterò quindi di dire che con il nome di elementi intendiamo designare le molecole semplici

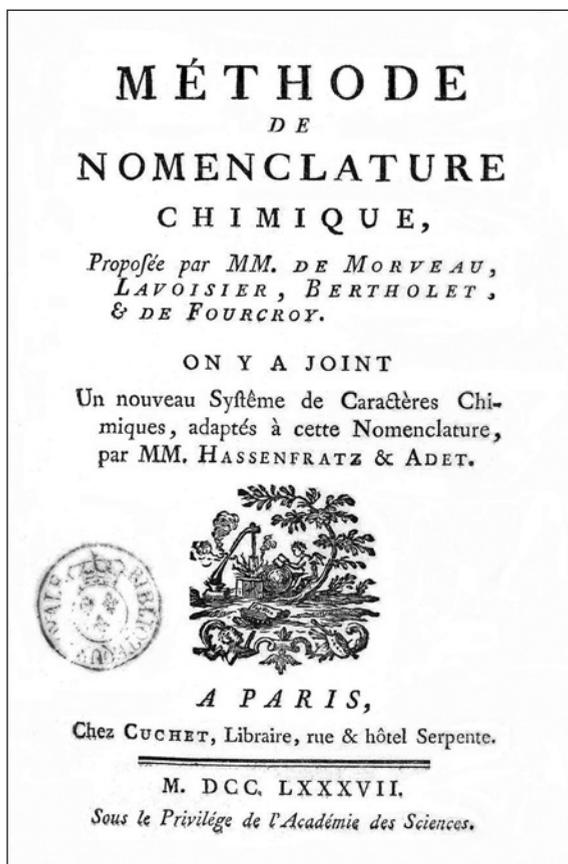


Fig. 2 – Frontespizio del testo “Méthode de nomenclature chimique”, Parigi, 1787.

Pertanto l'elemento è individuabile solo sulla base di dati sperimentali, una sostanza semplice che non può essere ulteriormente decomposta con procedimenti chimici. L'elenco degli elementi proposto da Lavoisier, nel suo trattato, ne comprendeva 33: tre gas a cui egli stesso aveva dato il nome ossigeno, azoto e idrogeno; tre non metalli zolfo, fosforo e carbonio; diciassette metalli<sup>9</sup>; i

e indivisibili che compongono i corpi, è probabile che non li conosciamo: se al contrario attribuiamo il nome di elementi o di principî dei corpi l'idea del termine ultimo al quale perviene l'analisi, tutte le sostanze che non siamo ancora riusciti a decomporre in alcun modo, sono per noi degli elementi; questo però non significa che noi abbiamo la certezza che tali corpi, che consideriamo semplici, non siano composti essi stessi da due o anche più principî”.

<sup>9</sup> Antimonio, argento, arsenico, bismuto, cobalto, rame, stagno, ferro, manganese, mercurio, molibdeno, nichel, oro, platino, piombo, tungsteno e zinco.

radicali muriatico, fluorico e boracico; cinque “terre” calce, magnesia, barite, allumina e silice; luce e calore. Lavoisier era convinto che i radicali e le terre contenessero nuovi elementi che presto sarebbero stati isolati. Grazie alla sperimentazione e all’uso di bilance egli dimostrò che in una reazione chimica la massa totale delle sostanze ottenute era identica alla somma di quelle dei reagenti di partenza. In questo modo fu in grado di verificare l’impossibilità della trasmutazione degli elementi, tanto cara agli alchimisti.

Tra le tante attività Lavoisier fu anche esattore delle imposte e questo gli costò la vita. Arrestato per la sua appartenenza all’organizzazione dei *fermier general* (esattori) durante la monarchia, venne processato, condannato e ghigliottinato (8 maggio 1794) durante il periodo del Terrore della Rivoluzione francese, di cui era stato parte intellettuale. Secondo quanto ci è stato tramandato, il matematico Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), suo contemporaneo, si rammaricò della decapitazione commentando: «*il ne leur a fallu qu’un moment, me disait-il, pour faire tomber cette tête, et cent années peut-être ne suffiront pas pour en reproduire une semblable*»<sup>10</sup> (Delambre, 1867).

## 6. Scoperta di nuovi elementi

Alessandro Volta, nel marzo del 1800, inviò una lettera a sir Joseph Banks, presidente della Royal Society di Londra, annunciando una sorprendente scoperta relativa all’elettricità:

*À Côme en Milanois, ce 20me Mars, 1800*

*Après un long silence, dont je ne chercherai pas à m’excuser; j’ai le plaisir de vous communiquer, Monsieur, et par votre moyen à la Société Royale, quelques résultats frappants auxquels je suis arrivé, en poursuivant mes expériences sur l’électricité par le simple contact mutuel des métaux de différente espèce, et même par celui des autres conducteurs, aussi différents entr’eux, soit liquides, soit contenant quelque humeur; à laquelle ils doivent proprement leur pouvoir conducteur. [...] Mais laissons maintenant la torpille, et son organe électrique naturel, et revenons à l’organe électrique artificiel de mon invention, et particulièrement à celui qui imite le premier; même par la forme, (car celui a gobelets s’en éloigne à cet égard) revenons à mon premier appareil à colonne (Volta, 1800, pp. 403 e 417).*

Nella sua comunicazione Volta annunciava alla comunità scientifica l’invenzione di un generatore continuo di elettricità o pila, che lui definiva *organe électrique artificiel* e paragonava all’*organe électrique naturel* della torpedine (*Torpedo torpedo*). Il geniale chimico inglese Humphry Davy (1778-1829), dopo aver letto questa lettera, si convinse che un fenomeno chimico fosse il

<sup>10</sup> “È bastato un istante perché gli staccassero la testa, e forse non basteranno cento anni per averne una simile”.

responsabile della produzione di elettricità. Egli suppose quindi che potesse essere vero anche il contrario, ossia che certe sostanze potessero essere isolate impiegando l'elettricità. Usando batterie, sul modello di quella costruita da Volta, riuscì a scoprire il sodio e il potassio nel 1807, successivamente il calcio, il bario, lo stronzio, il magnesio e il boro; chiari inoltre la natura elementare del cloro e dello iodio. Davy, oltre ad aver isolato o scoperto vari elementi, è famoso per aver inventato una primissima forma di lampada ad arco e, soprattutto, per la lampada di sicurezza per i minatori; per primo comprese l'importanza delle interazioni elettriche nella chimica. Egli riuscì a stabilire che l'acido cloridrico non contiene ossigeno, smentendo in questo modo l'affermazione di Lavoisier secondo la quale tutti gli acidi contenevano ossigeno; inoltre descrisse le potenziali proprietà anestetiche del protossido di azoto ( $N_2O$ ), *gas esilarante* già scoperto, nel 1772, da Priestley e denominato *aria nitrosa deflogisticata*.

Il sodio e il potassio ottenuti da Davy si dimostrarono metalli estremamente reattivi e riducenti energetici. Essi furono quindi utilizzati per separare nuovi elementi dai rispettivi composti. Il chimico svedese Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), utilizzando il potassio come agente riducente, riuscì a isolare il silicio, lo zirconio, il torio, il selenio. L'alluminio, pur essendo il metallo più comune della crosta terrestre, circa l'8,5%, fu ottenuto, in forma impura, solamente nel 1825 da Hans Christian Ørsted (1777-1851). Prima del 1830 furono isolati anche cromo, palladio, iridio, rodio, osmio, bromo, cadmio, litio, berillio.

## 7. Simboli degli elementi

L'alchimia era ricca di simboli che furono utilizzati, fino al XVIII secolo, per indicare gli elementi, i composti e i processi alchemici (Fig. 3). Tra essi erano largamente usati quelli associati ai sette metalli e ai sette pianeti dell'astrologia classica (divinità). Ancora oggi i simboli di Venere (rame) e di Marte (ferro) vengono usati come rappresentazione del femminile (♀) e del maschile (♂). Molti simboli furono aggiunti nel Medioevo senza adottare codici comuni, anzi spesso furono utilizzati codici privati proprio per non diffondere le conoscenze. Questo modo di operare portò quindi alla proliferazione di più simboli per una stessa sostanza. Ma con il progredire delle ricerche e delle conoscenze chimiche questi simboli non erano più utili. Nel 1808 il chimico inglese John Dalton (1766-1844) pubblicò la prima parte dell'opera *A New System of Chemical Philosophy* in cui delineò la sua teoria atomica della materia, teoria che venne ancora perfezionata in due parti successive pubblicate nel 1810 e nel 1827. Dalton per la rappresentazione degli elementi adottò un sistema simbolico costituito da cerchietti differenti, dove ogni simbolo rappresentava l'atomo di un elemento. Oltre a ciò, per simboleggiare i composti, non

utilizzò simboli speciali, ma solamente i simboli degli elementi riuniti, secondo i rapporti di combinazione, a rappresentare la formula del composto (Fig. 4). Questi simboli però erano scomodi ed ebbero scarsa diffusione.

An Explication of the Characters which are used in this Book.	
☉ <i>Gold.</i>	A. E. <i>Aqua Fortis.</i>
☽ <i>Silver.</i>	A. R. <i>Aqua Regis.</i>
♂ <i>Iron.</i>	S. V. <i>Spirit of Wine.</i>
♀ <i>Mercury.</i>	☿ <i>Sublimate.</i>
♃ <i>Jupiter.</i>	☽ <i>Precipitate.</i>
♀ <i>Venus.</i>	ããã <i>Analgama.</i>
♁ <i>Lead.</i>	▽ <i>Water.</i>
♁ <i>Antimony.</i>	△ <i>Fire.</i>
* <i>Sal armoniac.</i>	

Fig. 3 – Caratteri alchemici utilizzati nel testo di Kenelm Digby (1682).

Berzelius, nel 1814, introdusse un nuovo tipo di rappresentazione simbolica, semplice e concisa, da cui è derivata quella attuale. Egli propose di rappresentare i diversi elementi con la lettera iniziale, scritta in carattere maiuscolo, del corrispondente nome latino o latinizzato. Se il nome di più elementi iniziava con la stessa lettera per distinguerli propose di aggiungere la lettera successiva, scritta in carattere minuscolo, o se in comune, la prima consonante che non era comune ad entrambi i nomi. «*Par exemple, C, carbone, Cu, cuivre, Co, cobalt, S, soufre, Sb, antimoine (stibium), Sn, étain (stannum)*» (Berzelius, 1819, p. 104). La riunione di diversi simboli costituiva la formula del composto e per semplificare indicò l'uso di esponenti<sup>11</sup>:

«... *mais un petit chiffre en haut, à la droite, en forme d'un exposant algébrique, ne multiplie que le signe seul auprès duquel il est placé. Par exemple, SO<sup>3</sup> veut dire la combinaison d'un atome de soufre avec 3 atomes d'oxygène, c'est-à-dire l'acide sulfurique*»<sup>12</sup> (Berzelius, 1819, pp. 104-105).

<sup>11</sup> Oggi detto indice viene collocato in basso alla destra del simbolo chimico.

<sup>12</sup> «... ma un piccolo numero in alto, a destra, sotto forma di esponente algebrico, non fa altro che moltiplicare l'unico segno accanto a cui è posto. Ad esempio, SO<sup>3</sup> significa la combinazione di un atomo di zolfo con 3 atomi di ossigeno, cioè acido solforico».

La riforma di Berzelius fu accettata abbastanza velocemente non appena superata la resistenza all'uso del latino. Ancora nel 1837 Dalton, il padre della teoria atomica, esprimeva un giudizio sfavorevole: «*I simboli di Berzelius sono orribili; un giovane studente di chimica acquista familiarità con loro allo stesso modo con cui potrebbe imparare rapidamente l'ebraico. Essi appaiono come un caos di atomi...* (Taddia, 2014)».

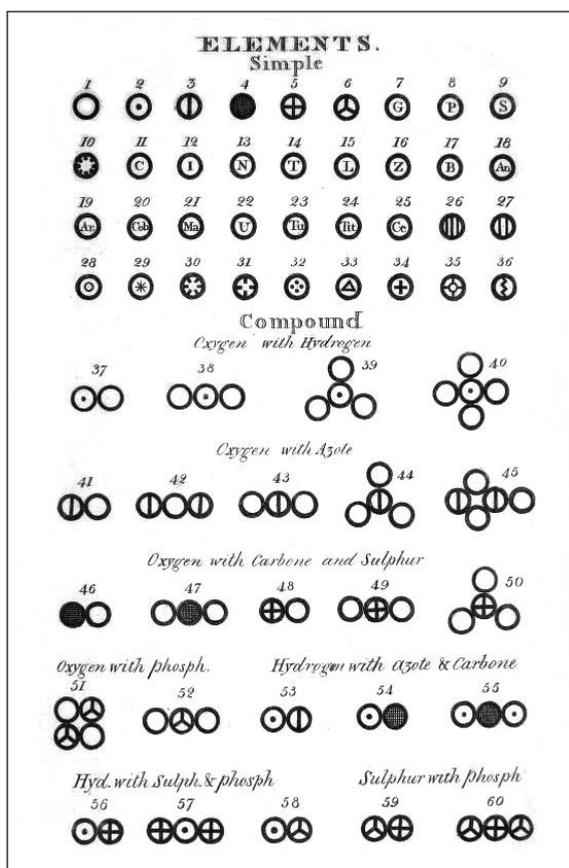


Fig. 4 – Simboli di elementi e composti (Tavola 5; da Dalton, 1810).

## 8. Sviluppo della spettroscopia

L'invenzione dello spettroscopio ebbe un ruolo fondamentale per quanto riguarda la scoperta di nuovi elementi. Fin dal XVI secolo era noto che certe sostanze potevano produrre delle fiamme colorate e queste sostanze erano e

sono comunemente utilizzate nella fabbricazione dei fuochi artificiali. Studiando la rifrazione della luce, lo scienziato Isaac Newton (1642-1726), riuscì a dimostrare che un prisma poteva scomporre la luce bianca in uno spettro di colori, dal violetto al rosso, il quale poteva essere ricomposto, per addizione cromatica, nella luce bianca. All'inizio dell'Ottocento il chimico e fisico inglese William Hyde Wollaston (1766-1828) osservò che lo spettro solare, pur essendo continuo, presentava delle righe scure di diversa intensità. Il primo studio sistematico delle righe di assorbimento dello spettro solare venne fatto dal fisico e astronomo tedesco Joseph von Fraunhofer (1787-1826), righe scure che ancora oggi sono chiamate *righe di Fraunhofer*. Egli può essere considerato il padre della spettroscopia, riuscì a vedere e classificare 574 righe di assorbimento (Jahn, 2008, p. 10), ed inoltre, al suo ingegno, si deve l'invenzione del reticolo di diffrazione, dispositivo in grado di disperdere la luce e che oggi sostituisce il prisma all'interno degli spettrografi.

La collaborazione tra il fisico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) e il chimico Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) produsse fondamentali ricerche che aprirono la strada alla spettroscopia. Bunsen, interessato allo studio degli spettri di alcune sostanze per poterle identificare chimicamente, fu consigliato da Kirchhoff di utilizzare un prisma per separare la luce, proveniente dalla fiamma, nei suoi raggi costituenti. Su questo principio i due svilupparono il primo spettroscopio che porta il loro nome. Essi scoprirono che tutti gli elementi riscaldati fino all'incandescenza emanavano luce che si poteva separare in una serie di linee brillanti, ogni elemento formava un proprio e caratteristico spettro che non era influenzato dalla presenza di altri elementi. Capirono inoltre che gli spettri di emissione e di assorbimento, linee scure, erano generati dal medesimo fenomeno, ossia la capacità dei gas ad alta temperatura di emettere radiazioni a una determinata lunghezza d'onda caratteristica, oppure di assorbire luce esattamente della stessa lunghezza d'onda se venivano posti di fronte a una sorgente di radiazione continua. Nel 1860 scrissero la memoria *Analisi chimiche mediante osservazioni* (Kirchhoff & Bunsen, 1860) dove comunicarono il modo di utilizzare la spettroscopia per effettuare analisi chimiche. Nella memoria si può leggere:

*È ben noto che molte sostanze, quando sono esposte alla fiamma, hanno la proprietà di produrre certe righe brillanti nello spettro. Possiamo fondare su queste righe un metodo di analisi qualitativa che allarga enormemente il campo delle reazioni chimiche e porta alla soluzione di problemi finora irrisolti [...]. Sembra indubbio quindi che le righe brillanti degli spettri indicati possano essere considerate prove sicure della presenza del metallo in questione. Esse possono servire come reazioni per mezzo delle quali questo materiale può essere rivelato con maggiore certezza, e più velocemente e in quantità più piccole che con qualsiasi altro metodo analitico [...]. Le posizioni che [le linee] hanno nello spettro determinano una caratteristica chimica di natura altrettanto inalterabile e fondamentale del*

*peso atomico della sostanza, e perciò ci consente di determinarla con esattezza quasi astronomica. Ciò che, tuttavia, dà al metodo analitico spettrale un'importanza particolare, è il fatto che essa supera di gran lunga i limiti raggiunti dall'analisi chimica della materia prima d'ora [...]. L'analisi spettrale giocherà anche una parte non meno importante nelle scoperte di elementi non ancora rivelati. Giacché se vi sono sostanze che siano così irregolarmente disseminate in natura che i metodi di analisi usati prima d'ora per separarle ed osservarle falliscano, possiamo sperare di rivelare e di determinare molte di esse, mediante il semplice esame dei loro spettri alla fiamma, che sfuggirebbe ai metodi ordinari di analisi chimica [...]. Da ciò possiamo concludere che lo spettro solare, con le sue righe nere, non è altro che l'inverso dello spettro che l'atmosfera del sole stessa mostrerebbe. Quindi l'analisi chimica dell'atmosfera solare richiede solo l'esame di quelle sostanze le quali, quando siano poste in una fiamma, producono righe brillanti che coincidono con le righe nere dello spettro solare (Kirchhoff & Bunsen, 1860).*

Nella prima metà del XIX secolo era impressione generale che mai avremmo saputo qualcosa sulla composizione delle stelle e, in particolare, la loro natura chimica sarebbe rimasta per sempre sconosciuta. Il filosofo francese Auguste Comte (1798-1857) nel suo *Corso di filosofia positiva* (1830-1842), nel tomo dedicato alla filosofia dell'astronomia e della fisica, scrisse:

*À l'égard des astres [...] Toute recherche qui n'est point finalement réductible à des simples observations visuelles nous est donc nécessairement interdite au sujet des astres [...] Nous concevons la possibilité de déterminer leurs formes, leurs distances, leurs grandeurs et leurs mouvements ; tandis que nous ne saurions jamais étudier par aucun moyen leur composition chimique, ou leur structure minéralogique<sup>13</sup> [...] (Comte, 1835, p. 8).*

Osservando lo spettro solare Kirchhoff e Bunsen si resero conto che alcune delle linee scure osservate da Fraunhofer si trovavano esattamente alla stessa lunghezza d'onda delle due linee giallo brillanti del sodio, pertanto il Sole doveva contenere sodio (Sacks, 2002 p. 240); inoltre identificarono le linee degli elementi calcio, magnesio, ferro, cromo, nichel, bario, rame e zinco. Il mistero delle centinaia di righe nere presenti nello spettro solare era stato interpretato, si trattava dello spettro di assorbimento da parte degli elementi presenti negli strati esterni del Sole. La previsione di Comte sull'impossibilità di studiare la composizione chimica delle stelle risultò errata, il Sole era costituito dagli stessi elementi presenti sulla Terra. Kirchhoff e Bunsen tramite la spettroscopia riuscirono a individuare, nelle acque minerali, due nuovi elementi, uno lo

<sup>13</sup> “Per quanto riguarda le stelle [...] Ogni ricerca che non sia in definitiva riconducibile a semplici osservazioni visive ci è quindi necessariamente vietata. [...] Sebbene sia concepibile la possibilità di determinarne le loro forme, le loro dimensioni e i loro movimenti; mentre non potremmo mai studiarne, in alcun modo, la composizione chimica né la loro struttura mineralogica [...]”.

chiamarono cesio (Cs, 1860) per la splendida linea spettrale azzurra, l'altro rubidio (Rb, 1861) per il colore rosso cupo dei suoi raggi. A partire da queste prime scoperte con l'ausilio dello spettroscopio, nell'arco di qualche decennio, furono trovati altri venti elementi.

Da quando la spettroscopia aveva permesso di scoprire nuovi elementi vari scienziati iniziarono ad utilizzare lo spettroscopio per studiare la luce proveniente delle stelle. Gli astronomi Pierre Jules Janssen (1824-1907) e Norman Lockyer (1836-1920) indipendentemente, analizzando la luce emessa durante l'eclissi solare totale del 1868, trovarono nello spettro una linea di emissione giallo-arancione di un elemento sconosciuto. Ad esso fu attribuito il nome di elio (He), da *helios* divinità della antica Grecia, il titano dell'astro solare. «*E Teia ad Elio grande die' vita, e a Selene lucente, ed all'Aurora, che brilla per quelli che stan su la Terra, e poi Beati, ch'àn vita perenne, signori del cielo, poscia che Iperione, domata in amore soggiacque*»<sup>14</sup>. L'elio venne infine isolato, nel 1895, dal chimico scozzese William Ramsay (1852-1916) in un minerale radioattivo contenente uranio, la cleveite<sup>15</sup>. Le osservazioni spettroscopiche della corona solare portarono anche all'individuazione di una riga di emissione verde (530,3 nm) sconosciuta. Questo fatto venne interpretato come prova dell'esistenza di un nuovo elemento sconosciuto al quale fu attribuito il nome *coronium* (Aldersey-Williams, 2011, p. 270). Nel 1939 si scoprì che quella riga spettrale era prodotta da transizioni elettroniche del ferro altamente ionizzati ( $\text{Fe}^{13+}$ ) a causa di altissime temperature, all'incirca di un milione di kelvin. Questa scoperta portò quindi a concludere che i gas della corona solare dovevano essere estremamente più caldi della fotosfera la cui temperatura arriva a soli, si fa per dire, 6000 kelvin. Ma cosa riscalda la corona solare? Il problema del riscaldamento coronale è ancora un quesito senza una risposta certa. Un altro caso analogo riguarda una brillante linea verde scoperta, nel 1864 dall'astronomo William Hugging (1824-1910), nello spettro planetario della nebulosa NGC 6543, conosciuta anche come nebulosa Occhio di Gatto. Poiché questa riga non corrispondeva a nessuna linea degli elementi noti venne suggerita l'esistenza di un nuovo elemento il *nebulium* (*nebulum* o *nephelium*) (Kwok, 2021). Anche in questo caso fu poi dimostrato che la riga era dovuta ad un elemento noto, l'ossigeno doppiamente ionizzato in condizioni nebulari a bassa densità.

## 9. Classificazione degli elementi: la tavola periodica

Dopo il congresso internazionale di chimica tenutosi a Karlsruhe in Germania, nel 1860, il chimico russo Dmitrij Ivanovič Mendeleev (1834-1907),

<sup>14</sup> Esiodo, *Teogonia*, i figli di Teia e d'Iperione, vv. 369-372.

<sup>15</sup> Minerale fortemente radioattivo, proveniente principalmente dalla Norvegia, contenete soprattutto uranite (pechblenda)  $\text{UO}_2$  con circa il 10% dell'uranio sostituito da elementi delle terre rare.

originario della Siberia, iniziò a riflettere intorno ad un criterio generale per la classificazione degli elementi: si basò su 63 sostanze. Tra esse ne figurava una che successivamente si sarebbe rivelata non elementare, il *didimio*, mentre un elemento, il terbio, scoperto nel 1843, che molti ritenevano esistente, venne escluso (Ciardi, 2019, pp. 86-87). Lo scienziato, nel 1869, presentò alla Società Chimica Russa una relazione<sup>16</sup> tra le proprietà degli elementi e il peso atomico. Secondo Mendeleev esisteva una legge di periodicità che, a intervalli regolari (ma variabili) di peso atomico, permetteva di ordinare gli elementi chimici con comportamenti e proprietà simili. Altri scienziati si erano interessati alla questione prima di lui nel tentativo di utilizzare il peso atomico come strumento di raffronto tra elementi considerati simili tra loro. Ad esempio, Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), primo ad osservare che esistevano gruppi di tre elementi, le cosiddette triadi<sup>17</sup>, le cui proprietà variavano in modo regolare (Taddia, 2019, p. 28), ed anche Peter Kremers (1827-1870 ca.), Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886), John Newlands (1838-1898), William Odling (1829-1921), Julius Lothar Mayer (1830-1895).

Quello che differenziava sostanzialmente la proposta di Mendeleev da quelle degli altri studiosi non era tanto l'ordinamento crescente del peso atomico, ma l'aver lasciato, per rispettare la periodicità, delle caselle vuote (Fig. 5). Egli, per riempire quegli spazi vuoti, predisse le caratteristiche fisiche e il comportamento di elementi ancora sconosciuti, ma che dovevano esistere, fra essi descrisse le caratteristiche di quelli che si collocavano fra alluminio e indio, fra boro e ittrio, fra silicio e stagno. Mendeleev propose di chiamarli temporaneamente con i nomi di *eka-alluminio*, *eka-boro* e *eka-silicio*, dove il prefisso *eka* (in sanscrito "uno") indicava che l'elemento avrebbe dovuto occupare nella tavola la casella libera sotto a quello già noto. La proposta creò un acceso dibattito nel mondo accademico che durò fino al 1875 quando Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912) isolò un elemento con le caratteristiche dell'*eka-alluminio* che decise di chiamare gallio (Ga). Questa fu la prima prova sperimentale della validità della tavola periodica proposta dal chimico russo. Successivamente, nel 1879, fu isolato da Lars Fredrik lo scandio (Sc), l'elemento con caratteristiche simili a quelle predette per l'*eka-boro*, e, nel 1886, da Clemens Winkler il germanio (Ge) per l'*eka-silicio*.

<sup>16</sup> Il manoscritto ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ, ОСНОВАННОЙ НА ИХ АТОМНОМ ВЕСЕ И ХИМИЧЕСКОМ СХОДСТВЕ (Abbozzo di un sistema degli elementi basato sul loro peso atomico e somiglianza chimica) venne presentato il 17 febbraio 1869, 1° marzo per il calendario gregoriano perché in Russia era ancora in vigore il calendario giuliano, <https://www.prlib.ru/history/619066>.

<sup>17</sup> Come litio, sodio e potassio, oppure calcio, stronzio e bario, in cui l'elemento centrale aveva un peso atomico medio fra quello del primo e del terzo elemento.

Reihen	Gruppe I. R <sup>2</sup> O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Gruppe IV. RH <sup>4</sup> RO <sup>2</sup>	Gruppe V. RH <sup>3</sup> R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Gruppe VI. RH <sup>2</sup> RO <sup>3</sup>	Gruppe VII. RH R <sup>2</sup> O <sup>2</sup>	Gruppe VIII. RO <sup>4</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	— — — —
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	— — — —
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —

Fig. 5 – La forma del sistema periodico proposto da D.I. Mendeleev (da “Annalen der Chemie und Pharmacie”, Supplementband, 1871).

Nella conferenza Faraday che Mendeleev tenne, il 4 giugno 1889, di fronte ai membri della Chemical Society nell’auditorium della Royal Institution, furono presentate le sue conclusioni relative alla legge periodica degli elementi. «Fu nel marzo 1869 che mi avventurai a esporre all’allora giovane Società Chimica Russa le idee sullo stesso argomento» (Edwards et al., 2020) e, tra le otto conclusioni riportate, vale la pena citarne qualcuna: «Gli elementi, se disposti secondo i loro pesi atomici, mostrano un’evidente periodicità delle proprietà. – La grandezza del peso atomico determina le caratteristiche dell’elemento, proprio come la grandezza della molecola determina le proprietà del composto, – Dobbiamo aspettarci la scoperta di molti elementi ancora sconosciuti [...] – Alcune delle proprietà caratteristiche degli elementi possono essere predette dai loro pesi atomici» (Edwards et al., 2020).

Con Mendeleev si giunse al risultato più importante della tormentata ricerca e riflessione sugli elementi, ossia all’identificazione univoca della famiglia chimica, un insieme di elementi caratterizzati da analogie di comportamento nella combinazione con ogni elemento di un’altra famiglia. Il merito del chimico russo non è stato soltanto di aver trovato l’ordine degli elementi, ma anche quello di averne chiarito lo stato, distinguendolo da quello di corpo semplice. Liberò l’elemento dalla sua esterioresità e lo promosse allo stato di intima essenza delle sostanze, sia semplici che composte, pur mantenendo la propria materialità e, prima di tutto, il proprio peso. Da questo punto di vista:

*È utile in questo senso fare una netta distinzione tra la concezione di un elemento come sostanza omogenea separata, e come parte aerea ma invisibile di un composto. L’ossido di mercurio non contiene due corpi semplici, un gas e un metallo, ma*

*due elementi, il mercurio e l'ossigeno che, quando liberi, sono un gas e un metallo (Mendeleev, 1901, p. 23).*

Nei suoi scritti Mendeleev più volte invitava a non confondere il concetto di sostanza semplice con quella di elemento. La sostanza semplice, in analogia alla definizione di Lavoisier, era materia che poteva essere isolata, ma non ulteriormente decomposta, dotata di proprietà fisiche e determinate proprietà chimiche. Gli elementi, al contrario, erano qualcosa di astratto, l'essenza delle sostanze semplici, i cui caratteri identificativi erano i pesi atomici, grandezze misurabili.

*Il valore del peso atomico è una quantità che non si riferisce allo stato momentaneo di una sostanza semplice, ma appartiene ad una sua parte materiale, una porzione che ha in comune con la sostanza semplice libera e con tutti i suoi composti. Il peso atomico non appartiene né al carbone né al diamante, ma piuttosto al carbonio (Mendeleev, 1869, p. 439).*

## 10. Raggi X, radioattività e isotopi

Il fisico tedesco Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), nel 1895, mentre eseguiva ricerche sulla ionizzazione dei gas rarefatti, scoprì una nuova radiazione, alla quale, per brevità e per distinguerla dalle altre, attribui il nome di raggi X. Nella sua comunicazione preliminare “*Über eine neue Art von Strahlen (Su una nuova specie di raggi)*” si legge:

*Se si fa passare attraverso un tubo vuoto di Hittorf, oppure attraverso un tubo di Lenard o di Crookes od altro simile apparecchio sufficientemente evacuato, la scarica di un grosso rocchetto di Ruhmkorff e si ricopre accuratamente il tubo con un mantello di cartone nero, allora si vede che nella stanza completamente oscura, ad ogni scarica elettrica, uno schermo di carta spalmato con platinocianuro di bario –  $Ba[Pt(CN)_4] \cdot 4H_2O$  –, si illumina di luce fluorescente [...]. Il fatto più sorprendente in tale fenomeno è questo: che cioè attraverso l'involucro di cartone nero, il quale non lascia passare alcun raggio visibile né alcun raggio ultravioletto del sole o di una lampada ad arco, passa invece un agente che è in grado di produrre una vivace fluorescenza; il primo studio da farsi sarà quindi quello di esaminare se esistono altri corpi che possiedono tale proprietà. Si troverà ben presto che tutti i corpi sono attraversati da quell'agente, ma in misura molto diversa. Cito alcuni esempi. La carta è molto permeabile, anche dietro un libro di circa 1000 pagine ho visto lo schermo fluorescente ancora chiaramente illuminato [...] Se si tiene una mano tra l'apparecchio di scarica e lo schermo si vedono le ombre più scure delle ossa della mano stessa [...] Dietro piastre di rame, argento, piombo, oro e platino la fluorescenza è ancora ben visibile, ma solo se lo spessore della lastra non è troppo importante [...] (Röntgen, 1895).*

La scoperta di Röntgen fece molta sensazione ed attirò l'interesse di molti scienziati per stabilire la natura di tale radiazione. Tra essi il fisico francese Antoine Henri Becquerel (1852-1908) che, nel 1896, nel tentativo di verificare eventuali legami tra i raggi X e la fluorescenza decise di studiare il comportamento di alcuni cristalli di minerali di uranio che presentavano il fenomeno della fluorescenza. Lo scienziato, con grande sorpresa, si accorse che i cristalli di uranio erano in grado di impressionare lastre fotografiche avvolte in carta nera, anche senza il fenomeno della fluorescenza. Egli ipotizzò di aver scoperto un fenomeno nuovo, legato ai minerali di uranio, i quali emettevano spontaneamente radiazioni penetranti sconosciute, simili ai raggi X, che battezzò *radiazioni uraniche*: «*la durata dell'emissione di questi raggi è del tutto al di fuori dei fenomeni ordinari di fosforescenza, e non si è ancora potuto riconoscere dove l'uranio prenda l'energia che emette con una persistenza così lunga*» (Becquerel, 1896).

Proprio in quel periodo Marie Sklodowska Curie (1867-1934) e suo marito Pierre Curie (1859-1906) decisero di approfondire e studiare le scoperte di Becquerel attraverso un accurato lavoro sperimentale su campioni di sali di uranio. A Becquerel e ai coniugi Curie, nel 1903, fu assegnato il Premio Nobel per la fisica, in riconoscimento della scoperta e delle ricerche sui fenomeni radioattivi. In un'epoca in cui l'istruzione e la ricerca, soprattutto nel settore scientifico, erano una prerogativa quasi esclusivamente maschile la figura di Marie Curie è diventata un simbolo dell'emancipazione femminile. Prima donna della storia ad ottenere il Premio Nobel e primo individuo a vincerne due, nel 1911 le fu infatti attribuito quello per la chimica "per la scoperta degli elementi radio e polonio, l'isolamento del radio e lo studio della natura e dei composti di questo straordinario elemento". Nella prolusione al conferimento del Premio Nobel, Marie Curie affermava:

*All'incirca 15 anni fa la radiazione emessa dall'uranio fu scoperta da Henri Becquerel e due anni più tardi lo studio di questo fenomeno venne esteso ad altre sostanze, inizialmente da me e, in seguito da Pierre Curie e da me. La nostra ricerca ci condusse, con rapidità alla scoperta di nuovi elementi, la cui radiazione, seppur analoga a quella dell'uranio, era assai più intensa. Per designare tutti gli elementi che emettono questa radiazione io coniai il termine radioattivo; ed è così che la nuova proprietà della materia rivelata attraverso tale emissione ha preso il nome di radioattività. [...] Da allora sono stati scoperti altri elementi radioattivi: l'attinio da Debierne, il radiotorio e il mesotorio da Hahn, lo ionio da Boltwood e così via. [...] La radioattività del radio nei Sali solidi è all'incirca 5 milioni di volte superiore a quella di una quantità di uranio equivalente ed è in virtù di questa attività che i suoi Sali sono spontaneamente luminosi. [...] La difficoltà è accresciuta dal fatto che il polonio si disintegra spontaneamente, dimezzandosi in un periodo di 140 giorni. Ora sappiamo che anche il radio non ha una vita infinita,*

ma il suo tasso di decadimento è nettamente inferiore (si dimezza in 2.000 anni). [...] (Barbisan & Merlini, 2022).

Vale la pena ricordare che il *radiotorio*, il *mesotorio* e lo *ionio* che, secondo le interpretazioni dell'epoca erano nuovi elementi, in realtà sono rispettivamente gli isotopi 228 del torio, 228 del radio e 230 del torio. Dopo la scoperta nella pechblenda, una delle principali fonti naturali di uranio, del polonio (Po, 1898) e del radio (Ra, 1898), nel giro di pochi anni furono ritrovati altri elementi radioattivi: l'attinio (Ac, 1899) scoperto dal chimico francese André Debierne (1874-1949); il *thoron* (1899) osservato come emanazione del torio dall'ingegnere statunitense Robert Bowie Owens (1870-1940) e dal fisico neozelandese Ernest Rutherford (1871-1937), in realtà l'isotopo 220 del radon; il *niton* (1900) individuato come emanazione del radio dal fisico tedesco Friedrich Ernst Dorn (1848-1916), in realtà l'isotopo 222 del radon (Paoloni, 2007, p. 94). Le cosiddette emanazioni del radio, del torio e dell'attinio furono successivamente identificate come un gas nobile radioattivo a cui venne attribuito il nome di radon (emanazione); per un certo periodo fu anche suggerito di utilizzare il nome *niton* (dal latino splendente).

In un'epoca scientifica in cui si chiedeva alla gente comune di credere all'esistenza dei raggi X, i quali permettevano di vedere attraverso la solida materia, alla radioattività che di fatto poteva trasmutare, come per magia, un elemento in un altro, ogni novità pareva possibile. D'altra parte, se si potevano scoprire elementi nello spazio remoto, nelle brillanti ed infuocate stelle, non era forse ragionevole cercarli anche attraverso mezzi extrasensoriali? La società occidentale, a partire dalla seconda metà del Ottocento, era particolarmente attratta dallo spiritismo. La medium e sensitiva Eléna Petróvna von Hahn (1831-1891), meglio conosciuta come Madame Blavatsky, la quale sosteneva di possedere poteri mediani speciali, fondò, nel 1875 a New York, la Società Teosofica, un'organizzazione internazionale dedita allo studio e alla divulgazione della teosofia (*la sapienza divina*) e delle scienze esoteriche. Nel 1908 venne pubblicata, dalla Società Teosofica, la prima edizione inglese della *Occult Chemistry* di Annie Besant (1847-1933) e Charles Webster Leadbeater (1854-1934) dove si affermava la scoperta di diversi elementi mediante la chiaroveggenza: un elemento ignoto collocato fra l'idrogeno e l'elio che, per comodità di riferimento, chiamarono *occultum* (occulto); altri due collocati fra lo xeno e l'osmio, *kalon* e *meta-kalon*, oltre a 4 varietà di 4 elementi noti a cui aggiunsero il prefisso *meta*, *meta-neon*, *meta-argon*, *meta-kripton*, *meta-xeno* e una forma secondaria di platino che chiamarono *platino-b* (Besant & Leadbeater, 1908, pp. 2-5). Lo psicologo ginevrino Théodore Flournoy (1854-1920) nel suo libro *Des Indes à la Planète Mars* (Dalle Indie al pianeta Marte, 1900) fornì il resoconto delle sedute svolte con la medium francese Hélène

Smith (1861-1929), la quale credeva di essere la reincarnazione di Maria Antonietta e sosteneva di essere riuscita ad entrare in contatto con gli abitanti di Marte (Ciardi, 2023, p. 73).

Studiando i raggi emessi dalle sostanze radioattive si scoprì che alcuni erano deviati verso il polo negativo di un campo elettrico, altri verso il polo positivo mentre alcuni non subivano alcuna deviazione. Rutherford, per indicare questi tre tipi di radiazioni penetranti, propose la notazione basata sulle lettere greche  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) e  $\gamma$  (gamma). La radiazione  $\alpha$  costituita da particelle positive, la  $\beta$  da particelle negative, gli elettroni scoperti nel 1897 da Joseph John Thomson (1858-1940), e la  $\gamma$  una radiazione simile ai raggi X, entrambe onde elettromagnetiche ad elevata frequenza. Dallo studio delle particelle  $\alpha$  ci si rese conto che la loro massa era quattro volte quella del protone, nome attribuito al nucleo di idrogeno da Rutherford, mentre la carica era solamente il doppio di quella del protone. A seguito di questo fatto Rutherford ipotizzò l'esistenza di una particella subatomica senza carica elettrica che supponeva fosse formata dall'unione di un protone e un elettrone: «*In considering the possible constitution of the elements, it is natural to suppose that they are built up ultimately of hydrogen nuclei and electrons. On this view, the helium nucleus is composed of four hydrogen nuclei and two negative electrons with a resultant charge of two.*<sup>18</sup> [...] (Rutherford, 1920, p. 395)». Nel 1932 il fisico inglese James Chadwick (1891-1974) scoprì l'esistenza di una particella, senza carica elettrica, di massa circa uguale a quella del protone a cui venne attribuito nome di *neutrone*.

Indagando sulla natura della radioattività il chimico e fisico britannico Frederick Soddy (1877-1956) e Rutherford giunsero alla conclusione che essa poteva essere considerata la manifestazione di un cambiamento chimico a livello subatomico con emissione di particelle. Gli esperimenti avevano dimostrato che dalla disintegrazione dell'uranio e del torio si formavano elio e altri elementi, fino al piombo. Soddy, che studiava le specie atomiche formate nel decadimento delle sostanze radioattive, ipotizzò che certi elementi potevano esistere in due o più forme con differenti pesi atomici e stesso comportamento chimico. Nel 1913 per identificare questi elementi utilizzò il termine "isotopo" ottenuto dall'unione di due parole greche *isos*, ossia stesso, e *topos*, che significa stesso posto o luogo, per sottolineare che questi elementi andavano ad occupare lo stesso posto nel sistema periodico. Misure accurate, effettuate sul piombo dalla chimica polacca Stephanie Horovitz (1877-1942), confermarono che il piombo proveniente dal decadimento dell'uranio aveva un peso atomico (206) diverso da quello proveniente dal torio (208), diverso da quello tipico del metallo (Robotti & Leone, 2019).

<sup>18</sup> Considerando la possibile costituzione degli elementi, è naturale supporre che essi siano formati in definitiva da nuclei di idrogeno ed elettroni. In questa visione il nucleo di elio è composto da quattro nuclei di idrogeno e due elettroni negativi con una carica risultante di due.

Dallo studio dell'interazione fra i raggi X e la materia, il fisico e cristallografo tedesco Max von Laue (1879-1960) scoprì che i cristalli deviavano i raggi in modo caratteristico. Attraverso la diffrazione dei raggi X fu possibile stabilire che i cristalli erano costituiti da un insieme geometricamente ordinato di atomi e fu possibile determinare la loro distanza. Utilizzando queste tecniche il fisico britannico Henry G. J. Moseley (1887-1915) studiò i raggi X emessi da diversi elementi. Egli dimostrò che la radiazione X diminuiva di lunghezza d'onda e aumentava di frequenza con il crescere del peso atomico degli elementi. In base a questo principio:

*«[...] Abbiamo la prova che nell'atomo esiste una quantità fondamentale la quale cresce in modo regolare quando si passa da un elemento al successivo. Questa quantità può essere solamente la carica sul nucleo centrale positivo, della cui esistenza abbiamo già una prova definitiva [...] questo suggerisce fortemente l'ipotesi che  $N$  (carica del nucleo) cresca di atomo in atomo sempre di una singola unità elettronica. Siamo perciò portati sperimentalmente a ritenere che  $N$  sia la stessa cosa del numero del posto occupato dall'elemento nel sistema periodico, Questo numero atomico vale quindi 1 per l'idrogeno, 2 per l'elio, 3 per il litio ..., 20 per il calcio, 30 per lo zinco, ecc. [...]» (Moseley, 1913, p. 1031).*

Se gli elementi fossero stati disposti in ordine crescente di carica nucleare avrebbero trovato la giusta collocazione nella tavola di Mendeleev. Moseley confermò sperimentalmente l'ipotesi, formulata dall'avvocato e fisico olandese Antonius van den Broek (1870-1926), dell'uguaglianza fra il numero d'ordine associato a un elemento e la carica del nucleo. Di conseguenza era la carica del nucleo, ossia il numero di protoni presenti nel nucleo, che andava a rappresentare il numero atomico ( $Z$ ) che aumenta regolarmente nel passaggio da un elemento a quello vicino. Dopo la scoperta del neutrone ci si rese conto che ciò che poteva far variare la massa atomica, a parità di numero atomico, doveva essere il numero dei neutroni presenti nel nucleo. La somma del numero dei protoni e dei neutroni venne chiamata numero di massa. Ciascun atomo di un elemento è caratterizzato dal numero atomico, esistono diverse specie atomiche di un medesimo elemento con massa atomica differente ma occupano la stessa posizione nella tavola periodica.

## 11. Dagli elementi mancanti agli elementi transuranici

Moseley precisò chiaramente quali fossero i numeri dei sette elementi chimici ancora da scoprire, compresi tra quello dell'idrogeno (1) e dell'uranio (92): 43, 61, 72, 75, 85, 87, 91. Ida Noddack (nata Tacke, 1896-1978), Walter Noddack (1893-1960) e Otto Berg (1873-1939), nel 1925, annunciarono la scoperta del renio (75) e dell'elemento 43 che venne chiamato *masurium*

(Sacks, 2002), dal nome di una regione della Prussia Orientale, la Masuria, oggi polacca. La scoperta dell'elemento 43 non fu però confermata. In realtà l'elemento 75 fu isolato dalla torianite ( $\text{ThO}_2$ ), nel 1908, dal chimico giapponese Masataka Ogawa (1865-1930) che lo chiamò *nipponium*, ma egli credette, erroneamente, di aver scoperto l'elemento 43. Abbaglio che può essere chiarito con il fatto che gli elementi 43 (*eka-manganese*) e 75 (*dvi-manganese*)<sup>19</sup> si trovano nello stesso gruppo della tavola periodica, sotto al manganese. A causa dell'errata collocazione la scoperta non è stata riconosciuta. Studi recenti hanno risolto l'intricata vicenda della scoperta del *nipponium*, l'elemento era in realtà renio (Hisamatsu *et al.*, 2022), quindi al chimico giapponese dovrebbe essere attribuita la scoperta. L'elemento 85 curiosamente viene citato, nel 1937, nella storia a fumetti di fantascienza “*viaggio in una moneta*”<sup>20</sup> dove, il personaggio immaginario, Brick Bradford<sup>21</sup> salva da un incidente aereo lo scienziato Kalla Kopak. Quest'ultimo racconta a Bradford di essere giunto alla scoperta dell'elemento 85, che ha chiamato *kopakoum* (Ciardi, 2023, p. 141). Solamente nel 1940, bombardando il bismuto con particelle alfa, presso l'Università della California venne isolato l'elemento 85, l'astato (At), dal greco *astatos*, instabile. Successivamente è stato ritrovato anche in natura, ma in quantità infinitesimali, come prodotto di decadimento radioattivo dell'uranio e del torio.

Enrico Fermi (1901-1954) e i suoi collaboratori, nel 1934, esaminando i risultati degli esperimenti condotti bombardando uranio con neutroni lenti, crederono di aver prodotto elementi transuranici con numero atomico 93 e 94. A questi elementi vennero rispettivamente attribuiti i nomi di *ausonio* e *esperio* (Fuso, 2019, p. 134). Al fisico italiano<sup>22</sup>, nel 1938, fu attribuito il premio Nobel per la fisica e, nella *Nobel Lecture* (12 dicembre 1938) che tenne, riassunse i risultati degli esperimenti che lo indussero, nel 1934, alla scoperta della radioattività artificiale indotta da neutroni:

*Se bombardati con neutroni [il torio e l'uranio] danno luogo a una radioattività piuttosto intensa, e in entrambi i casi la curva di decadimento dell'attività indotta mostra che si è avuta produzione di diversi elementi attivi di diversa vita media. Sin dalla primavera del 1934 tentammo di isolare chimicamente i portatori di queste attività, col risultato che alcune delle attività dell'uranio risultarono non essere dovute né a isotopi dell'uranio stesso, né a elementi più leggeri dell'uranio, fino al*

<sup>19</sup> Il prefisso *eka*, significa uno in sanscrito, indica che l'elemento occupa la casella sotto rispetto a quello noto più vicino; i prefissi *dvi* e *tri*, che significano rispettivamente due e tre, indicano elementi mancanti più lontani da quello noto.

<sup>20</sup> D005, 2 agosto 1937-1° agosto 1938, 288 strisce.

<sup>21</sup> Personaggio protagonista dell'omonima serie a fumetti di fantascienza ideato nel 1933 dallo scrittore William Ritt e disegnato dall'artista Clarence Gray.

<sup>22</sup> Nel luglio 1944 Fermi prese la cittadinanza statunitense (Segrè, 1971, p. 107).

numero atomico 86. Concludemmo che i responsabili di tale attività fossero uno o più elementi di numero atomico maggiore di 92; a Roma eravamo soliti chiamare gli elementi 93 e 94 rispettivamente *ausonio* (*ausenium*) ed *esperio* (*hesperium*) (Fermi, 1938).

La scoperta di questi elementi transuranici fu confutata da Otto Hann (1879-1968), Fritz Strassmann (1902-1980) e Lise Meitner (1878-1968) che interpretarono i risultati in termini di un'avvenuta disgregazione dell'atomo di uranio in grossi frammenti. Studi successivi mostrarono, senza ombra di dubbio, che l'uranio, colpito da neutroni termici, subiva una disintegrazione, ossia un nuovo tipo di reazione nucleare, la *fissione*. Vale la pena sottolineare che Fermi aveva ricevuto il Premio per i suoi lavori di radioattività artificiale e per i neutroni lenti e non per gli elementi transuranici (Segrè, 1971, p. 101); *ausonio* e *esperio* sono solo brevemente citati nel suo discorso che egli tenne a Stoccolma. Prima che la *Nobel Lecture* venisse pubblicata Fermi provvide ad aggiungere una nota esplicativa a piè di pagina dove precisò che «*la scoperta di Hann e Strassmann del bario tra i prodotti di disintegrazione dell'uranio bombardato, [...] rende necessario riesaminare tutta la questione degli elementi transuranici, poiché molti di essi potrebbero essere dovuti alla scissione dell'uranio* (Fermi, 1938)».

Il fisico statunitense Ernest Lawrence (1901-1958), nel 1937, spedì a Emilio Segrè (1905-1989) una piastrina di molibdeno con forte radioattività perché, avendo fatto parte del deflettore del ciclotrone dell'Università della California, era stata intensamente bombardata da protoni, neutroni, deuteroni. L'analisi chimica permise di confermare, in modo indiretto in base alla radioattività, la presenza di qualche isotopo dell'elemento 43, il primo creato artificialmente, anche se presente in quantità estremamente piccole dell'ordine di  $10^{-10}$  g o meno. Dopo la guerra, la scoperta dell'elemento venne attribuita a Segrè e al mineralogista Carlo Perrier (1886-1948) ai quali spettava il diritto di scegliere il nome. Segrè scelse *tecneto* (Maggio & Zingales, 2022), dal greco *technetòs* (artificiale), oggi tecnezio (Tc).

L'elemento 87 chiamato francio (Fr), a cui Mendeleev nel 1871 diede il nome provvisorio di *eka-cesio*, venne scoperto nel 1939 da Marguerite Perey (1909-1973) all'Istituto Curie di Parigi mentre studiava l'isotopo 227 dell'attinio. Prima della scoperta effettiva ci furono diverse rivendicazioni, i nomi proposti includevano *russium*, *alkalinium*, *virginium* e *moldavium*. Infine l'elemento 61 fu isolato e identificato nel 1945 da Charles D. Coryell (1912-1971), Jacob A. Marinsky (1918-2005) e Lawrence E. Glendenin (1918-1008) nell'ambito del Progetto Manhattan. Tutti gli isotopi del promezio (Pm) sono radioattivi. Vale la pena ricordare che quando il numero atomico supera 83 (bismuto), quindi dal polonio in poi, a prescindere dal numero dei neutroni, tutti i nuclei sono instabili e di conseguenza radioattivi.

Gli elementi transuranici nettunio (Np, 93) e plutonio (Pu, 94) furono sintetizzati in laboratorio nel 1940, ma la loro esistenza venne resa di pubblico dominio solamente dopo la fine della seconda guerra mondiale. Essi ricevettero il nome provvisorio di *extremium* e *ultimum* a causa dell'errata convinzione dell'impossibilità di sintetizzare elementi più pesanti (Sacks, 2002). Tuttavia già nel 1944 furono sintetizzati gli elementi 95 e 96, americio (Am) e curio (Cm). Il plutonio è un elemento radioattivo raro, il suo isotopo più longevo è il 244 con un tempo di dimezzamento di 80 milioni di anni.

Le reazioni termonucleari sono responsabili della sintesi della maggior parte degli elementi esistenti. Quando l'Universo, dopo il Big Bang, si era espanso e raffreddato abbastanza, il processo di *Nucleosintesi Primordiale* ha portato alla formazione dei nuclei atomici degli elementi più leggeri, l'idrogeno (76% ca.), l'elio (24% ca.) con tracce di litio e berillio. Nel nucleo delle stelle è avvenuta, e ancora avviene, la *Nucleosintesi Stellare* (fusione) grazie alla quale sono sintetizzati gli elementi fino al ferro. Gli elementi più pesanti vengono prodotti per cattura neutronica e successivi decadimenti  $\beta^{23}$ . Le reazioni di cattura, a seconda delle condizioni in cui avvengono, si raggruppano sotto il nome di processi *slow* o processi *rapid*. I processi veloci probabilmente avvengono nelle esplosioni di supernova, che rappresentano la fase finale nell'evoluzione di stelle con massa superiore a circa 8-10 masse solari, e nella collisione tra due stelle di neutroni (Aliotta, 2019).

Come precedentemente ricordato, nel 1940 a Berkeley, Edwin McMillan (1907-1991) e Philip Hauge Abelson (1913-2004) mediante bombardamento dell'uranio con neutroni riuscirono a sintetizzare il primo elemento transuranico, il nettunio. In seguito, mediante bombardamento dell'uranio con nuclei di deuterio, Glenn T. Seaborg (1912-1999) e collaboratori riuscirono a ottenere il plutonio. Tracce significative di questo elemento sono presenti in natura perché si forma per cattura neutronica dalla fissione spontanea dell'uranio naturale, ma la maggior parte del plutonio presente sulla Terra è stata sintetizzata artificialmente dall'uomo nei reattori nucleari. Il 16 luglio 1945, nel deserto di Alamogordo, nel New Mexico, avvenne la prima esplosione nucleare di una bomba al plutonio (Elena, 2013). Le città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki<sup>24</sup>, a causa dello sfruttamento per scopi bellici dell'energia nucleare, pagarono un tributo enorme in devastazioni e vittime tra la popolazione. Quantità considerevoli di plutonio sono state rilasciate nell'atmosfera in seguito ai test nucleari effettuati nell'atmosfera negli anni '50 e '60 del secolo scorso.

<sup>23</sup> Nel decadimento beta negativo uno dei neutroni del nucleo decade in un protone, emettendo un elettrone e un antineutrino, aumentando di un'unità il numero atomico  $Z$  senza modificare il numero di massa  $A$ .

<sup>24</sup> La bomba usata a Hiroshima (6 agosto 1945) era all'uranio-235 fortemente arricchito, invece a Nagasaki (9 agosto 1945) fu usata una bomba al plutonio-239. In seguito alle due esplosioni si contarono oltre 210.000 morti e più di 150.000 feriti.

Attualmente la tavola periodica degli elementi è completa fino al settimo periodo che comprende trentadue elementi, tra essi i ventisei con numero atomico superiore a 92, che è quello dell'uranio, i cosiddetti *transuranici*. Tutti hanno ricevuto un nome e un simbolo ufficiale, gli ultimi attribuiti, nel 2018, sono stati il nihonio (Nh, 113), da *Nihon* nome del Giappone nel linguaggio locale (terra del Sol levante), il moscovio (Mc, 115), il tennessio (Ts, 117) e l'oganesson (Og, 118) (Marchionni & Armelao, 2020). Gli elementi superpesanti (*superheavy elements* o SHE, in inglese), noti anche come transattinoidi, hanno numero atomico maggiore di 103 e sono elementi instabili, radioattivi, non presenti in natura come tutti gli elementi che sono collocati oltre il plutonio ( $Z=94$ ). Essi sono stati ottenuti artificialmente, in piccolissime quantità, attraverso fusioni nucleari indotte da ioni pesanti e, a causa del loro rapidissimo tempo di decadimento dell'ordine di frazioni di secondo, poco si conosce della loro chimica.

## 12. Nomi degli elementi

I nomi con cui vengono indicati gli elementi possono avere diverse origini. Storicamente i nomi venivano scelti dagli scopritori in base alle caratteristiche chimico fisiche degli elementi stessi (colore, odore, proprietà), oppure in base a un minerale, a un luogo o una regione, a un personaggio mitologico, a una leggenda, a un oggetto astronomico e, più recentemente, in onore di un illustre scienziato/scienziata. Attualmente il procedimento per l'assegnazione del nome di un nuovo elemento è costituito da un iter che, attraverso vari passaggi, porta all'approvazione finale della proposta da parte del Consiglio della IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) e alla pubblicazione sulla rivista ufficiale *Pure and Applied Chemistry*.

Alle proprietà chimico fisiche devono il nome: il cloro (Cl), alla sua colorazione giallo-verde, in greco *chlorós* (*χλωρός*); il bromo (Br), al suo pessimo odore, *brōmos* (*βρώμος*) che significa fetore; l'osmio (Os), all'odore penetrante e persistente del tetraossido ( $OsO_4$ ), da *osmè* (*ὄσμή*) ossia odore; il rodio (Rh), al colore rosa delle soluzioni di molti dei suoi sali, da *rhōdon* (*ῥόδον*); il cromo (Cr), alla varietà dei colori dei suoi composti, da *chrōma* (*χρῶμα*), colore; il fosforo (P), alla capacità di emettere luce ed incendiarsi all'aria, da *phosphōros* (*φωσφόρος*) che significa portatore di luce.

Molti elementi sono dedicati a toponimi evidenti ed espliciti come, ad esempio, germanio (Ge), europio (Eu), polonio (Po), americio (Am), francio (Fr), renio (Re) dal fiume Reno, californio (Cf) in omaggio della California, berkelio (Bk) dalla città statunitense di Berkeley, scandio (Sc) dal latino *Scandia* per Scandinavia, gallio (Ga) dal latino *Gallia* per indicare la Francia. Altri nomi, meno evidenti, derivano da nomi latini di alcune città come lutezio (Lu)

da *Lutetia* l'odierna Parigi, afnio (Hf) da *Hafnia* l'attuale Copenaghen, olmio (Ho) da *Holmia* ossia Stoccolma. Invece il tulio (Tm) da *Thule*<sup>25</sup> una mitica isola, terra di fuoco, ghiaccio e sole a mezzanotte, collocata all'estremo nord citata dal navigatore e geografo greco Pitea (380-310 a.C.). L'afnio può vantare un record molto particolare: il numero di affermazioni sulla sua scoperta nel corso degli anni; infatti, tra il 1845 ed il 1908, fu più volte erroneamente identificato con i nomi *norium*, *jargonium*, *nigrium*, *nipponium* (Paoloni, 2007, p. 109). L'elemento fu effettivamente isolato nel 1923 da Georg Joseph von Hevesy (1885-1966).

Un caso piuttosto particolare riguarda una cava sita vicino a Ytterby, un piccolo villaggio svedese dell'isola di Resarö, nell'arcipelago di Stoccolma. La cava, aperta per estrarre materiali per la produzione di ceramiche, è famosa perché nei suoi minerali sono stati scoperti molti elementi delle cosiddette terre rare che, secondo la definizione della IUPAC, sono un gruppo di 17 metalli che comprende lo scandio, l'ittrio e i lantanoidi<sup>26</sup> (Connelly *et al.*, 2005, p. 51). Ben quattro elementi hanno infatti preso nome da Ytterby: l'ittrio (Y) scoperto da Johan Gadolin nel 1794 nella gadolinite<sup>27</sup>, nota anche come itterbite, l'itterbio (Yb), il terbio (Tb) e l'erbio (Er).

A personaggi mitologici e a corpi astronomici devono il nome: il selenio (Se) da *Selène*, la dea greca personificazione della Luna piena, sorella di *Helios* (il Sole) ed *Eos* (l'Aurora); l'uranio (U) dal pianeta Urano scoperto otto anni prima; il cerio (Ce) dal primo pianeta nano scoperto nel 1801 dall'astronomo Giuseppe Pizzi che lo chiamò *Cerere Ferdinanda*, in onore della dea romana Cerere e di Ferdinando III di Sicilia, il quale si trova nella fascia principale del sistema solare tra le orbite di Marte e di Giove; il palladio (Pd) dall'asteroide Pallade; il promezio (Pm) dal titano Prometeo che, secondo la mitologia greca, rubò il fuoco agli dei per offrirlo agli uomini; il titanio (Ti) dai Titani primordiali divinità figli di Urano e Gea; il torio (Th) da Thor il dio nordico della forza e del tuono, collerico e irascibile, protagonista di imprese contro i giganti; il vanadio (V) da Vanadis o Freyia, dea nella mitologia norrena associata alla bellezza, alla seduzione, alla fertilità e alla capacità profetica.

Altrettanto espliciti sono i riferimenti a famosi scienziati come: il fermio (Fm) dal fisico Enrico Fermi a cui si deve la realizzazione della prima reazione nucleare a catena controllata; l'einsteinio (Es) da Albert Einstein, il padre della teoria della relatività; il rutherfordio (Rf) da Ernest Rutherford, che studiando

<sup>25</sup> L'identificazione di Thule è sempre stata problematica e ha dato luogo a diverse ipotesi e teorie, secondo le quali potrebbe essere l'Islanda, le isole Shetland, le Fær Øer, la Groenlandia o un tratto della costa norvegese (cfr. Cunliffe, 2002).

<sup>26</sup> Serie costituita da 15 elementi che hanno numero atomico compreso fra 57 lantanio e 71 lutezio.

<sup>27</sup> Minerale costituito principalmente da silicati di cerio, lantanio, neodimio, ittrio e ferro con formula  $(Ce, La, Nd, Y)_2FeBe_2Si_2O_{10}$ .

la deflessione delle particelle alfa ipotizzò la presenza all'interno dell'atomo di una concentrazione di materia in un volume molto piccolo, ovvero il nucleo; il mendelevio (Md) da Dmitrij Mendeleev; il nobelio (No) dal chimico e imprenditore svedese Alfred Nobel, ideatore e fondatore del premio Nobel; il bohrio (Bh) dal fisico danese Neils Henrik Bohr che fornì contributi fondamentali sulla struttura atomica e sulla meccanica quantistica. Solamente due elementi celebrano donne, il curio (Cm) in onore a Marie Curie e il meitnerio (Mt) in ricordo a Lise Meitner alla quale, nonostante il suo ruolo fondamentale nella scoperta della fissione nucleare, non fu assegnato il premio Nobel per la chimica, attribuito unicamente a Otto Han.

Sulla denominazione degli elementi sono sorte anche polemiche e controversie come nel caso dell'elemento che, negli USA, per oltre un secolo continuò ad essere chiamato columbio (Cb) e, in Europa, niobio (Nb), da Niobe l'orgogliosa figlia del re lidio Tantalo pietrificata dopo l'uccisione dei suoi figli. Nel 1949 la IUPAC decise di adottare ufficialmente il nome di niobio. Anche l'elemento con numero atomico 74 tradizionalmente ha due nomi, wolframio e tungsteno (W). Il termine wolframio deriva dal tedesco *wolf rahn* (sporcizia di lupo), con questo veniva tradizionalmente chiamata dai minatori sassoni la wolframite (Fe, Mn)WO<sub>4</sub> (tungstato misto di ferro e manganese) da cui i chimici spagnoli J.J. Elhuyar e F. de Elhuyar, nel 1783, riuscirono ad ottenere il metallo puro. Invece tungsteno deriva dallo svedese *tung sten* (pietra pesante) nome attribuito alla scheelite CaWO<sub>4</sub> da cui il chimico svedese C.W. Scheele, nel 1781, riuscì ad isolare il triossido WO<sub>3</sub> (Goya & Román, 2005). Il libro rosso sulle raccomandazioni della nomenclatura della chimica inorganica (IUPAC 2005), suggerisce l'uso del nome tungsteno.

Alcuni nomi sono stati modificati, ad esempio, fino alla fine dell'Ottocento il berillio (Be) era chiamato *glucinio* (Gl), dal greco *γλυκύς* "dolce", perché veniva identificato attraverso un esame organolettico; i ricercatori assaggiavano i campioni allo scopo di verificare la presenza di questo elemento attraverso la caratteristica dolcezza. Per un certo periodo il vanadio fu anche chiamato *eritronio* (*erythronium*), invece il lutezio, soprattutto da alcuni scienziati tedeschi, *cassiopio* (*cassiopeium* o *cassiopium*). Altri nomi utilizzati nell'Ottocento sono scomparsi in quanto studi successivi dimostrarono non essere sostanze elementari, come l'*ilmenio* (Yl) e il *pelopio* (Pe) che si scoprì essere semplicemente miscele di tantalio (Ta) e niobio (Ciardi, 2019). Emblematico anche il caso del *didimio* (Dy), presente nella tavola di Mendeleev, che il chimico svedese Monsander, lo scopritore del lantanio (La), pensò di aver individuato, nel 1841, analizzando l'ossido di lantanio. Solamente nel 1885 Carl Auer von Welsbach (1858-1929) riuscì a separare dall'ossido di *didimio* due nuovi elementi, il neodimio (Nd) e il praseodimio (Pr). Il protoattinio (Pa), identificato per la prima volta nel 1913 da Kazimierz Fajans (1887-1975) e Oswald

Helmuth Göhring (1889-1915), per un certo tempo venne chiamato *brevium* a causa della breve emivita, di poco superiore di un minuto, dell'isotopo studiato, il protoattinio-234.

Resta famosa la controversia tra Stati Uniti e Unione Sovietica, durante la guerra fredda, per l'attribuzione del nome all'elemento 104. Sintetizzato presso l'Istituto per la ricerca nucleare di Dubna (Russia) nel 1964, attraverso il bombardamento di plutonio con ioni di neon, venne proposto di chiamarlo kurciatovio (Ku) in onore del grande fisico russo Igor Kurčatov (1903-1960), padre dell'atomica sovietica. Pochi anni dopo, nel 1969, l'elemento venne "riscoperto" a Berkeley (California) attraverso una differente reazione nucleare, i ricercatori statunitensi affermarono che la sintesi russa non era riproducibile e proposero di chiamarlo rutherfordio, in ricordo di Ernest Rutherford, premio Nobel per la chimica nel 1908. La disputa si protrasse per quasi trent'anni e portò all'utilizzo del nome e del simbolo temporanei, secondo le raccomandazioni IUPAC per elementi con numero atomico maggiore di 100<sup>28</sup>, di *unnilquadium*<sup>29</sup> (Unq) fino a quando, nel 1997, venne approvato definitivamente il nome di rutherfordio (Marchionni & Armelao, 2020). Mentre all'elemento 105 fu assegnato il nome di dubnio (Db) in onore alla città sede dei laboratori russi (Dubna sul Volga).

### 13. Concetto di elemento nel XX secolo

Il problema di definire in modo chiaro il concetto di elemento ha continuato ad interessare i chimici ed essere oggetto di discussione anche dopo la comparsa dei primi modelli atomici. Nel 1931, il chimico austriaco Friedrich Adolf Paneth (1887-1958), uno dei fondatori della radiochimica, osservò che al termine elemento erano associati due significati diversi; uno era quello di sostanza semplice attribuito da Lavoisier, l'altro era inteso come componente materiale, non percepibile dai sensi, delle sostanze semplici e composte, che gli aveva attribuito Mendeleev. Paneth pensò che questi due significati dovessero essere nettamente distinti e, tal fine, ricorse alle espressioni *sostanza semplice* (*simple substance*), che corrispondeva agli elementi tradizionali con le loro proprietà (colore, odore, struttura, ecc.), e *sostanza di base* (*basic substance*), dalla visione trascendente dell'elemento associata ad un'unica proprietà, vale a dire il numero atomico (Mahootian, 2013). Il cloro, un gas altamente reattivo di colore verde con odore pungente, e il sodio, un metallo tenero di colore argenteo altamente reattivo, sono due esempi di *sostanze semplici*. Le proprietà

<sup>28</sup> IUPAC, Inorganic chemistry division, Commission on nomenclature of inorganic chemistry, *Recommendations for the naming of elements of atomic numbers greater than 100*, Pure & Appl. Chem., 1979, vol. 51, n. 2, pp. 381-384. (<https://doi.org/10.1351/pac197951020381>).

<sup>29</sup> Nome utilizzato per l'elemento 104: *un* (1) + *nil* (0) + *quad* (4) + *ium* (suffisso per elemento).

del cloro e del sodio non si ritrovano nei loro composti. Il comune sale da cucina, cloruro di sodio, contiene cloro e sodio ma sicuramente non è argenteo e altamente reattivo, né verdastro e pungente. Paneth ha voluto attirare l'attenzione su quello che definì elemento "trascendente" che nonostante l'inclusione in composti radicalmente diversi, mantiene la sua identità. Il cloro si combina con altri elementi per dare origine a innumerevoli composti, ciascuno con proprietà fisiche e chimiche differenti, eppure riconosciamo "l'elemento" cloro in ciascun composto. Alla sostanza di base non è possibile attribuire le proprietà della sostanza semplice dal momento che essa contribuisce all'origine delle molteplici proprietà che mostra sia quando si manifesta da sola, come sostanza semplice (ad es. come cloro gassoso), sia quando è in combinazione con altre sostanze di base, sostanze composte (ad es. come cloruro di sodio, cloruro di ferro, ecc.). Il principio fondamentale della chimica, in base al quale gli elementi si conservano nei loro composti, secondo Paneth vale solamente se gli elementi sono intesi come sostanze di base. Egli individuò come attributo fondamentale dell'elemento, inteso come sostanza di base, il numero atomico. Pertanto il sistema periodico diventava una tavola che raccoglie gli elementi intesi come "*sostanze di base*" caratterizzate dal numero atomico.

Il Gold Book pubblicato dalla IUPAC contiene numerose informazioni su nomenclatura e definizioni di chimica inorganica, alla voce elemento è scritto:

1. Una specie di atomi; tutti gli atomi che hanno lo stesso numero di protoni nel nucleo atomico;
2. Una sostanza chimica pura composta da atomi con lo stesso numero di protoni nel nucleo atomico. Talvolta questo concetto è chiamato sostanza elementare distinta dall'elemento chimico come definito nel punto 1, ma per lo più il termine elemento chimico è usato per entrambi i concetti<sup>30</sup>.

Nel punto uno per atomo si deve intendere sia atomo libero, sia atomo in molecole, sia atomo in ioni. Quindi l'atomo libero di idrogeno (H), lo ione idrogeno ( $H^+$ ), gli isotopi dell'idrogeno, deuterio (idrogeno-2 o D) e trizio (idrogeno-3 o T), gli atomi di idrogeno e degli isotopi nei composti come  $NH_3$  (ammoniacca),  $D_2O$  (acqua pesante),  $C_6H_{12}O_6$  (glucosio), tutti appartengono alla categoria elemento chimico idrogeno. La seconda definizione, anche se molto utilizzata, è forviante perché porta a confondere la sostanza semplice con l'elemento. Le caratteristiche essenziali dell'elemento sono: un nome, un simbolo, un numero di protoni (numero atomico), una posizione nella tavola periodica (Fig. 6). Esso non ha proprietà chimiche perché queste sono tipiche delle sostanze, non ha una configurazione elettronica definita, lo ione di un elemento chimico non ha lo stesso numero di elettroni di un atomo neutro isolato dello stesso elemento.

<sup>30</sup> IUPAC Gold Book. <https://doi.org/10.1351/goldbook.C01022>.

**Periodic Table of the Elements**

1 H hydrogen 1.008 +0.0002																	18 He helium 4.0026						
3 Li lithium 6.941 +0.002	4 Be beryllium 9.0122 +0.0001	Key: atomic number Symbol name group number atomic weight														5 B boron 10.81 +0.02	6 C carbon 12.011 +0.002	7 N nitrogen 14.007 +0.001	8 O oxygen 15.999 +0.001	9 F fluorine 18.998 +0.001	10 Ne neon 20.180 +0.001		
11 Na sodium 22.990 +0.001	12 Mg magnesium 24.305 +0.002																	13 Al aluminum 26.982 +0.001	14 Si silicon 28.086 +0.001	15 P phosphorus 30.974 +0.002	16 S sulfur 32.06 +0.002	17 Cl chlorine 35.45 +0.01	18 Ar argon 39.948 +0.001
19 K potassium 39.098 +0.001	20 Ca calcium 40.078 +0.002	21 Sc scandium 44.956 +0.001	22 Ti titanium 47.88 +0.001	23 V vanadium 50.942 +0.001	24 Cr chromium 51.996 +0.001	25 Mn manganese 54.938 +0.002	26 Fe iron 55.845 +0.002	27 Co cobalt 58.933 +0.001	28 Ni nickel 58.69 +0.001	29 Cu copper 63.546 +0.002	30 Zn zinc 65.38 +0.002	31 Ga gallium 69.723 +0.001	32 Ge germanium 72.63 +0.002	33 As arsenic 74.922 +0.001	34 Se selenium 78.96 +0.002	35 Br bromine 79.904 +0.002	36 Kr krypton 83.798 +0.002						
37 Rb rubidium 85.468 +0.001	38 Sr strontium 87.62 +0.001	39 Y yttrium 88.906 +0.001	40 Zr zirconium 91.224 +0.001	41 Nb niobium 92.906 +0.001	42 Mo molybdenum 95.94 +0.001	43 Tc technetium 98.906 [87]	44 Ru ruthenium 101.07 +0.001	45 Rh rhodium 102.91 +0.001	46 Pd palladium 106.42 +0.001	47 Ag silver 107.87 +0.001	48 Cd cadmium 112.41 +0.001	49 In indium 114.82 +0.001	50 Sn tin 118.71 +0.001	51 Sb antimony 121.76 +0.001	52 Te tellurium 127.60 +0.001	53 I iodine 126.90 +0.001	54 Xe xenon 131.29 +0.001						
55 Cs cesium 132.91 +0.001	56 Ba barium 137.33 +0.001	57-71 La-Lu lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49 +0.001	73 Ta tantalum 180.95 +0.001	74 W tungsten 183.84 +0.001	75 Re rhenium 186.21 +0.001	76 Os osmium 190.23 +0.001	77 Ir iridium 192.22 +0.001	78 Pt platinum 195.08 +0.001	79 Au gold 196.97 +0.001	80 Hg mercury 200.59 +0.001	81 Tl thallium 204.38 +0.001	82 Pb lead 207.2 +0.001	83 Bi bismuth 208.98 +0.001	84 Po polonium [209]	85 At astatine [210]	86 Rn radon [222]						
87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [262]	106 Sg seaborgium [263]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [265]	109 Mt meitnerium [266]	110 Ds darmstadtium [267]	111 Rg roentgenium [268]	112 Cn copernicium [269]	113 Nh nihonium [270]	114 Fl flerovium [271]	115 Mc moscovium [272]	116 Lv livermorium [273]	117 Ts tennessine [274]	118 Og oganeson [276]						
57 La lanthanum 138.91 +0.001	58 Ce cerium 140.12 +0.001	59 Pr praseodymium 140.91 +0.001	60 Nd neodymium 144.24 +0.001	61 Pm promethium [145]	62 Sm samarium 150.36 +0.001	63 Eu europium 151.96 +0.001	64 Gd gadolinium 157.25 +0.001	65 Tb terbium 158.93 +0.001	66 Dy dysprosium 162.50 +0.001	67 Ho holmium 164.93 +0.001	68 Er erbium 167.26 +0.001	69 Tm thulium 168.93 +0.001	70 Yb ytterbium 173.05 +0.001	71 Lu lutetium 174.97 +0.001									
89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232.04 +0.001	91 Pa protactinium 231.04 +0.001	92 U uranium 238.03 +0.001	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am americium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkelium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobelium [259]	103 Lr lawrencium [260]									

Fig. 6 – Tavola periodica degli elementi – IUPAC, 2022 (<https://iupac.org>).

## 14. Conclusioni

*Buono fioriva il bromo, soffocante  
allo Zenith, calmante invece al Nadir,  
allor che l'uro avrà anafrodisiaco...* (Queneau, 1950)<sup>31</sup>

Fino ad oggi gli elementi conosciuti sono 118 e l'ultimo elemento sintetico, il quale completa il settimo periodo, è stato ufficialmente chiamato *oganeson*, in onore del fisico russo Jurij Colakovič Oganessian. La sintesi di nuovi elementi non si è certo fermata, la ricerca continua con l'obiettivo di superare il limite finora raggiunto per sintetizzare atomi ancora più pesanti con numero atomico 119 (*ununennio*, Uue), 120 (*unbinilio*, Ubn), 122 (*unbibio*, Ubb) e 126 (*unbihexio*, Ubh). Esiste un grande interesse riguardo a questi elementi perché, iniziando l'ottavo periodo, ci si dovrebbe avvicinare all'ipotizzata "isola di stabilità" dei nuclei superpesanti. Stabilità prevista dai fisici teorici per nuclei con 120 o 126 protoni e 184 o 196 neutroni. Esiste un limite massimo per l'esistenza di un elemento neutro? Al momento non è nota la risposta a questa domanda. I filosofi greci pensavano agli elementi come a entità astratte; per opera di Lavoisier questo punto di vista venne abbandonato e il concetto passò

<sup>31</sup> Il passo citato, secondo l'interpretazione di Calvino e Levi, significa: "il bromo è soffocante se gassoso (zenit, in alto), calmante e anafrodisiaco se precipitato (nadir, in basso) come sale bromuro (quando prende la desinenza uro)".

ad una visione concreta. Egli identificava gli elementi come sostanze semplici, non più decomponibili, isolabili mediante procedimenti chimici e dotati di proprietà che potevano essere osservate sperimentalmente.

Successivamente la concezione astratta riapparve con Mendeleev e Paneth. Secondo Paneth l'elemento deve essere identificato come entità immateriale caratterizzata da un numero atomico. Vale la pena sottolineare che, per evitare ambiguità sarebbe opportuno riservare il termine elemento per indicare una determinata *classe di nuclei*, mentre il termine sostanza semplice andrebbe riferito al corpo materiale nel quale si materializza l'elemento. La presenza del fenomeno della allotropia, termine che indica la proprietà di alcune sostanze di esistere in diverse forme, ha generato la necessità di una nomenclatura capace di distinguere chiaramente tra le diverse sostanze semplici e l'elemento in esse presente. Questo è il caso peculiare del carbonio (che indica l'elemento) mentre i vocaboli carbone, grafite, diamante, fullerene indicano sostanze semplici. In conclusione si parla correttamente del contenuto in carbonio del glucosio e, più in generale, delle sostanze organiche e delle proprietà differenti del diamante o della grafite. Il concetto di elemento richiede quindi particolare attenzione.

## Bibliografia

- ALDERSEY-WILLIAMS H., 2011 – *Favole periodiche*. Rizzoli, Milano, 584 pp.
- ALIOTTA M., 2019 – *Corsa all'oro. Elementi pesanti della nucleosintesi stellare*. In: "Elementi - Asimmetrie", Rivista dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, anno 14, n. 26, pp. 15-17.
- ANDREONI M., 2012 – *L'utilizzo del piombo nella storia: breve excursus*. In: "CnS - La Chimica nella Scuola, Giornale di Didattica e Cultura della Società Chimica Italiana", anno XXXIV, n. 4, pp. 172-175.
- BARBISAN B., MERLINI R., 2022 – *Marie Curie. Un bene per l'umanità*. Edizioni Università di Macerata (EUM), Collana Prolusioni, n. 3.
- BECQUEREL H., 1896 – *Sur diverses propriétés des rayones uraniques*. Note de M. Henri Becquerel, *Compt. Rend.*, **123**, pp. 855-858.
- BERZELIUS J.J., 1819 – *Nouveau Système de Minéralogie*. Traduit du Suédois, chez Méquignon-Marvis, Paris.
- BESANT A., LEADBEATER C.W., 1908 – *Occult Chemistry. Clairvoyant Observations on the Chemical Elements*. Theosophist Office, Adyar, Madras, S. Theosophical Publishing Society, London and Benares City.
- BISWAS A.K., 1993 – *The primacy of India in ancient brass and zinc metallurgy*. *Indian Journal of History of Science*, **28**(4), pp. 309-330.
- BOYLE R., 1661 – *The Sceptical Chymist or chymico-physical Doubts & Paradoxes*. Trad. italiana di M. Borella, Boringhieri, Torino (1962), 313 pp.
- CERVELLATI R., 2020 – *Elementi della Tavola periodica. Bismuto, Bi (prima parte)*. Consultato on line il 19 agosto 2020, <https://ilblogdellasci.wordpress.com>.
- CHANG K., 2002 – *Fermentation, phlogiston and matter theory: chemistry and natural philosophy in Georg Ernst Stahl's Zymotechnia fundamentalis*. *Early Science and Medicine*, vol. 7, n. 1, pp. 31-64.
- CIARDI M., 2008 – *Breve storia delle teorie della materia*. Carocci, Roma, 128 pp.
- CIARDI M., 2019 – *Il segreto degli elementi. Mendeleev e l'invenzione del Sistema Periodico*. Hoepli, Milano, 158 pp.
- CIARDI M., 2023 – *Quando Darwin incontrò Flash Gordon. Scienza e cultura di massa tra Otto e Novecento*. Carocci, Roma, 212 pp.

- COMTE A., 1835 – *Cours de philosophie positive, la philosophie astronomique et la philosophie de la physique*. Tome deuxième, Bachelier, imprimeur-libraire, Paris.
- CONNELLY N.G., DAMHUS T., HARTSHORN R.M., HUTTON A.T., 2005 – *Nomenclature of Inorganic Chemistry - IUPAC Recommendations 2005*. Cambridge, RCS Publishing.
- CUNLIFFE B., 2002 – *The extraordinary voyage of Pytheas the Greek*. Walker & Co., 196 pp., New York.
- DALTON J., 1810 – *A New System of Chemical Philosophy - Part II*. Russell & Allen, London.
- DELAMBRE M., 1867 – *Notice sur la vie et les ouvrages de M. le Comte J.-L. Lagrange, par M. Delambre*. En : J.-A. Serret (éd.) “*Œuvres de Lagrange*”, tome premier, p. XL, Paris.
- DIGBY K., 1682 – *A choice collection of rare secrets and experiments in philosophy. As also rare and unheard-of medicines, menstruums, and alkahests: with the true secret of volatilizing the fixt salt of tartar*. Cooper & Faithorns, London.
- EDWARDS P.P., EGDELL R.G., FENSKE D., YAO B., 2020 – *The periodic law of the chemical elements: 'The new system of atomic weights which renders evident the analogies which exist between bodies'*. Phil. Trans. R. Soc., [1] A 378: 20190537, <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0537>.
- ELENA M., 2013 – *Il nucleare tra pace e guerra*. Atti Acc. Roveretana degli Agiati, anno 263, ser. IX, vol. III, B, pp. 45-70.
- FERMI E., 1938 – *Artificial radioactivity produced by neutron bombardment*. Nobel Lecture, December 12, 1938, in *Physics 1922-1941, Nobel Lectures*, Elsevier, Amsterdam-London-New York (1965).
- FUSO S., 2019 – *L'alfabeto della materia. Viaggio nel mondo degli elementi chimici*. Carocci, Roma, 199 pp.
- GOYA P., ROMÁN P., 2005 – *Wolfram vs. Tungsten*. Chemistry International, vol. 27, n. 4.
- HISAMATSU Y., EGASHITA K., MAENO Y., 2022 – *Ogawa's nipponium and its re-assignment to rhenium*. Found Chem, 24, pp. 15-57, <https://doi.org/10.1007/s10698-021-09410-x>.
- JAHN W., 2008 – “*He brought us closer to the stars*”. *The life of Joseph von Fraunhofer*. In: “*Fraunhofer in Benediktbeuern – Glassworks and Workshop*”, Fraunhofer-Gesellschaft, München, pp. 4-15, [https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/documents/Glashuette\\_engl\\_tcm6-106162\\_tcm63-778.pdf](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/documents/Glashuette_engl_tcm6-106162_tcm63-778.pdf).
- KIRCHHOFF G., BUNSEN R., 1860 – *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen*. Annalen der Physik, 110, pp. 161-189.
- KWOK S., 2021 – *Unexplained Spectral Phenomena in the Interstellar Medium: an introduction*. Astrophys Space Sci, 366, 67, <https://doi.org/10.1007/s10509-021-03974-y>.
- LAVOISIER A.L., 1787 – *Mémoire sur la nécessité de reformer et de perfectionner la Nomenclature de la Chimie, lu à l'Assemblée publique de l'Académie des Sciences du 18 Avril 1787*. In : « Méthode de nomenclature chimique, proposée par MM. De Morveau, Lavoisier, Berthollet et de Fourcroy », chez Cuchet, Libraire, Paris, pp. 1-25.
- LAVOISIER A.L., 1789 – *Traité élémentaire de chimie, présente dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*. Tome premier, Paris.
- MAGGIO A.M., ZINGALES R., 2022 – *La Chimica a Palermo tra le due guerre*. In: F. Calascibetta, M. Ciardi & R. Zingales (a cura di) “*CnS - La Chimica nella Scuola, Società Chimica Italiana - Fascismo, Chimica e Scienza*”, numero speciale, pp. 100-115.
- MAHOOTIAN F., 2013 – *Paneth's epistemology of chemical elements in light of Kant's Opus postumum*. Found Chem, vol. 15, pp. 171-184, <https://doi.org/10.1007/s10698-013-9182-4>.
- MARCHIONNI A., ARMELAO L., 2020 – *Vecchi e nuovi elementi: passato, presente e futuro*. In: C. Colella & G. Marrucci (a cura di) “*Atti del Simposio– Il Sistema Periodico da Mendeleev a Levi*”, 10 maggio 2019, Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti, Napoli, pp. 73-94.
- MENDELEEV D.I., 1869 – *The Correlation of the Properties and Atomic Weights of the Elements*. In: H.M. Leicester & H.S. Klickstein (eds.) “*Source Book in Chemistry 1400-1900*”, McGraw-Hill Book Company (1952), pp. 439-444.
- MENDELEEV D.I., 1901 – *The Principles of Chemistry*. Part one - Science, P.F. Collier & Son, New York.
- MOSELEY H., 1913 – *XCIII. The high-frequency spectra of the elements*. Philosophical Magazine and Journal of Science, vol. 26, n. 156, pp. 1024-1034.
- PAOLONI L., 2007 – *La scoperta dei raggi X e la struttura della materia: 1895-1932*. In: “*CnS - La Chimica nella Scuola, Società Chimica Italiana - La storia della chimica*”, Anno XXIX, numero speciale n. 3, pp. 93-103.
- QUENEAU R., 1950 – *Petite cosmogonie portative*. Traduz. it. di S. Solmi, Einaudi (2003), 196 pp.

- ROBOTTI N., LEONE M., 2019 – *La trasmutazione degli elementi*. La Chimica e l'Industria, online, anno III, n. 4, p. 58.
- RÖNTGEN W.C., 1895 – *Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung)*. In: Sitzungsberichten der Würzburger Physik.-Medic. Gesellschaft, [https://de.wikisource.org/wiki/Über\\_eine\\_neue\\_Art\\_von\\_Strahlen\\_\(Vorläufige\\_Mittheilung\)](https://de.wikisource.org/wiki/Über_eine_neue_Art_von_Strahlen_(Vorläufige_Mittheilung)).
- RUTHERFORD E., 1920 – *Bakerian Lecture: Nuclear Constitution of Atoms*. Proc. Royal Society of London A97, pp. 374-400, <https://doi.org/10.1098/rspa.1920.0040>.
- SACKS O., 2002 – *Zio Tungsteno*. Adelphi, Milano, 412 pp.
- SEGRÈ E., 1971 – *Enrico Fermi, fisico*. Zanichelli, Bologna, 320 pp.
- TADDIA M., 2014 – *Il simbolismo di Berzelius. Un caos di atomi?* La Chimica e l'Industria, a. XCVI, n. 2, p. 56.
- TADDIA M., 2019 – *La classificazione degli elementi nella prima metà del secolo XIX*. La Chimica e l'Industria online, a. III, n. 4, p. 56.
- VOLTA A., 1800 – *XVII. On the Electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different kinds*. In a Letter from Mr. Alexander Volta, F.R.S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to the Rt. Hon. Sir Joseph Banks, Bart. K.B.P.R.R. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, vol. 90, pp. 403-431.





**Riccardo Ianniciello\***

## **Il darwinismo sociale: cenni critici**

### **Riassunto**

*Il presente contributo vuole evidenziare come per il darwinismo sociale non sia possibile equiparare lo studio delle società umane civilizzate ai principi darwiniani della selezione naturale e della sopravvivenza del più forte: tale equiparazione è possibile farla solo per le culture umane che non si sono troppo allontanate dalla condizione primigenia (come quelle dei cacciatori-raccoglitori), e dunque non si sono sottratte alle leggi di natura. Inoltre il darwinismo sociale, proprio per le commistioni che presenta di natura biologica, antropologica, filosofia e politica, non si presta a una seria indagine scientifica e sociologica, configurandosi come una dottrina dalle inquietanti e pericolose implicazioni (soggetta com'è a ogni strumentalizzazione di sorta) proprio perché può essere adottata da individui, gruppi o nazioni per giustificare sopraffazione, crimini e guerre.*

### **Abstract**

**Social Darwinism: critical remarks.** *In sociology, social Darwinism is a current of thought according to which the study of human societies is equated with the Darwinian principles of natural selection and survival of the fittest. Starting from the ideas expressed by social Darwinism, this article aims to show that it is not possible to equate the study of civilised human societies to Darwinian principles. Indeed, this equalisation could perhaps be applied only to those human cultures that are still close to man's primitive condition (such as hunter-gatherer societies) and therefore subject to the laws of nature. Furthermore, social Darwinism cannot be analysed according to serious scientific and sociological investigations precisely because it is a mixture of biological, anthropological, philosophical and political elements. As such, social Darwinism constitutes a doctrine with unsettling and dangerous implications since it may easily be subject to all sort of exploitation because it could be adopted by individuals, groups or nations to justify abuse, crime and war.*

**Parole chiave:** *Darwinismo sociale, evolucionismo, antropologia, sociologia*

**Keywords:** *Social Darwinism, evolutionism, anthropology, sociology*

---

\* Naturalista, Piazza Prada 15, 38057 PERGINE (TN); e-mail: riccardo.ianniciello@yahoo.it.

## 1. Il darwinismo sociale

In sociologia il darwinismo sociale si riferisce a una corrente di pensiero i cui teorici equiparano lo studio delle società umane ai principi darwiniani della selezione naturale e della sopravvivenza del più forte, indicando che tali regole devono essere applicate all'uomo. Il termine darwinismo sociale fu coniato con intento peggiorativo dal giornalista anarchico francese Émile Jean-Marie Gautier nel 1880 in riferimento al 50° congresso dei naturalisti tedeschi, i quali discussero sul senso politico del darwinismo, attribuendo una giustificazione biologica e antropologica alle ineguaglianze sociali.

È tuttavia necessario accennare alle origini del socialdarwinismo: sin dall'antichità le classi dominanti tentarono di giustificare le disparità di classe come differenze antropologiche: il giansenismo e il calvinismo, in questo senso, sostenevano che ricchezza e povertà erano testimonianza della volontà divina. La Chiesa Cattolica si oppose fermamente a tali teorie che mettevano radicalmente in discussione i principi dell'uguaglianza degli uomini professata da Gesù Cristo e contrastò successivamente il socialdarwinismo perché sostanzialmente giustificava le ingiustizie e i soprusi a discapito dei più deboli. In Linneo possiamo ravvisare le radici del darwinismo sociale in quanto egli presumeva la superiorità della razza bianca sulle altre e di conseguenza ammetteva la necessità di dominarle.

Nicolas de Condorcet<sup>1</sup> sosteneva che l'uomo è perfettibile e nella storia è possibile leggere quel progresso evolutivo e i suoi diversi stadi di sviluppo: dai popoli primitivi "meno evoluti" finì al vertice dello sviluppo/progresso della specie umana identificabile nelle società civilizzate [Condorcet aveva sicuramente in mente la Francia del XVIII secolo]. Thomas Hobbes definiva la società umana *Bellum omnium contra omnes*<sup>2</sup> prendendo a prestito un verso di Plauto: *Homo homini lupus*<sup>3</sup>.

Anche il cugino di Darwin, Francis Galton, fondatore dell'eugenetica, non rinunciò alla tentazione di equiparare i principi dell'evoluzionismo a quelli della politica, sostenendo, per esempio, che i ceti più poveri facessero più figli rispetto alle classi agiate, determinando in tal modo una degenerazione della popolazione sia dal punto di vista biologico che morale. Il pensiero sociologico ottocentesco, influenzato dagli studi di biologia e paleontologia si soffermò molto sul concetto di evoluzione, accogliendo in particolare l'idea che il progresso delle società civilizzate fosse equiparabile all'evoluzione biologica degli organismi, da forme più semplici a quelle più complesse e intelligenti. Lo

<sup>1</sup> Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat, marchese di Condorcet (1743-1794), è stato un matematico, economista, filosofo e politico rivoluzionario francese. Fece parte del gruppo degli "enciclopedisti", stringendo una proficua collaborazione in particolare con i *philosophes* D'Alembert, Diderot e Voltaire.

<sup>2</sup> Cfr. T. Hobbes *De Cive* (1642).

<sup>3</sup> Cfr. Tito Maccio Plauto *Asinaria*, a. II, sc. IV, v. 495.

studio dell'organizzazione umana era pertanto associato a quello del mondo naturale attraverso il concetto di evoluzione che sostanzialmente trovava delle analogie con quanto avviene in natura con l'evoluzione delle specie.

Nella seconda metà dell'Ottocento troviamo l'affermarsi dell'evoluzionismo sostanzialmente attraverso le opere di Charles Darwin e di Jean-Baptiste Lamarck. Darwin supera i dogmi del creazionismo e dell'idea di un ordine naturale perfettibile: ispirato dalle teorie di Thomas R. Malthus prende forma il concetto di lotta per l'esistenza e di selezione naturale (Darwin, 2011). Concetto di lotta per l'esistenza che per Malthus e Adam Smith si riferirà alla costruzione di un ordine economico dettato da un caos apparente sostenuto dalla concorrenza vitale. Herbert Spencer (Fig. 1), partendo dalle idee scientifiche di Darwin e di Lamarck, sosterrà che l'evoluzione è alla base della legge generale di sviluppo delle società che a sua volta corrisponde a un processo universale di evoluzione. Spencer – come Condorcet – sosteneva infatti che le società evolvono in un processo di perfezionamento da semplici a quelle sempre più complesse e differenziate, con conseguenti cambiamenti di regole e modi dei comportamenti sociali: analogamente a come avviene in natura, dove troviamo organismi semplici e organismi complessi e meglio adattati.

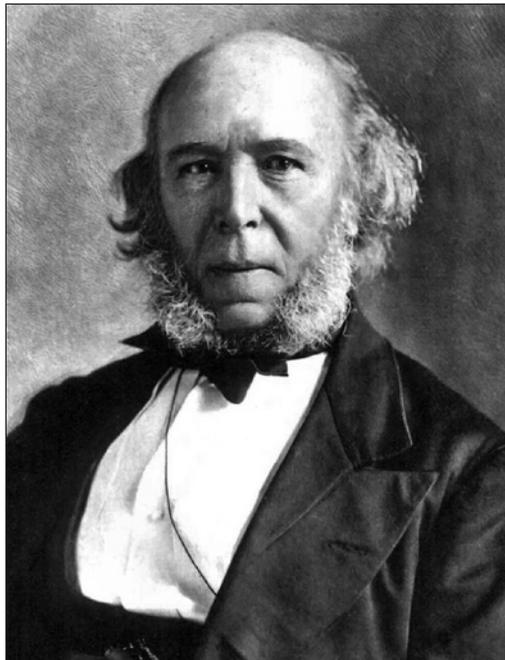


Fig. 1 – Il filosofo inglese Herbert Spencer (1820-1903).

Attraverso l'unione di collettività minori, le società crescono quantitativamente e questa crescita implica una differenziazione fra le varie parti e infine delle stesse strutture sociali. Varie fasi che possono avvenire in diversi periodi storici e che avanzano incessantemente; ci troviamo pertanto di fronte a stadi di una linea evolutiva permanente.

Questa società viene definita da Spencer come “realtà superorganica”, per distinguerla da forme di evoluzione organica delle altre specie viventi. Nel passaggio da forme tribali primitive a strutture politiche, sociali ed economiche più complesse, Spencer vide un processo evolutivo riconducibile alla selezione naturale e dunque alla sopravvivenza di gruppi e istituzioni più idonee ed efficaci. Da qui l'inevitabile passaggio al ruolo della guerra come processo di differenziazione sociale con l'eliminazione delle società più deboli (Spencer, 1967, 2017). La teoria darwiniana dell'evoluzione ebbe quindi notevoli ripercussioni, come abbiamo accennato, non solo nell'ambito della biologia ma in ogni campo dell'umano sapere.

Nel XIX il dibattito innescato dalla teoria darwiniana dell'evoluzione portò a interpretazioni radicali dell'evoluzionismo identificabili nei principi di politica economica noti come *Laissez-faire*<sup>4</sup> teorizzati dall'economista Adam Smith: ogni individuo agendo in un sistema di libero mercato è dunque soggetto alle leggi della concorrenza. Perseguendo i propri egoistici interessi inconsapevolmente realizza il benessere della collettività. Di conseguenza lo Stato deve astenersi dall'intervenire sul sistema economico (che è in grado di autoregolarsi), in quanto ogni iniziativa in questo senso finirebbe per danneggiare l'economia, frenandone la crescita. Spencer sostenne che il darwinismo e il *Laissez-faire* andavano a braccetto. Egli riteneva che i figli devono ricevere dai genitori degli aiuti inversamente proporzionali alla loro capacità e abilità, così allo stesso modo lo Stato assegnerà dei benefici ai giovani direttamente proporzionali ai loro meriti. I bisognosi non vanno aiutati dallo Stato per evitare il moltiplicarsi di individui inferiori. La selezione naturale avrebbe consentito l'affermarsi degli individui più forti e meglio adattati e l'eliminazione degli individui nocivi, parassiti, garantendo il benessere della collettività e il progresso. Il darwinismo sociale si configura pertanto come una ideologia che vede nelle lotte di classe e nelle guerre di conquista un'analogia con pretese di scientificità con la legge della selezione naturale che avviene in natura, legittimando per ciò che riguarda gli aspetti biologici e antropologici le disegualianze sociali e la sopraffazione dei più deboli.

---

<sup>4</sup> *Laissez-faire*, letteralmente “lasciate fare”; espressione assunta a simbolo del liberismo economico, funzionale ai liberisti del XVIII secolo ai fini dell'abolizione di ogni vincolo economico.

Nel XX secolo i teorici del nazismo utilizzarono in modo strumentale le teorie di Darwin sulla sopravvivenza del più forte per giustificare l'eliminazione sistematica di ebrei, zingari e disabili.

## 2. Critica al darwinismo sociale

La critica della sociologia spenceriana con Lucien Lévy-Bruhl, Henry Michel e Gabriel Tarde metterà in discussione il pericoloso contenuto politico e morale insito nel darwinismo sociale. Il sociologo francese Émile Durkheim prenderà le distanze dalla teoria spenceriana, nonostante accoglierà alcuni aspetti del darwinismo sociale. Sostanzialmente la teoria di Durkheim, si discosta da quella di Spencer in quanto l'analogia tra evoluzione organica e sociale è metaforica e non realistica. La biologia non può essere applicata all'uomo se non in parte e lo studio della morale richiede una scienza a parte.

Al concetto di darwinismo sociale si oppone anche il filosofo britannico George Ritchie, il quale vide nella selezione naturale – considerata da Spencer strumento benefico per la salvezza dei meritevoli – un processo che procurava infinite sofferenze. Ritchie riteneva che la società umana, con la complessità dei suoi fattori, non consentiva di poter parlare di “lotta per la sopravvivenza”, di sopravvivenza del più adatto: *«L'aperta competizione potrebbe portare risultati di qualche valore se ognuno al momento della partenza fosse onesto, corresse con le proprie gambe e portasse lo stesso peso; ma competizioni tra un uomo in un sacco con un fardello sulle spalle, uno con un buon cavallo ed un terzo con un treno espresso è una farsa e una cosa crudele, quando la corsa viene fatta per la vita. Proprio questo è invece quanto i nostri aspiranti politici evolucionisti propongono seriamente; e si ritengono “scienziati” per di più! La selezione naturale deve acquisire un significato diverso da questo prima che venga applicata alla prassi politica»* (Ritchie, 2020).

Collegandomi al pensiero di Ritchie, a mio avviso la selezione naturale può avvenire ed è dunque concepibile per l'uomo solo in un contesto naturale, non in quello artefatto delle società umane civilizzate, essendosi queste allontanate dalla condizione primitiva: sono troppe le varianti di natura biologica, sociologica e antropologica che entrano in gioco. Non si può equiparare la selezione naturale che vige in natura all'uomo civilizzato che si è sottratto alle leggi naturali: in natura un individuo che nasce con delle malformazioni non avrebbe alcuna possibilità di sopravvivenza, mentre nella nostra società egli non solo può vivere, ma anche lavorare, riprodursi ecc. Stesso discorso vale per gli ammalati: in un contesto naturale come lo poteva essere quello degli uomini primitivi, gli ammalati, senza medicine e aiuti non avrebbero avuto possibilità di vivere, di procurarsi il cibo e così via, mentre nelle nostre società evolute hanno la possibilità di essere curati e di sopravvivere.

Stranamente Spencer non fa menzione nei suoi scritti degli ammalati, né dei malformati, perché evidentemente questi aspetti avrebbero fatto miseramente naufragare la sua teoria. Nelle culture umane primitive gli individui che nascono con disabilità vengono soppressi, semplicemente perché non riuscirebbero a sopravvivere e, se aiutati, sarebbero solo un peso per le comunità nomadi di cacciatori- raccoglitori che dovevano continuamente spostarsi sul territorio in cerca di risorse. Qui non troviamo nessuna crudeltà o pianificazione di carattere ideologico e discriminante, solo la legge della selezione naturale. In queste comunità ognuno svolge un ruolo preciso: gli uomini si occupano della caccia e della pesca, le donne e i bambini di raccogliere erbe e tuberi commestibili e legna per riscaldarsi, purtroppo non c'è spazio per coloro che nascono con delle malformazioni o che si ammalano gravemente, così come avviene nel mondo animale. È la legge spietata della natura.

A tale riguardo, ne *L'origine dell'uomo* Darwin assume posizioni che potremmo definire estreme: «*Presso i selvaggi, i deboli di corpo o di mente vengono presto eliminati, e coloro che sopravvivono presentano solitamente un vigoroso stato di salute. Noi uomini civilizzati, al contrario, facciamo del nostro meglio per ostacolare il processo di eliminazione naturale: costruiamo ricoveri per gli idioti, gli storpi e i malati; approviamo leggi per i poveri, e i nostri medici esercitano la massima perizia per salvare la vita di ciascuno fino all'ultimo momento. Vi è ragione di credere che la vaccinazione abbia salvato migliaia di persone, che a causa di una debole costituzione in passato sarebbero morte di vaiolo. Così nelle società civilizzate i membri deboli propagano il proprio genere. Chiunque si sia occupato degli allevamenti di animali domestici avanzerà il dubbio che ciò sia assai dannoso per la razza umana. È sorprendente come la mancanza di cure, o di cure mal dirette, porti rapidamente alla degenerazione di una razza domestica, ma eccetto il caso dell'uomo stesso, nessuno forse è così ignorante da permettere che i propri peggiori animali si riproducano. L'aiuto che ci sentiamo spinti a dare a chi ne ha bisogno è principalmente un risultato eccezionale dell'istinto di simpatia, che fu acquisito originariamente come parte degli istinti sociali ma che divenne in seguito più delicato e ampiamente diffuso (...). Il chirurgo può indurire sé stesso mentre effettua un'operazione, perché sa che sta agendo per il bene del paziente, ma se noi intenzionalmente trascuriamo i deboli e gli inermi, può derivarne solo un beneficio, a fronte di un male terribilmente presente» (Darwin, 2010).*

Qui addirittura si può ravvisare in Darwin l'idea di accettare che la natura (selezione naturale) faccia il suo corso, nel senso di "trascurare intenzionalmente" gli individui deboli per trarne un beneficio, rinvigorendo così il genere umano (al pari di quello che avviene per la selezione nelle razze domestiche). Forse è da passaggi come questo che hanno tratto ispirazione i socialdarwinisti come Spencer, ma estendendo strumentalmente il concetto alle sue forme

estreme. Un conto è sostenere, come fa Darwin, che in via teorica il trascurare i deboli porterebbe dei giovamenti alla razza umana, altro è metterlo in pratica e giustificare la sopraffazione del debole con armi improprie, equiparando questa operazione al meccanismo della selezione naturale che vige in natura. Lester F. Word sostiene che nelle idee di molti socialdarwinisti mancano dei contenuti specificatamente darwiniani e ritiene che la teoria dell'evoluzionismo di Darwin sia stata strumentalizzata per fini ideologici e politici: quest'ultimo aspetto è sicuramente vero, ma se ci riferiamo a pensieri di Darwin come quello sopracitato (tratto da *L'origine dell'uomo*), certo non possiamo negare che vi siano degli aspetti della selezione naturale collegabili al genere umano e che i socialdarwinisti avevano colto.

Dunque Spencer e i socialdarwinisti estendono ideologicamente e intenzionalmente la teoria della selezione naturale all'uomo civilizzato: ma si può parlare di sopravvivenza del più forte quando un individuo o uno Stato uccide delle persone inermi con delle armi? La storia della civiltà è intrisa di delitti, di crimini efferati, di nefandezze di ogni genere che hanno interessato singoli individui, comunità e nazioni che nulla hanno a che fare con il concetto di selezione naturale. Non possiamo giustificare tali crimini con la selezione naturale che può avvenire, ricordiamolo, solo in un contesto naturale dove le regole non sono truccate, né stravolte. Con il darwinismo portato alle estreme conseguenze è stata praticata una pericolosa strumentalizzazione ideologica che ha portato a giustificare i crimini più efferati, le guerre e i genocidi.

Per continuare con degli esempi, se nella nostra società evoluta un individuo, con la truffa, l'inganno raggira i propri simili e acquista ricchezze e prestigio, possiamo parlare di successo del più forte? Cosa significa il concetto di selezione naturale e sopravvivenza del più forte e del più adatto in natura? Semplificando, un ghepardo sopravvivrà solo se in grado di predare e, riproducendosi, potrà trasmettere le sue caratteristiche positive alla prole; gli individui deboli, incapaci di cacciare invece soccomberanno.

Nell'uomo primitivo (cacciatore-raccoglitore) la selezione naturale in qualche misura è ancora applicabile: pur se un cacciatore può utilizzare strumenti come l'arco o le lance deve comunque misurarsi con la natura, dimostrando forza, abilità, resistenza: nell'inseguire e stanare una preda, nel trasportarla e così via, mentre l'individuo non in grado di farlo semplicemente non sopravvive. Nell'uomo civilizzato un cacciatore (che può anche essere fisicamente malformato, affetto da varie patologie ecc.) imbraccia un fucile e spara alla sua preda da un capanno per gli appostamenti: non ci vuole una particolare abilità o forza per compiere un simile gesto per cui non viene operata alcuna selezione. Ecco come la selezione naturale non può essere estesa all'uomo civilizzato, proprio perché con l'invenzione di strumenti e tecnologie sempre più sofisticati, ci si è sottratti alle leggi di natura.

### 3. Dall'evoluzionismo al darwinismo sociale: un passaggio azzardato

Se estendiamo il concetto di scienze sociali e dunque antropologiche e sociologiche alle scienze biologiche, l'evoluzionismo darwiniano risponde ai paradigmi fissati dall'epistemologo statunitense Thomas Kuhn, in quanto si tratta di una prospettiva teorica condivisa e riconosciuta dagli studiosi del settore, fondata su acquisizioni precedenti (pensiamo al concetto di evoluzionismo che parte dai filosofi greci fino ai contributi di Lamarck e di Mendel) e indirizzata alla ricerca riguardo ai fattori rilevanti da studiare, alla formulazione delle ipotesi e ai metodi e alle tecniche da utilizzare (nel caso dell'evoluzionismo parliamo di ricerca biologica, paleontologica e recentemente di genetica molecolare). Con il darwinismo sociale c'è un passaggio azzardato dalle scienze biologiche e antropologiche, proprie del paradigma evoluzionista, alla filosofia, all'ideologia e alla politica, dunque alla mera speculazione. L'intreccio di più piani (biologico, antropologico, filosofico e politico) vanifica i criteri di scientificità alla base delle scienze sociali e propriamente evoluzionistiche (metodo scientifico). I criteri di comprovabilità, di comparazione, di oggettività propri del metodo scientifico, vengono meno e dunque non sono applicabili. Pensiamo solo alla presunta propensione alla guerra dell'uomo prospettata da Hobbes; se traduciamo la massima *Homo homini lupus*, vale a dire l'aggressività intraspecifica, essa è riscontrabile in natura ma solo in forma strettamente ritualizzata (le lotte gerarchiche all'interno di un branco di lupi non sono mai cruente, non si risolvono mai in un'uccisione; il vincitore non infierisce mai sul contendente che si sottomette offrendo la gola). In natura non esiste la crudeltà gratuita, il sadismo e tutte le forme patologiche di aggressività di cui è capace l'uomo civilizzato. Negli animali, nei conflitti tra gruppi e famiglie della stessa specie esistono delle regole: uno scontro tra due branchi di leoni si risolve in qualche ferimento e nella ritirata strategica di uno dei due gruppi contendenti, che in questo modo dichiara la propria sconfitta. Nei conflitti intertribali tra gruppi di cacciatori-raccoglitori vale lo stesso discorso: per lo più lo scontro è ritualizzato e si risolve con il ritiro di uno dei gruppi; raramente vi sono delle uccisioni (Eibl-Eibesfeldt, 1999).

Con la scoperta dell'agricoltura e dell'allevamento e dunque con la comparsa di un surplus alimentare con accumulazioni di beni, vi è il passaggio da forme belligeranti sostanzialmente ritualizzate e poco cruente a conflitti connotati da aggressività anomala con uccisioni, stragi e forme di crudeltà e tortura: i limiti e le regole vengono meno. Nell'uomo civilizzato l'aggressività intraspecifica assume connotati patologici e criminosi, un *unicum* nell'etologia. Pensiamo ancora al concetto di egoismo che i neodarwinisti ritengono regola comune in natura (un dato che faceva comodo per giustificare prevaricazioni e in ultima analisi guerre di conquista) e dunque anche nell'uomo: anche qui abbiamo una visione distorta dei parametri antropologici ed etologici di valutazione. In natura accanto ai geni egoisti esistono anche quelli altruisti

(Bonino, 2012; Sloan Wilson, 2015; Dawkins, 2017) che i biologi evolutivisti spiegano in termini di *fitness* genetica, vale a dire di un vantaggio biologico che ne deriverebbe nella sopravvivenza e nella trasmissione dei propri geni.

Io aggiungo semplicemente che ci troviamo di fronte a manifestazioni di affezione, di “solidarietà” che si vengono a creare tra individui: un cane che si lascia andare (morire) alla dipartita del proprio padrone, rifiutando cibo ed acqua, è qualcosa che va oltre un istinto riconducibile a un vantaggio meramente biologico quale quello prospettato dai biologi evolutivisti. In Abruzzo è stato documentato un piccolo branco di lupi aspettare un loro compagno ferito ad una zampa: quale vantaggio evolutivo ne deriverebbe da un simile atto di “solidarietà”? In Africa dei leoni che avevano ucciso uno gnù permisero a una leonessa del loro branco che era stata malamente ferita da un bufalo (e dunque incapace di cacciare) di avvicinarsi alla carcassa e di mangiare. E ancora, cosa porta un uomo a rischiare la propria vita per salvare uno sconosciuto che sta annegando? O a immolarsi (come nel caso di Salvo D’Acquisto) per salvare dei propri simili?

#### 4. Considerazioni conclusive

Abbiamo visto come per il darwinismo sociale non sia possibile equiparare lo studio delle società umane civilizzate ai principi darwiniani della selezione naturale e della sopravvivenza del più forte: tale equiparazione è possibile farla solo per le culture umane che non si sono troppo allontanate dalla condizione primigenia (come quelle dei cacciatori-raccoglitori), che non si sono dunque sottratte alle leggi di natura.

Inoltre il darwinismo sociale, proprio per le commistioni che presenta di natura biologia, antropologia, filosofia e di ideologia politica, non si presta a una serie indagine scientifica e sociologica, configurandosi come una dottrina dalle inquietanti e pericolose implicazioni (soggetta com’è a ogni strumentalizzazione di sorta) proprio perché può essere adottata da individui, gruppi o nazioni per giustificare sopraffazione, crimini e guerre.

#### Bibliografia

- BONINO S., 2012 – *Altruisti per natura: alle radici della socialità positiva*. Edizioni Laterza, 160 pp.  
DARWIN C., 2010 – *L’origine dell’uomo e la selezione sessuale*. Newton Compton Editori (edizione integrale), 480 pp.  
DARWIN C., 2011 – *L’origine delle specie*. Bollati Boringhieri, Torino, 592 pp.  
DAWKINS R., 2017 – *Il gene egoista*. Mondadori, Milano, 395 pp.  
EIBL-EIBESFELDT I., 1999 – *Etologia della guerra*. Bollati Boringhieri, Torino, 323 pp.  
RITCHIE D.G., 2020 – *Darwinismo e politica*. Am Edizioni, Roma, 414 pp.  
SLOAN WILSON D., 2015 – *L’altruismo*. Bollati Boringhieri, Torino, 160 pp.  
SPENCER H., 1967 – *Principi di sociologia*. UTET (due volumi), Torino, 2272 pp.  
SPENCER H., 2017 – *Educazione intellettuale, morale e fisica*. Anicia Edizioni, Roma, 320 pp.





Romano Guerra\*, Laura Guerra\*\*

## Le ceraunie: testimonianze della preistoria in Emilia-Romagna

### **Riassunto**

*Sono state esaminate tracce di carattere preistorico con particolare attenzione a quelle emiliano-romagnole quando ancora il concetto di preistoria non esisteva perché insito nella genesi biblica. Nel corso dei secoli sono stati ritrovati reperti di non facile identificazione chiamati ceraunie, rivelatesi poi essere frecce, utensili ed asce di pietra. Dopo numerosi e fantasiosi tentativi di ricostruzione dei tempi primordiali, all'inizio del XIX secolo i fratelli imolesi Cerchiari e Giuseppe Scarabelli trovarono e riconobbero resti di civiltà preistoriche grazie alle loro giuste intuizioni.*

### **Abstract**

*“Cerauniae”, early prehistoric artefacts in Emilia-Romagna (Italy). Prehistoric finds have been examined giving particular attention to those found in Emilia-Romagna. In ancient times, the concept of prehistory did not yet exist because the belief in the biblical genesis was deeply rooted. Over several centuries, enigmatic exhibits of problematic identification were named “cerauniae”. They were later shown to be arrowheads, stone axes and various tools, thanks mainly to the Cerchiari brothers and Giuseppe Scarabelli from Imola, who found and properly recognised the remains of prehistoric civilisations in the early 19<sup>th</sup> century.*

**Parole chiave:** Ceraunia, asce, punte di freccia, primi reperti, Emilia-Romagna

**Keywords:** Ceraunia, axes, arrowheads, early exhibits, Emilia-Romagna (Italy)

---

\* Via P. Tibaldi 20, 40129 BOLOGNA, e-mail: info@romanoguerra.it, Internet: www.romanoguerra.it.

\*\* Via P. Tibaldi 20, 40129 BOLOGNA, e-mail: info@libreriaauraguerra.it, Internet: www.libreriaauraguerra.it.

## 1. Prefazione

La preistoria umana rappresenta il capitolo più interessante della paleontologia in quanto cerca di definire il passaggio di un gruppo di primati dallo stadio animale alla condizione umana che si basa su due caratteristiche inedite e concomitanti: il bipedismo e la produzione di manufatti. Questa branca della scienza che poi venne divisa in altre specializzazioni, fu chiamata sin dalla seconda metà dell'Ottocento "Paleontologia" ovvero studio delle antiche culture, con l'analisi dei reperti lapidei riconosciuti come prodotti dell'uomo nell'epoca denominata Paleolitico a cui si sommarono le invenzioni del Neolitico, delle Età del Bronzo e del Ferro per poi sfociare nei tempi protostorici e storici.

Questo accumulo di conoscenze, che ha sempre più arretrato la datazione dei primi tempi dell'ominazione, ha fornito nel tempo una ricchezza d'informazioni che permette di avere una visione molto ampia del lungo periodo in cui l'uomo ha sviluppato quelle capacità mentali e culturali che hanno portato nel tempo alla realizzazione del mondo moderno in cui viviamo.

Prima di questo stadio delle conoscenze, che iniziò attorno alla metà dell'Ottocento, si erano notati manufatti in pietra e costruzioni anche notevoli che nessuno riusciva a spiegare se non ricorrendo a racconti mitici che affondavano nelle antiche mitologie senza la minima correlazione con quanto si scopriva, ossia che esisteva un periodo lunghissimo, inimmaginabile e straordinario in cui vissero uomini che precedettero quelli storicamente conosciuti.

Il periodo preso in esame nella presente ricerca ha avuto un lungo lasso di tempo di gestazione nel quale hanno giocato alcune rare intuizioni, mai sfociate in asserzioni decise, e il ritrovamento di oggetti enigmatici dei quali per diversi secoli non si è riusciti a comprendere il significato e la provenienza. È proprio questo lungo periodo, che va dall'inizio della storia alla metà del XIX secolo e che precede l'intuizione di alcuni grandi studiosi, che forma l'oggetto del presente contributo, con la speranza di togliere, almeno in parte, la fitta nebbia che ne ha impedito la ricerca e la comprensione per tanti secoli.

Il ritrovamento di alcuni oggetti enigmatici, come asce, martelli e punte di freccia in pietra fecero sorgere alcune idee sui materiali di cui da millenni l'uomo non faceva più uso, perché aveva scoperto l'uso dei metalli. Materiali e tecniche utilizzate per milioni di anni erano scomparse non solo per il progresso dell'umanità, ma anche perché i millenni che avevano separato le età della pietra, del rame, del bronzo e dell'inizio di quella del ferro non ne avevano lasciato memoria privi come erano della scrittura.

Fu così che quando i naturalisti cominciarono a scrivere di oggetti curiosi, per farsene una ragione, ipotizzarono storie che nulla avevano a che fare con i loro antichi e veri usi tanto che i materiali litici più appariscenti furono spesso attribuiti a fenomeni atmosferici ed in particolare ai fulmini, che frequentemente nella Grecia antica cadevano nel nord del Paese, sui cosiddetti Monti

Acrocerauni (ora nel sud dell'Albania) dai quali vennero denominati *ceraunie*<sup>1</sup>. Tale nome fu poi utilizzato fino al secolo XVIII e a volte anche all'inizio di quello successivo.

Invero i cristiani non furono mai troppo sollecitati ad indagare sui tempi definiti poi come preistorici, perché la preistoria per loro semplicemente non esisteva. Da quando nel IV secolo dopo Cristo il cristianesimo era diventato la religione ufficiale dell'impero romano e la Bibbia era stata adottata come libro sacro, non potevano esserci dubbi. Il testo della Genesi raccontava infatti come Dio avesse creato l'universo, la terra, le piante, gli animali e l'uomo (Adamo), con una costola del quale aveva poi creato la donna (Eva). In seguito, dopo la cacciata dall'Eden, gli uomini ne tradirono di nuovo la fiducia ed Egli dovette "annegarli" tutti ad eccezione di otto persone giuste che ripopolarono la Terra dopo la fine del cataclisma, essendosi salvati sull'arca da loro stessi costruita, sulla quale venne ospitata una coppia di tutte le specie animali. In effetti l'umanità aveva un'altra coppia da cui tutta discendeva ed erano Noè e sua moglie.

L'approdo al monte Ararat, la costruzione della torre di Babele e il successivo caos linguistico e tribale avevano generato i presupposti della formazione dei popoli e delle tribù che avrebbero abitato nuovamente la terra. Non c'erano quindi grandi problemi da sviscerare. Bastava seguire la Bibbia e tutto era chiaro; qualsiasi dubbio sarebbe stato blasfemo. Le conchiglie sui monti erano giustificate dal diluvio universale; le grandi ossa fossili erano appartenute a giganti ai quali la Bibbia accennava.

Qualcuno poi nel secolo XVIII aveva anche trovato i resti di un "uomo" annegato in quella alluvione. Tutto ciò soddisfaceva le curiosità dei pochi eruditi, normalmente immersi nei libri delle loro biblioteche, che non avevano bisogno di controllare sul terreno quello che Dio aveva ispirato a Noè.

Quanto poi non scrisse Mosè, lo scrissero i commentatori del libro della Genesi nel tentativo di renderlo più comprensibile. Molti esegeti si dedicarono a calcolare quanti anni erano passati dalla creazione al diluvio universale e dal diluvio alla nascita di Gesù, ma i calcoli erano diversi a seconda degli autori; ne dà testimonianza il gesuita Giovanni Stefano Menochio (1575-1655) in una tabella da lui redatta (Menochio, 1758, Tomo III, p. 345) in cui sono elencati i calcoli di vari biblisti. Gli esperti si erano espressi da 6984 a 3740 anni per il citato lasso di tempo. In linea di massima la maggior parte dei biblisti si concentrò sul calcolo del vescovo anglicano James Ussher (1581-1656) che valutò in 4004 anni quell'intervallo mentre il diluvio sarebbe avvenuto circa 1650 anni da quei fatidici giorni. C'erano altri che ritenevano che Dio avesse cacciato uomo e donna dal paradiso terrestre in autunno in quanto, in quella

---

<sup>1</sup> In origine il termine *ceraunia* indicava una "pietra generata dal fulmine", in seguito assunse il significato di qualsiasi manufatto antico in pietra o anche in metallo di incerta attribuzione.

stagione, le foglie di fico erano più grandi e coprivano meglio le loro pudicizie. Altri si chiesero – si era già nel Settecento – se Adamo avesse l'ombelico in quanto non generato da donna, tralasciando lo stesso problema per Eva ed altre storie simili.

Come si può ben comprendere tutto era quasi chiarissimo e quello che non lo era veniva attribuito alla brevità del racconto biblico che normalmente consisteva in poche pagine.

C'erano però anche strani reperti e monumenti che erano inspiegabili, per i quali furono inventate storie curiose ed anche irreali: punte di freccia, asce e martelli in pietra, oggetti in bronzo che furono chiamati *ceraunie* e costruzioni realizzate per lo più con grandi blocchi di pietra, la cui origine ed utilizzo restarono avvolti nel mistero per secoli, considerate altrimenti opere di giganti. Tutti questi manufatti furono dunque chiamati *ceraunie*.

La ricerca di che cosa fossero veramente le *ceraunie* coinvolse nel tempo anche altri settori della meteorologia come la formazione dei fulmini, lo studio dell'elettricità, la caduta di meteoriti ed altri fenomeni che deviarono ed ampliarono a volte le indagini sulla vera natura di questi reperti. Il notevole lasso di tempo tra la fine dell'Età della Pietra, l'utilizzo dei metalli e l'invenzione della scrittura fecero perdere all'umanità il ricordo dell'uso delle pietre dure per la produzione di strumenti; anzi, come utensili si riconobbero solo le punte di freccia, le asce e i martelli levigati: tutti gli altri oggetti forgiati dall'uomo per milioni di anni sfuggirono alle limitate ed occasionali ricerche sul campo e anche ai molti frequentatori delle biblioteche che traevano le loro nozioni da scritture del passato per trasmetterle tali e quali ai successori. Pochi, anzi pochissimi, aggiunsero qualcosa, ma essendo in netta minoranza e privi del supporto dell'autorevolezza dei testi di cui disponevano altri, rimasero inascoltati. Fu così che si dovette attendere la metà del XIX secolo per trovare qualcuno che riuscisse a farli emergere dall'oblio del tempo e riportarli al loro giusto posto nella storia dell'umanità in quanto lo studio della produzione di manufatti è oggi considerato indispensabile per comprendere il percorso di ominazione.

## 2. L'Antichità

Nell'Antichità, quando l'invenzione della scrittura permise di conservare la memoria di personaggi, eventi e pensieri, l'uomo si era già dimenticato dell'uso degli strumenti in pietra usati per milioni d'anni, utilizzando solo legno e metalli per gli utensili di sua necessità.

Degli oggetti a cui si è fatto cenno in precedenza, i primi ad essere notati furono le punte di freccia sulle quali si fondarono strane storie legate ai fulmini, i quali le avrebbero prodotte nell'attimo in cui toccavano il terreno.

Di tempi preistorici scrisse il filosofo romano Lucrezio Caro (94-51 a.C.),

autore di *De Rerum Natura*. Non si può escludere che egli stesso avesse raccolto notizie sull'esistenza di popoli selvaggi, viventi al margine dei territori occupati dai Romani. Simili furono le parole scritte da Publio Ovidio Nasone (43 a.C.-17 d.C.), mentre Virgilio (70-19 a.C.) utilizzò il termine ceraunia nell'Eneide e nelle Georgiche. Plinio il Vecchio (23-79 d.C.), autore della famosissima *Naturalis historia*, ne diede una descrizione in questi termini: *Tra le pietre bianche c'è anche quella che si chiama ceraunia: imprigiona il bagliore delle stelle, è in sé cristallina ma di splendore ceruleo* (Plinio, 77 d.C., p. 823).

### 3. Il Medioevo

Le ceraunie furono oggetto di numerose note nel Medioevo a partire da Isidoro di Siviglia (560-636) che citò queste pietre in *Etymologiarum libri XX*, mentre Marbodo di Rennes (1035-1123) in *Liber lapidum* così si esprimeva: *Cerauno he una petra fatta cun una sagitta inbarbata, et he quella petra che chade dallo trone, et he en color quasi del cristallo, e del calcedonio* (Marbodo & Finzi, 1890, p. 27).

Francesco Stabili detto Cecco d'Ascoli (1269-1327) ne scriveva in *L'Acerba* come pure il fiorentino Dino Compagni (1255-1324) che volle celebrare ne *L'Intelligenza* le ceraunie.

Le ceraunie rimasero quindi pietre misteriose. Invero questi oggetti a forma di punte di freccia in pietra o asce trovarono impiego nelle pratiche magiche e nella medicina per la protezione contro i fulmini ed in particolari altre occasioni.

### 4. XVI Secolo

Quando l'invenzione della stampa nella metà del XV secolo diede modo a chi ne aveva i mezzi di divulgare studi, fatti, idee ed altro, quei pochi che ne avevano possibilità iniziarono a scrivere anche di strani oggetti in pietra ritrovati in maniera casuale in diverse località. La descrizione di stampo medioevale proseguì anche nel Rinascimento e fu appunto all'inizio del secolo XVI che il pesarese Camillo Leonardi in *Speculum lapidum* (1502) citò le ceraunie, e qualche decennio dopo il veneziano Lodovico Dolce tradusse la stessa opera in volgare "dimenticandosi" però di citare il vero autore del libro.

Il primo trattato sui "fossili" nel senso moderno della parola, cioè resti di animali e piante del lontano passato e sui materiali archeologici come oggetti provenienti da scavi e quindi minerali, fu scritto dal tedesco Georg Bauer (1494-1555), noto come Agricola, nel 1546 dal titolo: *De la generazione de le cose, che sotto la terra sono, e delle cause de' loro effetti e nature...*, tradotto in italiano e ristampato nel 1550 in cui era scritto:

*Quella pietra che (come il volgo crede) cade col fulmine, ne è stata perciò chiamata Ceraunia: né solamente nasce ne la Carmania, ma ne' campi nostri anco e non ha né canaletti né linee, & in questo da la Brontia è differente: ella è liscia, et hora è ritonda, hora lunghetta (Agricola, 1550, pp. 262r-262v).*

Importantissima fu l'opera dello svizzero Conrad Gessner (1516-1565) *De Omni Rerum Fossilium Genere...* (1565) in cui forniva finalmente illustrazione di oggetti sempre descritti, ma mai figurati in cui erano presenti per la prima volta alcune asce e martelli in pietra. Si veniva quindi a conoscenza di che cosa fossero le ceraunie anche se non erano presenti le punte di freccia.

## 5. Bernardo Cesi di Modena

Un importante trattato dal titolo *Meteorologicorum libri sex* scritto dal belga Libert Froidmont (1587-1653), fu pubblicato ad Anversa nel 1626 in cui l'autore spiegava i fenomeni celesti, i fulmini e le "loro" pietre che avevano odore di zolfo e natura ammoniacale.

Nel 1636 fu pubblicata l'opera *Mineralogia sive naturalis philosophiae thesauri* del gesuita modenese Bernardo Cesi (1581-1630), in cui illustrava per quanto a quei tempi era possibile, i soli minerali, escludendo i reperti fossili e gli oggetti archeologici. Così descriveva le ceraunie:

*Lusitanum littus pollet gemma Ceraunia, quam etiam Indicis praeferunt. Huius cerauniae color est è pyropo; qualitas igni probatur, quem si fine detrimento sui perferat, adversus vim fulgurum creditur opitulari. Gemmam Cerauniam cadere cum imbribus, & fulminibus, nec alibi inveniri, quam in loco fulmine icto. idemque Isidorus ibidem (Cesi, 1636, p. 605).*

Anche Cesi non aveva fatto altro che elencare coloro che in passato avevano tentato di spiegare quanto era a tutti ignoto.

## 6. Nicolò Cabeo di Ferrara

Un notevole commento su un'opera di Aristotele fu stampata nel 1646 col titolo *In libros meteorologicorum Aristotelis commentaria, et quaestiones*. Al tomo III l'autore, il gesuita ferrarese Nicolò Cabeo (1586-1650), affrontava anche il tema dei fulmini. Riteneva che i fulmini fossero di due categorie, una chiamata *clara* e l'altra *fumida*. Dopo aver citato Plinio, Seneca e Plutarco riteneva che, a protezione di fulmini e saette fossero efficaci il lauro, il vitello marino (ossia la foca monaca *Monachus monachus* Hermann, 1779) e l'aquila, mentre altri indicavano nella *pietra giacinto* (lo zircone) tale potere (Cabeo, 1646, Tomo III).

## 7. Ulisse Aldrovandi di Bologna

L'importanza del contributo del bolognese Ulisse Aldrovandi (1522-1605) alla storia naturale è talmente nota che ne vengono omesse biografia, bibliografia e commenti.

Il comune di Bologna a cui Aldrovandi aveva lasciato la ricchissima collezione naturalistica, la grande biblioteca e la non meno importante messe di appunti e disegni, per ottemperare gli impegni contratti con il naturalista, decise di ultimare i volumi che Aldrovandi aveva preventivato di stampare. Fu nel 1648 che il botanico Bartolomeo Ambrosini, diede alle stampe *Musaeum metallicum*, il cui argomento erano i fossili. Non è chiaro se il titolo fosse aldrovandiano. In questa opera veniva illustrato un meraviglioso coltello in pietra con manico intagliato a raffigurare forse una divinità di cultura indo-americana. Erano inoltre descritti un altro coltello in ossidiana immanicato con semplice legno e un'ascia in pietra lunata con manico ligneo; tre strumenti di provenienza sconosciuta da oltreoceano, di notevole interesse etnografico, in quanto quelle civiltà erano state sterminate in quei decenni. Il volume conteneva un capitolo denominato *De ceraunia* che, secondo l'impostazione di Aldrovandi, era suddiviso in *Aequivoca*, *Synonima*, *Etymum*, *Descriptio*, *Generatio et Natura*, *Differentiae*, *Moralia* ed infine *Usus in variis*.

Dopo una succinta descrizione delle ceraunie, veniva proposto il modo della loro probabile formazione dovuta al turbinio delle nubi e alla rapidità dei fulmini. Le ceraunie erano spesso molto differenti presentandosi in forma di piramidi, cunei, dischi, martelli, clave, scuri, vomeri ed altro. Spesso erano confuse con le belemniti e le *glossopetre*<sup>2</sup>. Nel testo era inserita una tavola dal titolo *Glossopetrae aliae duae differentiae* in cui erano presenti un dente dello squalo gigante *Otodus megalodon*, ora estinto, e una punta di freccia (Fig. 1), la prima conosciuta.

L'autore spiegava i numerosi benefici che questi oggetti offrivano a chi li portava addosso fra cui la protezione dalle saette, il dono della cristiana pazienza e perseveranza, la difesa dai predicatori della violenza, il premio di eterna gloria e la salvaguardia dai vizi, secondo i dettami di san Paolo. D'altra parte non si poteva pretendere meno da una pietra che aveva Giove come produttore. Malgrado le spesso incomprensibili spiegazioni, Aldrovandi presentò per la prima volta figure di punte di freccia in pietra che si affiancavano ad asce e martelli levigati. Purtroppo mancavano, come quasi sempre, i riferimenti geografici.

---

<sup>2</sup> Con il termine *glossopetra* (dal greco γλῶσσα = 'lingua' e dal latino *petra* = 'pietra', ossia lingua di pietra) nel Medioevo venivano identificati resti lapidei a forma di cuspidi ai quali si attribuivano proprietà magiche e curative. Tali reperti erano così chiamati per la loro forma che assomigliava ad una lingua di serpente pietrificata.

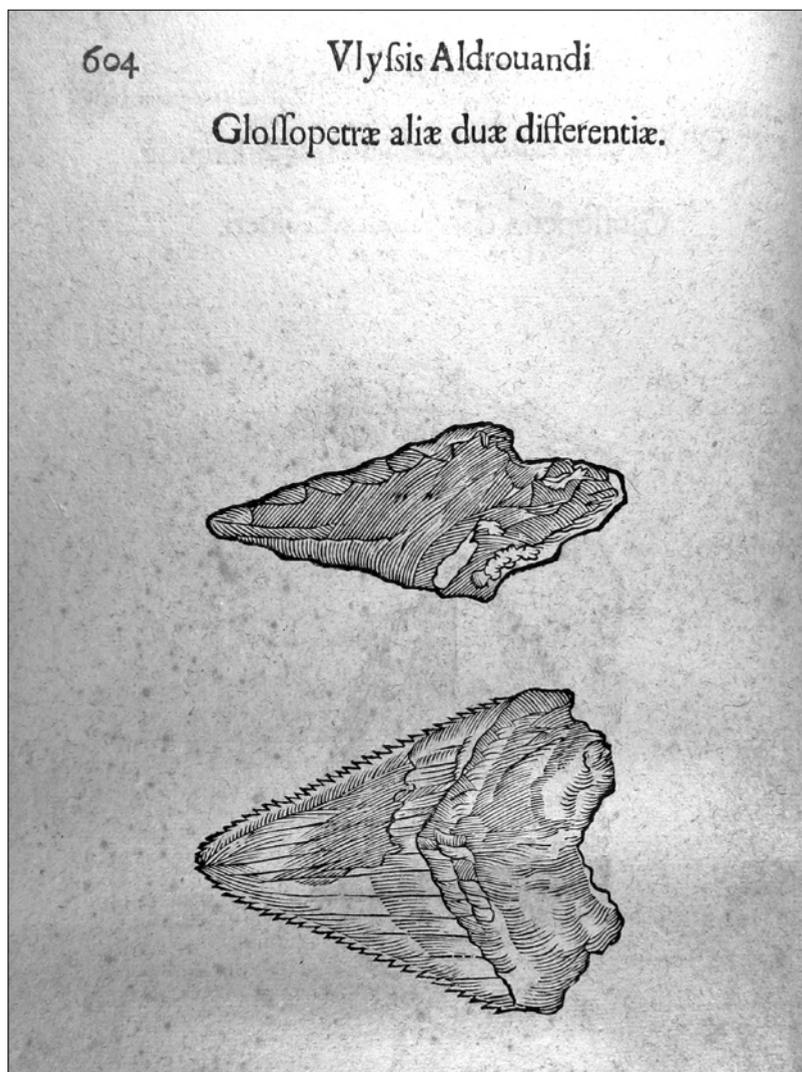


Fig. 1 – U. Aldrovandi, 1648: freccia in pietra confrontata con un dente di *Otodus megalodon*. È la prima rappresentazione di una punta di freccia in pietra ossia ceraunia. Spesso le ceraunie erano confuse con le glossopetre (Biblioteca R. Guerra, Bologna).

Pochi anni dopo, nel 1656, usciva a Verona il libro *Note ovvero memorie del museo di Lodovico Moscardo nobile veronese* in cui erano descritti i materiali che componevano la sua cospicua collezione, in cui era confluita parte di quella dei farmacisti veronesi Calzolari, il cui ultimo rampollo, Francesco

*junior*, morì durante l'epidemia di peste del 1630. Fra i reperti di questa ingente collezione vi erano anche punte di freccia, *ritrovate ne' campi come pietra focaia* (Moscardo, 1656, p. 305) e i cosiddetti dardi da catapulta, in effetti due asce con alette dell'Età del Bronzo, primi reperti di tal genere nella letteratura italiana (Fig. 2).

Nel 1668 il gesuita tedesco Atanasius Kircher (1602-1680) dava alle stampe *Mundus subterraneus* in cui erano presenti anche delle ceraunie. Nel 1675 lo stesso autore pubblicava *Arca Noë, in tres libros digesta* in cui descriveva la costruzione e la struttura dell'arca di Noè. Ancora lo stesso autore descriveva nel 1679 in *Turris Babelis sive archontologia* la costruzione della famosa torre di Babele e la successiva dispersione dell'umanità a continuazione della classica tradizione biblica. L'interessamento di Kircher a questi argomenti denotava la sua curiosità per questi eventi primordiali alla ricerche dell'origine dell'umanità e dei suoi ancestrali momenti storici interpretandoli con l'impiego di non poca fantasia.



Fig. 2 – L. Moscardo, 1656: le prime asce in bronzo conosciute (Biblioteca R. Guerra, Bologna).

## 8. Ercole Antonio Mattioli di Bologna

Nel Seicento altri personaggi trattarono le ceraunie e le pietre del fulmine attenendosi all'antica convinzione che fossero generate dall'impatto dei fulmini col terreno e a nessuno venne qualche dubbio. Anzi questa interpretazione servì a molti predicatori per ammonire i fedeli a rimanere ligi ai canoni religiosi per non incorrere in eventuali punizioni divine per mezzo di queste saette; alcuni autori addirittura affermavano che numerose chiese e monasteri erano stati fondati e costruiti dove era caduto un fulmine. Dalle numerose descrizioni pervenute da quei tempi, il timore per questo fenomeno celeste, a cavallo tra reale e fantastico, era notevole e a volte incontrollato e quindi anche le pietre ceraunie furono prese ad esempio in sermoni religiosi per ribadire che tuoni, fulmini e saette potevano arrivare sui peccatori improvvisamente e che quindi bisognava essere buoni fedeli onde non esser sorpresi dalla volontà celeste in stato peccaminoso. Così scriveva appunto il chierico Ercole A. Mattioli in *La pietà illustrata* (1695). Successivamente egli approfondì la ricerca con l'opera *Le meteore celesti* (1706).

## 9. Secolo XVIII

Già ai tempi di Mattioli, erano uscite in Inghilterra le opere di Thomas Burnet (1635-1715), John Woodward (1665-1728) e William Whiston (1667-1752) che misero in moto la ricerca sulle origini e su eventuali testimonianze del diluvio universale. I loro testi rimasero nella lingua originale finché nel 1739 a Venezia fu stampato un libro di Woodward dal titolo *Geografia sacra ovvero saggio della storia naturale della terra*. L'autore criticava i vari autori che avevano fantasticato sull'origine delle ceraunie.

*Le armi e gli strumenti di pietra* – scriveva Woodward – *sono tutte state fatte avanti che si conoscesse il ferro* (Woodward, 1739, p. 486). L'autore si era attenuto ai vari esploratori che avevano viaggiato nelle regioni selvagge in cui parecchie tribù si servivano ancora di pietre per i loro utensili. Noè e i suoi figli avevano usato il ferro per costruire l'arca, ma successivamente se ne era persa la memoria per poi essere ritornati gli uomini all'uso di questo metallo.

Fra i sostenitori più convinti di questa teoria ci fu il medico e naturalista svizzero Johann Jakob Scheuchzer (1672-1733), che ricercò reperti per suffragare l'idea dei fossili come testimonianza del diluvio che congiungeva l'idea religiosa con quella naturale. Diede alle stampe *Herbarium Diluvianum*, *Museum diluvianum* e *Homo diluvii testis*; in quest'ultimo libretto descriveva lo scheletro di un "individuo" annegato nel diluvio da lui ritrovato<sup>3</sup> (Fig. 3). Fu il suo ritrovamento più eclatante (Scheuchzer, 1726).

<sup>3</sup> In realtà si trattava dello scheletro di un grande anfibio urodolo estinto (*Andrias scheuchzeri* Tschudi, 1837), vissuto nel Miocene, appartenente alla famiglia Cryptobranchidae. Si tratta di uno dei primi fossili descritti dalla moderna paleontologia.

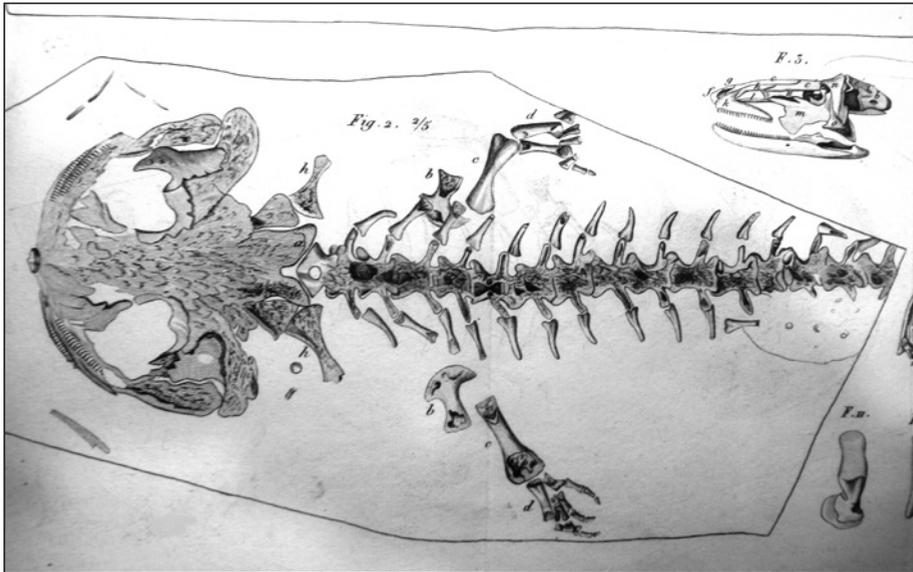


Fig. 3 – J.J. Scheuchzer: Homo diluvii testis. L'autore riteneva che questi resti appartenessero a un uomo annegato nelle acque del Diluvio (da G. Cuvier, 1825, Tav. XXVI, Biblioteca R. Guerra, Bologna).

Pochi anni prima, nel 1717, fu pubblicato a Roma il volume intitolato *Metallotheca*, catalogo della collezione vaticana di fossili, opera di Michele Mercati (1541-1593) di San Miniato, archiatra di papa Clemente VIII ai tempi in cui egli svolgeva il suo compito in Vaticano. Mercati era inoltre stato incaricato di curare l'orto dei semplici e di raccogliere materiali geo-paleontologici per allestire un museo naturalistico che si affiancasse alla sempre crescente galleria vaticana di capolavori artistici. Dopo la morte di Mercati, fu messo in vendita dagli eredi il manoscritto quasi pronto per la stampa con le incisioni su rame di Anton Eisenhut (1553-1603), incisore tedesco di rara bravura, ma la spesa per la pubblicazione era troppo ingente e il progetto rimase irrealizzato. All'inizio del Settecento l'archiatra papale Giovanni Maria Lancisi, messo al corrente del corposo manoscritto del Mercati trovò il modo di farlo pubblicare utilizzando le incisioni già pronte per le illustrazioni e il testo integrale del manoscritto del Mercati ed aggiungendo nelle note gli appunti che aggiornavano l'ormai obsoleto testo. Nel volume è presente una tavola con otto ceraunie ed una lametta di selce, la prima conosciuta ai suoi tempi (Fig. 4).

Un paio di anni dopo venivano stampati in Francia i cinque volumi del monaco benedettino Bernard de Montfaucon dal titolo *Antiquité expliquée et représentée en figures*, notevole opera sull'archeologia mediterranea. Nel quinto

volume l'autore riporta un curioso ritrovamento di una tomba a grossi blocchi in cui due scheletri erano accompagnati da asce ed altri oggetti in pietra illustrati da una tavola incisa; un'interessante scoperta che comunque passò quasi inosservata fra gli studiosi del tempo (Montfaucon, 1719).

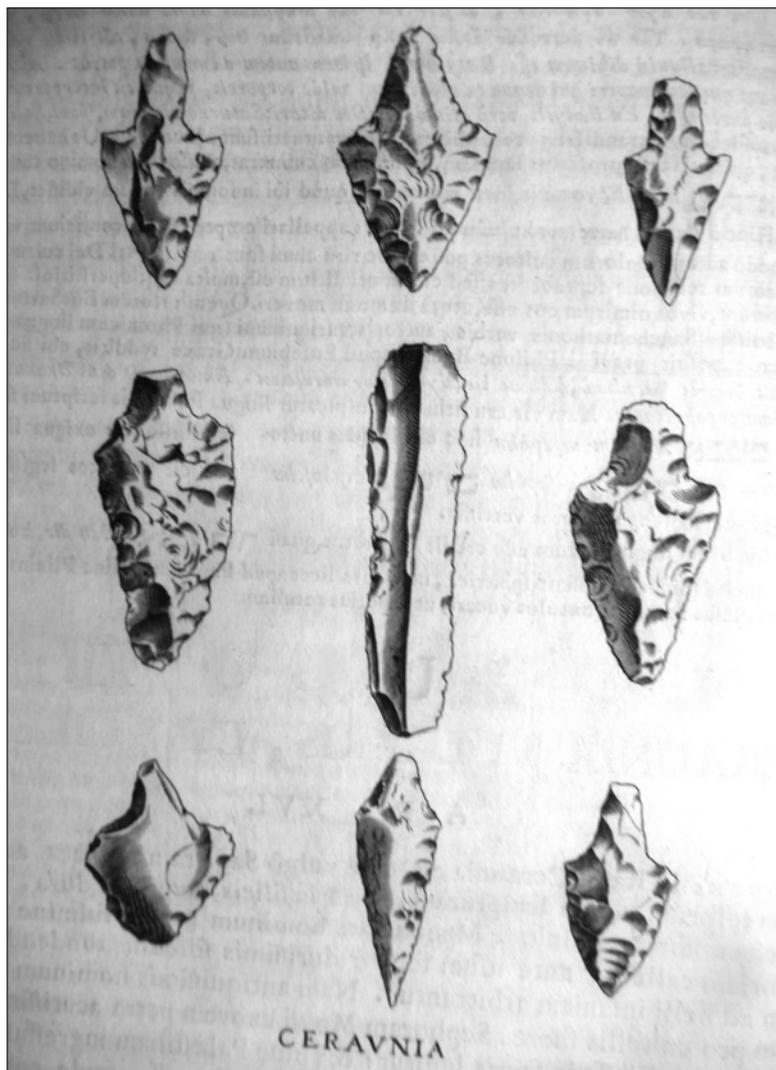


Fig. 4 – M. Mercati: la presente tavola era stata incisa alla fine del Cinquecento. Se Mercati l'avesse pubblicata, le frecce in pietra sarebbero state le prime conosciute; furono invece pubblicate solo nel 1717 (Biblioteca R. Guerra, Bologna).

## 10. Antonio Vallisneri *senior* di Scandiano

Il valore scientifico di Antonio Vallisneri non è mai stato adeguatamente riconosciuto; i suoi studi e le sue intuizioni spesso rapidamente obliate ancor oggi stupiscono per la perspicacia nel rilevare le caratteristiche di certi oggetti e fatti, tanto che in parecchie asserzioni fu all'avanguardia fra i suoi contemporanei ed anche fra i successori. Non si fermò qui. Il famoso libro *De corpi marini che su' monti si trovano* pubblicato in prima edizione nel 1721 ed in seconda nel 1728 necessitò di una notevole dose di coraggio perché confutava il diluvio universale come descritto dalla Bibbia con prove geologiche ben documentate. Se le edizioni superarono la censura ecclesiastica, lo si deve al fatto che Vallisneri insegnava in territorio veneto dove il controllo era decisamente meno pesante.

L'intera opera di Antonio Vallisneri *senior* fu raccolta in *Opere fisico-mediche stampate e manoscritte del kavalier Antonio Vallisneri*, raccolte da suo figlio Antonio; rarissima pubblicazione fatta stampare da un figlio a gloria di tanto padre. Fu nel 1732 che in quest'opera fu edito un brogliaccio dal titolo *Saggio d'istoria medica, e naturale* che Vallisneri *senior* aveva scritto e mai pubblicato. Era una specie di vocabolario di storia naturale con le spiegazione dei vari oggetti descritti. In esso è presente anche la voce ceraunia come di seguito riportato:

*Ceraunia. È una spezie di pietra focaja, o di selce, figurata dall'arte in forma di saetta, e perciò da alcuni antiquari, e museisti scioccamente creduta scagliata, come fulmine, dal Cielo. È di varie figure, ora piramidali, ora di un cono, ora come una Zeppa, con cui si fendono i legni, ora di freccia. Ve ne sono di più colori. Sono creduti ordigni, o coltelli da sacrificio, o armi antiche prima dell'uso del ferro. Facevano anche coltelli di pietra di dura selce per circoncidere. Silex, quasi Sicilex ad secundum tectus videtur (...)* (Vallisneri, 1733, p. 386).

Come si può vedere Vallisneri, similmente a molte sue asserzioni, aveva visto giusto sulla vera funzione ed origine delle ceraunie. La sua perspicacia, le osservazioni e il libero giudizio erano quasi sempre in vantaggio sulle cognizioni che erano correnti in quel momento. Tuttavia anche le intuizioni di Vallisneri furono dimenticate a riprova di quanto sia difficile far cambiare parere alla gente.

Un importante contributo nel tentativo di chiarire il mistero delle ceraunie fu scritto dal pugliese Giacinto Gimma (1668-1735), autore di *Della storia naturale delle gemme delle Pietre, e di tutti i minerali, ovvero della Fisica Sotterranea* del 1730, in cui erano trattati i minerali e i fossili a quel tempo conosciuti. Nel capitolo XI del libro V dopo aver elencato in *Delle pietre credute cader dal Cielo* come la *Ceraunia*, l'*Ombria*, la *Bronzia*, la *pietra del Grandine del Vormio* e la *Pentaura*, oltre alla *glossopetra* passava a illustrare *Delle Ceraunie, o Pietre del Tuono*. Elencava quindi gli autori che ne avevano scritto

come Plinio, Aldrovandi, Agricola, Gerolamo Cardano e Henri Louis Duhamel de Monceau, indi riferiva di pietre cadute dal cielo nel Lago di Garda, a Rivolta d'Adda (CR) e di certe pietre trovate nel Congo che i locali chiamavano appunto Pietre del Tuono: *Ma che le Ceraunie, che si dicono Saette e Pietre del Fulmine si possano generare nell'aria e nelle nuvole non lo stimiamo affatto impossibile* (Gimma, 1730, p. 193).

Seguivano altre congetture sugli strani fenomeni provocati dalle saette e di altre considerazioni sulla loro origine. Le pochissime voci fuori dal coro che non vedevano nei fulmini la generazione delle ceraunie rimasero una sparuta minoranza.

Erano tempi, verso la metà del Settecento, in cui gli studi sull'elettricità cominciavano a fare i primi passi; argomento che coinvolgeva alcuni fenomeni naturali come i fulmini ed anche strane piogge di pietre fra le quali le famose pietre del fulmine ovvero le ceraunie sempre collegate con questi eventi. Un altro contributo, fuori schema, fu pubblicato nel 1740 su *Histoire de l'Académie royale des inscriptions et belles lettres* al tomo XII dal titolo *Sur les prétendues pierres de foudre*: ne era autore il gesuita francese Nicolas Mahudel (1673-1747) archeologo e numismatico. L'autore comunicava che le pietre credute originate dai fulmini fossero artificiali come si può leggere da un breve sunto: *avendola tratta piuttosto dalle mani degli uomini per adoperarle in luogo degli strumenti di rame, e di ferro usati dipoi* (Mahudel, 1748, p. 3).

Molte di queste pietre poi venivano levigate per assumere la forma necessaria. I ciottoli utilizzati trovati per lo più nei fiumi, facevano assumere agli oggetti i loro vari colori che erano spesso silice o simile. La loro origine quindi era molto diversa da quella che il popolino era solito attribuire loro. Le loro forme poi servirono a forgiare strumenti in rame e ferro: *ora si fa strada una semplice conghiettura, di giorno in giorno più certa divenga, togliendo di mezzo un antichissimo errore* (Mahudel, 1748, p. 6).

Nel 1757 apparve in *Memorie per servire all'istoria letteraria* il commento sul libro del gesuita spagnolo José Torrubia (1698-1761) dal titolo *Aparado para la Historia Natural Hispañola* (1754) in cui l'autore affrontava anche il tema delle ceraunie. Il redattore scriveva che lo spagnolo interpretava le ceraunie come antichi strumenti di uomini primitivi avendone avuto conoscenza dai navigatori che frequentavano popoli selvaggi. Questi ultimi usavano la pietra come materia prima dei loro utensili.

## 11. Giovanni Bianchi di Rimini

Soggetto molto impegnato e forse di non facile carattere, ma con grandi qualità conoscitive e notevoli interessi in molti campi, fu il medico e anatomista

Giovanni Bianchi (1693-1744) di Rimini i cui molteplici interessi gli procurarono ammirazione ma anche ostilità da parte degli ambienti religiosi. Riuscì per qualche tempo anche l'Accademia dei Lincei fondata oltre un secolo prima da Federico Cesi e nella quale era associato anche Galileo Galilei. È conosciuto in campo naturalistico per il suo libro *De conchis minutis minus notis* (1739) contenente le prime raffigurazioni di foraminiferi nelle sabbie marine e scoperti anni prima dal bolognese Jacopo Beccari.

Fra i tanti scritti di Bianchi spicca un suo notevole brano:

*Ora però anche in materia d'Antichità rompo lo scilinguagnolo, e torno a parlarne, ed in primo luogo voglio parlarvi di certe cose d'Antichità, che non hanno Iscrizioni, e che sono per avventura più antiche dell'uso delle lettere medesime, o che a queste le lettere mancano, perché non ci furono mai poste sopra da chi lasciò quelle cose. In primo luogo dunque vi dirò che l'anno passato poco dopo d'avervi scritto l'ultima volta, io acquistai un'accetta di pietra durissima di color negro e che fa il fuoco. Questa fu ritrovata nella parrocchia di san Fortunato posta nel nostro delizioso monte di Covignano, che è poco più discosto di due miglia dalla città nostra (omissis). Così il Padre Montfaucon riferisce di alcuni sepolcri ritrovati vicino a Parigi dentro de' quali erano delle armi che avevano punte di pietra. Così alcuni anni sono mi fu portata una saetta di pietra focaia ritrovata poco lontano dal medesimo luogo dove fu trovata l'accetta, ed altre ne furono ritrovate, e sene ritrovano nelle nostre campagne che vengono credute dalle persone volgari ceraunie, cioè pietre scagliate dal fulmine, ma che in realtà non sono che pietre lavorate a mano a guisa della punta de' dardi che gli antichi dovevano porre in cima alle canne e specialmente di quella canna semipiena mentovata da Plinio che nasce nel fiume Reno di Bologna, le quali doveano essere scagliate coll'arco. Ma queste armi e questi strumenti in queste nostre parti come nelle altre parti occidentali dovevano essere in uso prima che fosse ritrovato il ferro e il rame come si costumava in America avanti che ci andassero gli Spagnoli (Bianchi, 1752, pp. 378-380).*

Bianchi aveva compreso perfettamente che le ceraunie erano armi di uomini vissuti prima della scrittura, ma purtroppo non proseguì l'indagine su questi curiosi reperti.

## 12. Francesco Ginanni di Ravenna

Il nobile Francesco Ginanni di Ravenna (1716-1766) accumulò nel tempo una notevole collezione di reperti naturalistici. Come altri ritenne di renderli pubblici dando l'incarico all'imolese Camillo Zampieri di descriverla, cosa che avvenne nel 1762. La collezione Ginanni possedeva anche ceraunie ovvero pietre del fulmine e Zampieri evidenziò che di tali pietre ne avevano scritto Mercati, Mahudel e Vallisneri. Egli scriveva inoltre:

*La ceraunia di Plinio è diversa da quella de' Moderni. Intorno ad essa molto sbagliò il Mercati. Non si legga la "Metallotheca" del medesimo senza leggere il "Saggio d'Istoria medica e naturale" del Vallisneri e i dotti "Commentari" di quell'opera, che ne scuoprono gl'inganni. La ceraunia de' Moderni è una pietra figurata dall'arte in forma di saetta (Zampieri, 1762, p. 60). Una corretta definizione.*

### 13. Gian Battista Toderini

Nel 1771 usciva a Modena l'opera *Filosofia frankliniana delle punte preservatrici dal fulmine* del gesuita veneziano Giambattista Toderini (1728-1799), che commentava le nozioni dello scienziato americano Benjamin Franklin sui parafulmini per la preservazione degli edifici da questa catastrofica calamità, e scriveva:

*Che se in alcuni Musei si pretende aver de' preziosi avanzi delle pietre del fulmine, noi lo concediamo veramente, ma in maniera lontanissima dalla Cartesiana sentenza [le opere di Cartesio a quei tempi erano all'Indice dei Libri proibiti, N.d.A.]. Poiché né sono di sostanza della materia fulminea, né parte di essa impietrata, ma un misto tutto straniero di terrestri corpi maravigliosamente unito, e fabbricato dal violentissimo fuoco. Conciossiaché per varii corpi particolarmente metallici, arenosi, e attissimi alla vitricazione passando la violentissima fiamma, ne svelle e trasporta alcune parti, le discioglie, e mesce in modi complicatissimi, e le calcina, e vetrifica e con amalgamento strettissimo di ferro o di piombo, le metallizza. E ben potrà tutto questo quasi in istanti operare l'incredibile ardore, e attività delle folgore, se quasi altrettanto maravigliosamente fanno in pochi secondi gli specchi ustori celebratissimi. Altre pietre ancora lunghe, ritonde, e grosse alla maniera d'un dito aguzzo, o di forma piramidale furono credute dai buoni vecchi per fulmini caduti dal Cielo (Toderini, 1771, pp. 42-45). L'autore ricordava comunque quanto scritto da Vallisneri su queste curiose pietre.*

### 14. Serafino Calindri

Serafino Calindri (1733-1811) era nato a Perugia e vissuto per diversi anni a Bologna e, fattosi prete in tarda età, se ne andò a condurre una parrocchia vicino al Lago Trasimeno. L'immane suo lavoro consistette nel raccogliere una pletora di notizie sulla montagna bolognese con la quale pubblicò ben cinque volumi e di iniziare lo stesso lavoro anche per la parte di pianura di cui riuscì a pubblicare solo il primo tomo. Titolo di questa opera è *Dizionario corografico, georgico, orittologico, storico dell'Italia*.

L'opera per l'abbondanza e la varietà di informazioni è considerata di eccezionale importanza per i diversi argomenti relativi a quest'area in quei tempi ed è fonte di informazioni per qualsiasi indagine su questo contesto. I dati su

materiali geo-paleontologici sono ancor oggi spunto per ricerche su numerosi argomenti geologici oltre ad un esaustivo contributo allo studio di minerali e fossili di questo territorio. Fra queste notizie sono infatti individuabili quelle località che allora avevano evidenziato la presenza di ceraunie come ancora venivano chiamate asce e punte di freccia litiche. Esse erano:

*Capugnano – ... e vanno trovandosi le Belemniti, dette dal Volgo pietre di Fulmine, ed ancora Troni. Il nome di Belemnite è comune agl'Italiani, ed ai Francesi naturalisti il più delle volte, ma da altri chiamansi Cerauniti, Pietra fulminea, Ceraunoidi ecc. (Calindri, 1781, Parte II, p. 51).*

Seguiva una bibliografia dedicata alle ceraunie che attesta l'impegno di Calindri nella stesura dell'opera. Poiché la località di Capugnano, nell'alta montagna bolognese risulta priva di reperti di belemniti, ossia di rostri di cefalopodi estinti, si è certi che trattavasi dei materiali preistorici citati.

## **15. Ricerche in Danimarca e in Francia**

La particolare situazione della preistoria danese che produsse utensili in pietra per un periodo successivo allo sviluppo della tecnologia dei metalli permise la manifattura di più raffinati strumenti che in altre parti d'Europa. A tutto ciò si sommavano la presenza notevole di rocce silicee che ne avevano permesso un facile reperimento e interessanti costruzioni megalitiche. Non fu quindi difficile rinvenire materiali indiscutibilmente umani e di facile comprensione alcuni dei quali colpiscono ancor oggi per bellezza e perfezione di forme e lavorazione. In Danimarca fin dal secolo XVII se ne erano interessati Caspar Bartholin (1585-1629), Ole Worm (1588-1654) nella descrizione del suo museo, Ole Borch (1626-1690) ed altri, ma malgrado l'evidenza delle forme nessuno aveva inquadrato la vera natura di quegli oggetti.

Un notevole contributo alla rivelazione della preistoria umana fu dato da Jens Jakob Asmussen Worsaae (1821-1885) che rivelò in un suo libro la peculiarità degli utensili in pietra e i monumenti megalitici della Danimarca in cui divise la preistoria in Età della Pietra, Età del Bronzo ed Età del Ferro, divisione che, pur con i dovuti cambiamenti, è ancora in atto (Worsaae, 1843). Molto produsse Worsaae per illustrare le antichità dei paesi scandinavi e della Germania settentrionale che presentano aspetti di quel periodo praticamente simili.

Nella ingente attività sviluppatasi in Francia si inserì quella del doganiere Jacques Boucher de Perthes (1788-1868) nella valle della Somme. Le sue intuizioni portarono alla scoperta che in quel bacino erano presenti notevoli quantità di schegge in pietra che egli riuscì ad inquadrare come manufatti di uomini preistorici. In effetti questo studioso si era da tempo posto il problema

delle origini dell'uomo, che discusse in una sua famosa opera (Boucher de Perthes, 1847), corredata da 1600 schizzi di reperti da lui rinvenuti nei dintorni di Abbeville. Anche se le sue intuizioni non andavano oltre la creazione del mondo e si ancoravano al popolo dei Celti, presentava una pletora di reperti in pietra dura scheggiati in varie foggie. Di questi strumenti preistorici erano presenti solo un paio di decine di asce levigate ed un martello che si possono considerare reperti che nel passato erano chiamati *ceraunies* mancando completamente le punte di freccia in selce. Boucher de Perthes però svelava la presenza di utensili in corno di cervo, in osso e centinaia di strumenti in pietra dura lavorati dall'uomo che, pur in una grafica abbastanza semplice, oggi si possono inquadrare come appartenenti al Paleolitico. Questo ricercatore autodidatta aveva scoperto e presentato materiali umani che erano stati prodotti ed utilizzati in tempi antediluviani; una grande scoperta per l'umanità. Boucher de Perthes aprì le porte della conoscenza di quei materiali che risultarono essere vari strumenti dell'uomo preistorico foggiate in pietre dure e che divennero la principale fonte per valutare i vari progressi della cultura umana lungo il percorso di civilizzazione durato due milioni e mezzo d'anni. L'uomo aveva la sua preistoria.

## **16. I fratelli Cerchiari di Imola**

Imola è posta fra la Pianura Padana e l'Appennino nel punto in cui il fiume Santerno esce dalle colline per proseguire il suo percorso nel piano. I rilievi nelle vicinanze della città hanno fornito nel tempo non pochi resti di animali preistorici e di esseri umani a cominciare dagli anni venti del XIX secolo.

Reperti di grandi mammiferi terrestri e marini erano già stati scoperti in altre parti dell'Emilia-Romagna. A Piacenza il giudice Giuseppe Cortesi aveva sotterrato una balena e resti di elefanti, rinoceronti ed altri animali ora tipici dell'Africa, e similmente era accaduto anche in provincia di Parma.

Attorno al 1820 alcuni giovani, forse infervorati da ritrovamenti eclatanti di fossili si misero a battere le colline prossime ad Imola e non solo ritrovarono materiali paleontologici di notevoli interesse, ma anche alcuni ciottoli stranamente sbazzati da cui trassero l'idea che si poteva trattare di utensili litici di "aborigeni". Questo gruppo di ricercatori era formato dai fratelli Giuseppe e Giulio Cesare Cerchiari a cui si unì il nobile Giuseppe Scarabelli Gomi Flaminio non meno appassionato dei colleghi. A Giuseppe Cerchiari va attribuita la geniale intuizione che trattavasi di manufatti. Come spesso accade, o per il fervore della ricerca o per l'incertezza sulla scoperta ancora unica nel suo genere nell'ambiente italiano, la notizia non fu in nessun modo comunicata dal momento che la sola idea sarebbe stata valutata blasfema dalle autorità pontificie che governavano le Romagne e che erano in fase difensiva già con

le scoperte geo-paleontologiche che mettevano in discussione il racconto della Genesi. L'idea che delle pietre fossero strumenti umani non era nemmeno presa in considerazione o semplicemente ritenuta un'ipotesi di menti strane e priva di fondamento. Fu così che i Cerchiarì e l'amico Scarabelli continuarono per diverso tempo a battere quelle contrade che facevano capo alla chiesa parrocchiale di Goccianello nei cui campi uscivano questi reperti, con ogni probabilità portati alla luce dalle arature ed erpicature.

Giulio Cesare Cerchiarì diede alle stampe *Ristretto storico della città d'Imola* dove è riportata la seguente frase: *In codeste colline trovansi pure armi e utensili in sasso degli Aborigeni o popoli primitivi e selvaggi* (Cerchiarì, 1847, p. 114).

Dopo aver citato gli storici che avevano riportato le più antiche vicissitudini di Imola e i popoli di cui si era a conoscenza e che si erano succeduti in quei luoghi, scriveva: *Non è però facile il sapere quali fossero i veri Aborigeni, cioè Popoli originari che abitassero questa palustre regione* (Cerchiarì, 1847, p. 145).

Sono i primi accenni in Italia ad antichi popoli aborigeni che forgiavano i loro manufatti in pietra.

## 17. Giuseppe Scarabelli di Imola

A dare voce all'intuizione dei fratelli Cerchiarì fu il loro amico Giuseppe Scarabelli (1820-1905) che pubblicò in un fascicolo di *Nuovi annali delle scienze naturali di Bologna* un interessante articolo sugli antichi manufatti in pietra (Scarabelli, 1850).

Dopo un breve cenno a quei pochissimi studiosi che in passato avevano creduto di individuare certe pietre come utensili di antichi uomini, scriveva Scarabelli:

*Al sig. Giuseppe Cerchiarì, cui già la Paleontologia deve le molte scoperte di Ossa fossili nei nostri Terreni Pliocenici, appartiene in gran parte la raccolta delle Armi in discorso, come pure di diversi altri oggetti in metallo, ed in argilla interessanti la Storia Antica dei tempi Romani. Alla di Lui gentilezza, ed amicizia io sono quindi tenuto delle notizie che si riferiscono alla giacitura delle armi suddette, e del favore di averle potuto ritenere presso di me lungo tempo, onde farne rilevare le copie esatte in disegno* (Scarabelli, 1850, p. 260).

Come si può osservare, questo nobile era veramente un gentiluomo. Proprio la parrocchia di Goccianello era il centro dei ritrovamenti di questi strani e straordinari oggetti litici mentre la parte pianeggiante dell'Imolese ben pochi ne aveva fornito perché probabilmente ricoperti da sedimenti. Scriveva ancora Scarabelli:

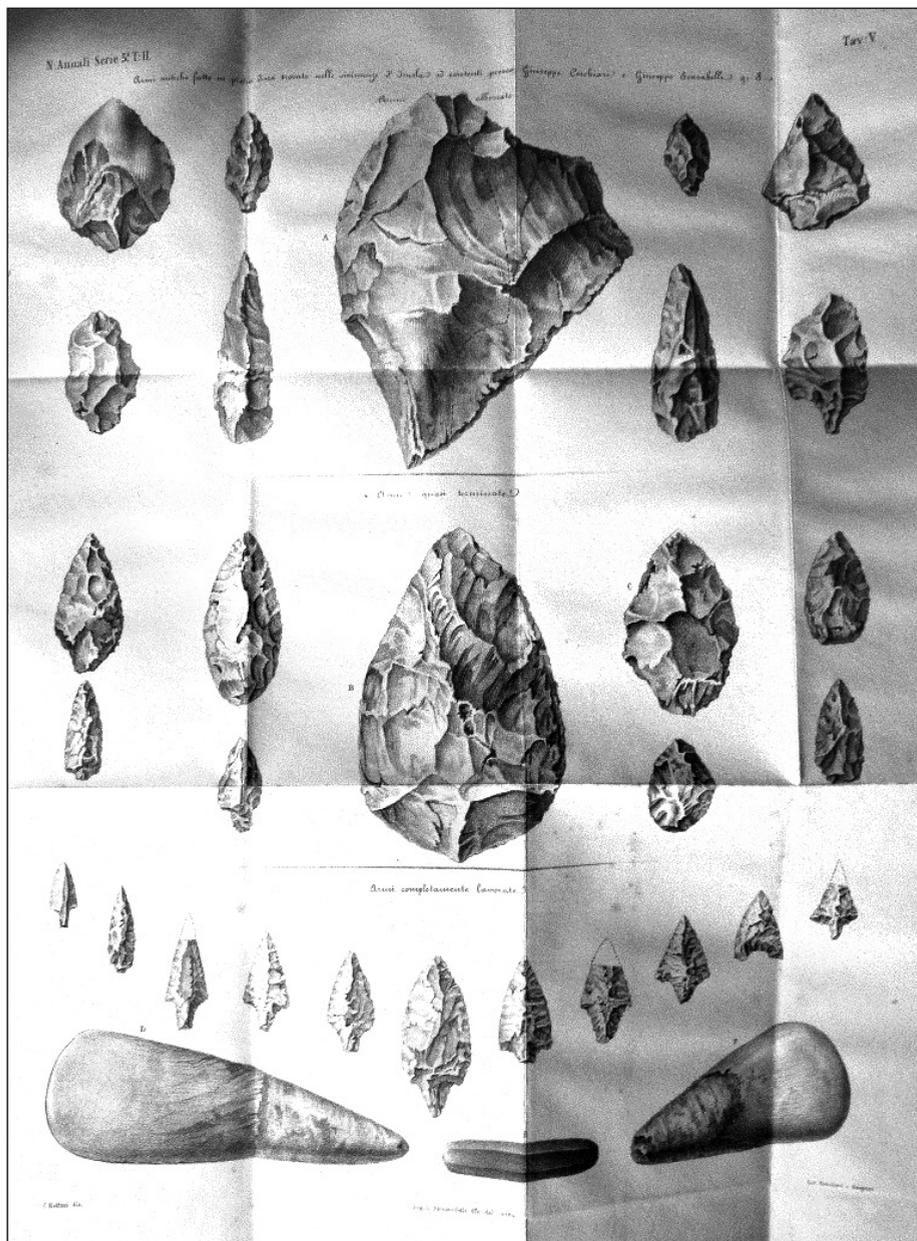


Fig. 5 – G. Scarabelli, 1850: tavola con strumenti preistorici dell'Imolese, primo contributo italiano alla paleontologia (Biblioteca R. Guerra, Bologna).

*Alla superficie dunque della terra, nel suolo coltivabile, sono sempre state osservate sparse, e per quanto si può riportare alla loro storia, non mai accompagnata da altra circostanza rimarchevole, da quella in fuori che riportò una di Esse, rinvenuta presso minute schegge di varie specie di pietra focaja, le quali indicano all'evidenza quello essere stato il luogo, in cui uomini di quel tempo avevano fabbricate le loro armi (Scarabelli, 1850, p. 261).*

Le pietre “lavorate” erano prodotte con vari materiali di selce e serpentino, quelle che forniva loro il territorio. Asseriva infine Scarabelli che i materiali rinvenuti rivelavano che alcuni erano molto grezzi, altri più dettagliati ed infine erano presenti punte di freccia e asce levigate, in effetti prodotti finiti di tale lavorazione (Fig. 5). Anche l’Emilia-Romagna e l’Italia avevano finalmente la loro preistoria.

## **18. Considerazioni conclusive**

Il lungo percorso che va dai pochi scrittori antichi che trattarono di ceraunie fino alla scoperta della preistoria umana, ha avuto un itinerario distorto da fantasie e miti (Giove scagliava i fulmini e miracolosamente creava queste appuntite pietre) alla scoperta del lungo lasso di tempo che va dai primi animali con attinenze umane per giungere alle prime civiltà storiche. Se si considera che il lento processo di umanizzazione fu un tabù per secoli e la sua presenza sulla terra è sempre stata valutata al massimo in seimila anni, le scoperte di Woodward, Boucher de Perthes, Scarabelli ed altri sono da considerarsi eccezionali anche perché finalmente l’uomo aveva trovato il suo giusto posto nella natura, con un’età ben maggiore di quella reputata, e aveva avuto un lunghissimo percorso per giungere allo stato attuale.

Si è anche constatato come certi miti, privi di ogni fondamento, abbiano resistito per millenni dando anche origine a credenze che sono sfociate nell’esoterismo. Malgrado qualcuno nei secoli passati abbia intuito con lungimiranza encomiabile la vera funzione di certi oggetti, sia il popolo sia anche scienziati di buon calibro rimasero nelle loro convinzioni in quanto l’idea di un lontanissimo passato che andava ben oltre le credenze religiose, che spesso erano anche civili e “scientifiche”, il passato umano, quello più antico, non essendo stato scritto, non esisteva. Malgrado l’oggettiva carenza di informazioni, oggi si è giunti a ricostruire molte vicissitudini dei nostri antichissimi progenitori intuendo pur con le dovute lacune il nostro lungo e travagliato percorso di umanizzazione.

Purtroppo queste straordinarie scoperte hanno inciso ben poco sulla credenza che gli uomini siano i figli prediletti di Dio e che solo a loro appartenga questo straordinario pianeta e che quindi abbiano il diritto di fare sulla Terra i loro deleteri comodi in tutti i modi; sono infatti davanti agli occhi di tutti le

distruttive azioni derivanti da questa dogmatica e antropocentrica visione del mondo e, malgrado l'ottimismo dei più, il futuro appare cupo. Possiamo solo augurarci che ci sarà presto un ravvedimento, ma dubitiamo assai che ciò avverrà.

### **Ringraziamenti**

*Un sentito ringraziamento a Daniele Baldassarri di Fiuggi (FR) per i consigli sul megalitismo, a Mirco Travaglini di Bologna per la fornitura di numerosi testi e al redattore Giovanni Tosatti per la revisione e l'impaginazione dell'articolo.*

### **Bibliografia**

- AGRICOLA G., 1550 – *De la generazione de le cose, che sotto la terra sono, e de le cause de loro effetti e nature*. M. Tramezzino, Venezia, 467 pp.
- ALDROVANDI U., 1648 – *Musaeum metallicum in libros tres distributum*. J.B. Feronio Ed., Bologna, 979 pp.
- BIANCHI G., 1739 – *De conchis minutis minus notis*. Nabu Press, New York (2011), 104 pp.
- BIANCHI G., 1752 – *Novelle letterarie*. Stamperia Imperiale, Firenze, pp. 378-380.
- BOUCHER DE PERTHES J., 1847 – *Antiquités celtiques et antédiluviennes. Mémoire su l'industrie primitive et les arts à leur origine*. Cambridge University Press, UK (2010), 732 pp.
- CABEO N., 1646 – *In libros meteorologicorum Aristotelis commentaria, et quaestiones*. Heredi Francisci Corbelletti, Roma.
- CALINDRI S., 1781 – *Dizionario corografico, georgico, orittologico, storico ecc. ecc. dell'Italia*. Stamperia di S. Tommaso d'Aquino, Bologna.
- CERCHIARI G.C., 1847 – *Ristretto storico della città d'Imola*. Kessinger's Legacy Reprints (2010), Whitefish, U.S.A.
- CESI B., 1636 – *Mineralogia sive naturalis philosophiae thesauri*. Books Puddle (2023), New York, 715 pp.
- COMPAGNI D., fine XIII sec. – *L'intelligenza*. G. Daelli & Co. (1863), Milano, 155 pp.
- CUVIER G., 1825 – *Recherches sur les ossements fossiles*. G. Dufour & E. d'Ocagne, Tome V, Part II, Paris, 547 pp.
- FROIDMONT L., 1627 – *Meteorologicorum libri sex*. Ex Officina Plantiniana, Anversa, 420 pp.
- GESSNER C., 1565 – *De Omni Rerum Fossilium Genere, Gemmis, Lapidibus, Metallis, Et Huiusmodi, Libri Aliquot, Plerique Nunc Primum Editi*. Nabu Press, New York (2010), 60 pp.
- GIMMA G., 1730 – *Della storia naturale delle gemme delle Pietre, e di tutti i minerali, ovvero della Fisica Sotterranea*. Napoli.
- ISIDORO DI SIVIGLIA, 636 d.C. – *Originum sive etymologiarum libri XX*. Günther Zainer (1472), Augusta.
- KIRCHER A., 1668 – *Mundus subterraneus*. Jansson & Weyerstraet, Amsterdam.
- LEONARDI C., 1502 – *Speculum lapidum*. Christian Liebezeit (1717), Hamburg.
- LUCREZIO T.C., I sec. a.C. – *La natura, libri V*. Traduz. di M. Rapisardi, G. Brigola & Co. (1880), Milano, 407 pp.
- MARBODO, FINZI V., 1890 – *Di un'inedita traduzione in prosa italiana del poema "De lapidibus praetiosus" attribuito a Marbodo, vescovo di Rennes*. Fava & Garagnani, Bologna, p. 40.
- MATTIOLI E.A., 1695 – *La pietà illustrata*. Appresso Nicolò Pezzana, Venezia.
- MATTIOLI E.A., 1706 – *Le meteore celesti esposte come esemplari a' cavarne i ritratti delle Maraviglie Politiche, e Morali. Ad ogni Meteora spiegata fisicamente corrispondono Discorsi Politici, e Morali con più riflessi*. Per Paolo Monti, Parma.
- MENOCHIO J.S., 1758 – *Commentarii totius sacrae scripturae*. Remondini Ed., Venezia pp. 400, 446, 447.
- MERCATI M., 1717 – *Metallotheca opus posthumum*. J.M. Salvioni, Roma, p. 378.

- MONTFAUCON B., 1719 – *L'Antiquité expliquée et représentée en figures*. 15 Vols., Paris.
- MOSCARDO L. 1656 – *Note ovvero memorie del museo del conte L. Moscardo nobile veronese*. A. Rossi, Verona, 488 pp.
- OVIDIO P.N., BRAMBILLA G., 1880 – *Le trasformazioni di Ovidio recate in versi italiani dal professore Giuseppe Brambilla*. G. Daelli & Co., Milano, p. 684.
- PLINIO, G.S., 77 d.C. – *Storia naturale*. Tomo VI, Einaudi (1997), Torino, 966 pp.
- SCARABELLI G., 1850 – *Intorno alle armi antiche di pietra dura che sono state raccolte nell'Imolese*. In: *Nuovi Annali delle Scienze Naturali di Bologna*, 3(2), pp. 258-266.
- SCHEUCHZER J.J., 1726 – *Homo Diluvii Testis*. Zürich, 24 pp.
- STABILI F., 1327 – *L'Acerba*. G. Cesari Ed., Ascoli Piceno (1927), 489 pp.
- TODERINI G., 1771 – *Filosofia Frankliniana delle Punte Preservatrici dal Fulmine, particolarmente applicata alle Polveriere, alle Navi, e a Santa Barbara in Mare*. Eredi B. Soliani, Modena, 65 pp.
- TORRUBIA J., 1754 – *Aparado para la Historia Natural Hispañola*. Hermanos de Don Agustin, Madrid, 370 pp.
- VALLISNERI A., 1733 – *Saggio d'istoria medica e naturale*. In: M. Rinaldi (a cura di) "Edizione naz. delle opere di Antonio Vallisneri", Leo S. Olschi Ed. (2012), Firenze, 490 pp.
- WOODWARD J., 1739 – *Geografia fisica ovvero saggio intorno alla storia naturale della terra*. G.B. Pasquali Ed., Venezia, 553 pp.
- WORSAAE J.J.A., 1843 – *Danmark Oldtid splyst ved Oldfager og Gravhøie*. Louis Klein, Copenhagen, 135 pp.
- ZAMPIERI C., 1762 – *Produzioni naturali che si ritrovano nel Museo Ginanni in Ravenna*. Rocchi Ed., Lucca, 259 pp.





**Marco Bortolamasi\*, Ester Cantini\*\*, Daniela Tagliazucchi\*\*\***

## **Il Disco (o Piombo) di Magliano: ipotesi di studio tra storia e archeologia**

### **Riassunto**

*Il Disco (o Piombo) di Magliano (provincia di Grosseto) costituisce una delle più importanti attestazioni etrusche a noi pervenute. Attraverso una ricostruzione del contesto storico-culturale e la comparazione di alcune traduzioni del testo contenuto, si intende fornire un affresco dello spazio antropico in Etruria attorno al VI secolo a.C. Nei limiti di questa sintesi, sono messi in evidenza i problemi che ancora esistono nella comprensione della lingua etrusca e le linee di ricerca tuttora aperte.*

### **Abstract**

*The lead Disk of Magliano: historical and archaeological study hypotheses. The lead Disk of Magliano (Tuscany) is one of the most important Etruscan artefacts that has survived to date. By considering the historical-cultural context and the comparison of some translations of the text engraved on this lead disk, we aim to provide a general picture of the anthropological background in Etruria around the VI century BCE. Within the limits of this summarised article, problems still existing in the comprehension of the Etruscan language are discussed together with current research lines.*

**Parole chiave:** *Etruschi, Archeologia, Religione, Disco di Magliano, Toscana*

**Keywords:** *Etruscans, Archaeology, Religion, Lead Disk of Magliano, Tuscany*

---

\* Ingegnere e matematico; e-mail: bortolamasim@libero.it.

\*\* Già Docente di Lingua latina e greca presso il Liceo Classico L.A. Muratori (MODENA); e-mail: estercantini@libero.it.

\*\*\* Docente di Storia, Letteratura e Lingua italiana presso l'Istituto F. Corni (MODENA); e-mail: danielatagliazucchi@virgilio.it.

## 1. La religiosità nel mondo etrusco

Gli antichi attribuivano agli Etruschi una profonda religiosità: *'gens ante omnes alias eo magis dedita religionibus, quod excelleret arte colendi eas'* (Tito Livio, V, 1, 6). Per i Romani, ad esempio, era scontato rivolgersi agli aruspici etruschi per spiegare fenomeni naturali insoliti o straordinari (*portenta, prodigia, ostenta*). D'altra parte proprio la compenetrazione tra cultura romana e tradizioni etrusche rende difficile individuare le caratteristiche originali del patrimonio religioso di questo popolo per la scarsità delle informazioni, per lo più mediate da opere greche e latine e spesso provenienti da fonti tardive. Conosciamo in particolare aspetti della *disciplina*<sup>1</sup>, ma non abbiamo nulla o quasi sulle tradizioni delle città, sugli eroi locali, sulle funzioni delle varie divinità, delle quali a volte anche il nome è incerto: balza agli occhi l'ellenizzazione del pantheon etrusco, senza che si possa tracciare in modo esauriente il percorso di questo sincretismo e nemmeno la sua reale portata.

Anche grazie ad elementi figurativi sembra di poter ricostruire una fase arcaica della religione etrusca non ancora antropomorfa e caratterizzata dalla presenza di figure mostruose che rappresentano forze localizzate in cielo, sulla terra e nell'oltretomba. L'ellenizzazione successiva del pantheon etrusco ha spinto per così dire ai margini queste antiche figure e le credenze ad esse associate, ma non le ha eliminate, come si deduce anche dal forte colorito magico-religioso che permane.

In questa fase antichissima, tra la fine dell'Età del Bronzo e l'inizio dell'Età del Ferro (XI-IX sec. a.C.) l'isolamento linguistico non ha impedito agli Etruschi di mantenere relazioni molto strette, a volte amichevoli a volte conflittuali, non solo con le popolazioni italiche ma anche con i popoli del Mediterraneo. L'eroizzazione degli antenati, che risale probabilmente a epoche preistoriche, richiama la presenza dei *genii* e dei *lares* di area latina (Torelli, 1986). Provengono sempre dal contesto latino e umbro-sabellico due divinità di primaria importanza come Marte e Minerva (per gli Etruschi *Maris* e *Menerva*), ambedue preposti ai riti di passaggio con i quali i giovani entravano a far parte del mondo adulto, *Maris* per i maschi, *Menerva* per le femmine. Un altro prestito di ambito latino o quanto meno italico riguarda *Uni*, per i Romani *Iuno* (Giunone), divinità che presiede al matrimonio e alla fecondità femminile, quindi sempre appartenente alla sfera iniziatica. È singolare la vicenda di *Nethuns* (Nettuno), una divinità che in base all'etimologia del nome, che richiama la nebbia o le nubi, inizialmente presiede alle acque in generale, soprattutto acque interne, fiumi, laghi, sorgenti, e solo in epoca tarda, con l'accostamento al greco Poseidone, diventa il dio delle acque marine. Si tratta comunque di una religiosità molto primitiva, in cui le potenze divine sono riconducibili ai

<sup>1</sup> Complesso di norme che regolano l'attività dell'aruspice.

processi riproduttivi dell'uomo e della natura, al ciclo dell'agricoltura, al paesaggio (non manca un dio *Selvans*, il latino *Silvanus*, evidentemente connesso con l'ambiente naturale di boschi e foreste).

Verso la metà del VII secolo a.C., quando ormai si stavano consolidando i centri urbani, anche il culto religioso si configura in modo più organizzato. In questa fase è molto forte il modello greco, a partire dalle colonie dell'Italia meridionale. Penetrano in Etruria miti e leggende di origine greca, che preparano il terreno all'antropomorfizzazione del pantheon (Martinelli, 1992) e all'imitazione (con variazioni) delle architetture sacre e delle forme rituali.

Sono innumerevoli le rappresentazioni di episodi del mito greco nella arti figurative, in particolare nella pittura vascolare. In molti casi è chiaro che esso riveste un valore allusivo e simbolico, finalizzato a trasmettere i valori dell'aristocrazia che commissiona le opere<sup>2</sup>. Questo lascia intuire che l'appropriazione del mito è fondamentalmente strumentale ma comunque contribuisce a modificare la mentalità e le tradizioni locali e apre la strada all'antropomorfismo religioso, attraverso un processo di selezione che, partendo da divinità già presenti nel pantheon locale, le 'umanizza' e le riveste di funzioni e attributi precisi (Cristofani, 1993a).

L'identificazione tra divinità indigene e divinità greche si è verificata attraverso modalità per noi in buona parte oscure ma ha portato comunque alla formazione di un pantheon completo, processo questo avvenuto tra VII e VI secolo, ma attestato in modo sistematico solo nel IV secolo, anche se resta comunque uno 'zoccolo duro' di divinità locali non integrate nel sistema olimpico, che mantengono caratteri fondamentalmente agrari e ctonii.

## **2. La lingua e l'alfabeto etruschi**

I primi studi dell'alfabeto etrusco risalgono alla seconda metà del '400, quando gli eruditi dell'epoca cominciarono a leggere alcune iscrizioni etrusche, paragonandole giustamente a quelle degli alfabeti greco e latino.

L'alfabeto etrusco rivela un'evidente derivazione formale da quello greco: gli studiosi sono infatti concordi nel ritenere che l'alfabeto sia da associare alla colonizzazione greca avvenuta in Italia attorno al VIII secolo a.C.; ne è testimonianza la tavoletta scrittoria in avorio di Marsiliana che riporta 26 segni (All. II) comprendenti tutte le lettere dell'alfabeto fenicio trasmesso ai Greci e alcuni segni specifici che i Greci avevano creato a proprio uso.

L'utilizzazione pratica dell'alfabeto avvenne in concomitanza con un elaborato processo di adattamento alle necessità ed alle caratteristiche della

---

<sup>2</sup> Ad esempio, il tema ripreso più volte dell'accecamento di Polifemo da parte di Ulisse allude alle sconfitte (vere o presunte) che gli Etruschi (simboleggiati da Ulisse) hanno inflitto agli storici nemici Sicelioti (rappresentati da Polifemo, il mostro siciliano).

lingua etrusca: non tutte le ventisei lettere greche, infatti, appaiono usate nelle iscrizioni o impiegate nel loro valore fonetico originario. Questo provocò un fenomeno di differenziazione geografica simile a quello avvenuto nelle *poleis* greche nei confronti del modello fenicio.

La serie alfabetica etrusca venne definitivamente fissata nel corso del VI secolo a.C. Il cosiddetto Alfabetario di Roselle<sup>3</sup>, presenta per la prima volta la serie alfabetica priva delle lettere ‘morte’ compreso il nuovo segno a 8 che la chiudeva.

A partire da questo momento non si registrano più differenze sostanziali<sup>4</sup> tra l’alfabeto delle iscrizioni e quello modello, eccettuate quelle che riguardano alcune variazioni formali delle lettere e proprio sulla base di tali variazioni è possibile distinguere tra gli alfabeti etruschi più arcaici (iscrizioni tra il VII e il V secolo a.C.) e quelli più recenti (iscrizioni tra il IV e il I secolo a.C., cfr. Venturi, 2001).

### 3. Il Disco di Magliano

#### 3.1 Il ritrovamento

Le attestazioni etrusche sono attualmente databili dalla fine dell’VIII sec. a.C. al I sec. d.C. Le numerose iscrizioni ritrovate (più di diecimila) sono per la maggior parte testi incisi o graffiti su supporti di vario tipo<sup>5</sup>, oppure iscrizioni stampigliate, solitamente su ceramica, su piombo o bronzo. Nell’epigrafia etrusca si distinguono convenzionalmente due fasi: fase arcaica (VII-V sec. a.C.) e fase recente (IV-I sec. a.C.). Il V secolo rappresenta un periodo di transizione in cui si assiste a vistosi mutamenti in termini di supporti, ortografia delle parole, forma delle lettere (Benelli, 2007). Al periodo arcaico appartiene il Disco (o Piombo) di Magliano che costituisce il ritrovamento più notevole di Heba etrusca (vicina all’odierna Magliano in Toscana).

Il Disco di Magliano (All. I) è costituito da una piccola lamina di piombo databile alla metà del V secolo a.C.<sup>6</sup> a forma lenticolare e di dimensioni 7x8 cm e peso di 191 g che presenta sulle due facce un’iscrizione di poco più di 70 parole. Il disco, secondo quanto riporta Emilio Teza<sup>7</sup>, venne ritrovato il 25 febbraio 1882 durante lavori agricoli nel campo dei fratelli Busatti, vicino al vecchio convento di Santa Maria in Borraccia; un altro reperto dello stesso tipo

<sup>3</sup> Ciotola di bucchero della seconda metà del VI sec. a.C.

<sup>4</sup> Esistono tuttavia altre differenze legate all’area geografica d’uso dell’alfabeto e basate sull’utilizzo e sulla forma grafica di alcune lettere.

<sup>5</sup> Va comunque precisato che non manca un certo numero di testi dipinti su ceramica o su pareti tombali.

<sup>6</sup> La forma linguistica è tuttavia quella più recente come dimostra la presenza di forme sincopate (*ecs* non *icas*, *cautha* non *cavatha*)

<sup>7</sup> Emilio Teza (1831-1912) è stato un linguista, glottologo e traduttore italiano. Insegnò all’Università di Bologna ove fu collega e amico di Carducci.

era stato scoperto poco tempo prima dai Busatti ma è andato irrimediabilmente perduto. Il Disco di Magliano fu acquistato da Luigi Adriano Milani, direttore del Museo Archeologico di Firenze dove è attualmente conservato<sup>8</sup>.

Uno degli elementi che lo differenzia dalle migliaia di iscrizioni funerarie ritrovate, è di presentare un testo che è fra i più lunghi disponibili in lingua etrusca. Il testo è scritto su entrambi i lati come di consueto da destra a sinistra, in forma di spirale con movimento dall'esterno all'interno, fatto questo invece del tutto inusuale e che ricorda il famoso Disco di Festo<sup>9</sup>.

Nel suo trattato di "Etruscologia" Massimo Pallottino scrive: «*Un documento sacrale molto importante è contenuto nella laminetta di piombo di forma lenticolare, con iscrizione a spirale, nella quale si alternano nomi di divinità (cauvas - aiseras - marisl - calus - tins) ed indicazione di offerte funerarie*» (Pallottino, 2016).

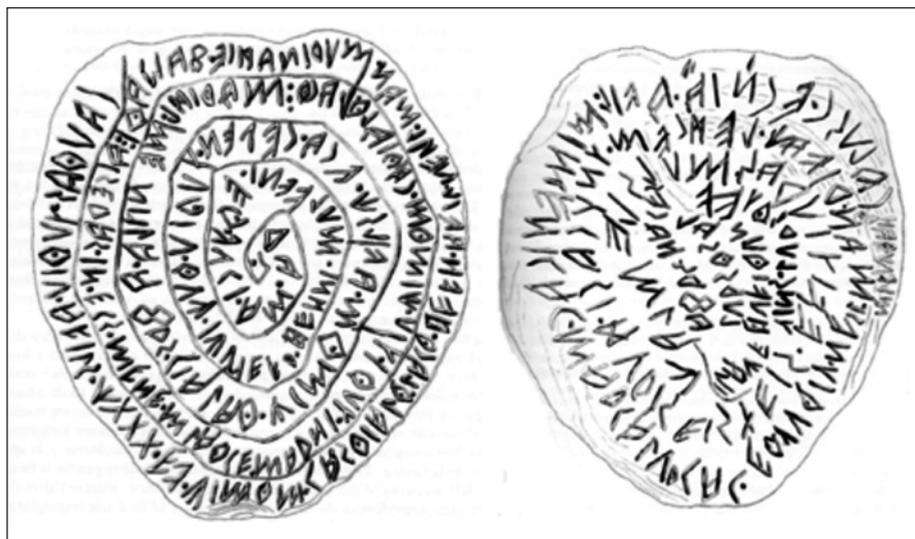


Fig. 1 – Il Disco di Magliano: Lato A e Lato B (da Massarelli, 2014)

<sup>8</sup> I fratelli Busatti accettarono al tempo la cifra di sole mille lire per la vendita del Disco al Museo: «*per il desiderio di saper custodito in uno dei grandi Musei l'importante documento etrusco (...)*» (Massarelli, 2014, p. 19) e rinunciando quindi alla possibilità di un maggior guadagno in caso di vendita sul mercato antiquario.

<sup>9</sup> Il Disco di Festo è un reperto archeologico di terracotta ritrovato nell'omonima località sull'isola di Creta. La sua datazione stratigrafica ne attribuisce l'età al 1700 a.C. Il disco contiene 241 simboli impressi quando l'argilla era ancora fresca. Attualmente è conservato al Museo archeologico di Candia, a Creta.

### 3.2 Il testo e la sua autenticità

In un primo periodo l'autenticità del manufatto fu oggetto di discussione tra gli studiosi, tuttavia nel 1894 Luigi Adriano Milani, pubblicò uno studio contenente tra l'altro un'importante lettera a favore, datata 1888, di Theodor Mommsen<sup>10</sup> grazie alla quale la questione poté dirsi definitivamente risolta.

L'iscrizione del Disco di Magliano secondo la suddivisione proposta da Rix (1991) in *Etruskische Texte* consta di circa 76 sequenze grafiche (tra parole e numeri: 43 sul lato A, 33 sul lato B) per complessivi 350 caratteri<sup>11</sup>.

**Lato A**     *cauthas. tuthiu. avils. LXXX. ez.chimthm. casthialth. lacth. hevñ. avil. nesl. man. murinasie. falzathi : aiseras. in. ecs. mene. mlathce. marni. tuthi. tiu. chimthm. casthialth. lacth : marišl menitla. afrs. cialath. chimthm. avilsch. eca. cepen. tuthiu. thuch. ichutevr. hešni. mulveni. eth. zuci. am. ar.*

**Lato B**     *mlachthan/ra/calusc. ecnia. /iv/ avil. mimenicac. marcalurcac. eth. tuthiu. nesl. man. rivach. lešcem. tnucasi. šuriseisteis. evitiuras. mulslemlachilachetins. lursth. tev huvithun lursthsal afrs. naces.*

L'analisi linguistica nel lato A è facilitata dall'uso della punteggiatura; tuttavia, soprattutto sul lato B, sono presenti sequenze grafiche non divise, troppo lunghe per rappresentare unità lessicali; risultano quindi necessarie strategie di suddivisione per individuare le singole parole del testo.

### 3.3 Le divinità del Disco di Magliano

Il celeberrimo Fegato di Piacenza<sup>12</sup> riporta alcuni dei nomi di divinità che troviamo anche nel Disco di Magliano: in primo luogo *Tin* (o *Tinia*), il dio supremo per gli Etruschi, nominato ben cinque volte nel Fegato di Piacenza, con epiteti diversi. Rappresentato con corona e scettro o fulmine fra le mani viene associato a Zeus o a Iuppiter, ma con importanti differenze, come una valenza infera (*Tinia calusna*). L'accostamento a *Calu*, divinità appunto dell'oltretomba, non ha paralleli nel pantheon greco-romano (Camporeale, 2015).

<sup>10</sup> Christian Matthias Theodor Mommsen (1817-1903) è stato un autorevole accademico, filologo e linguista tedesco, generalmente considerato il più influente classicista del XIX sec.

<sup>11</sup> Nella trascrizione fonetica di seguito riportata, sono state sostituite le seguenti lettere presenti nel testo originale: θ viene trascritto in th (esempio: Cauθas = Cauthas), χ viene trascritto in ch (esempio: χimθm = chimthm).

<sup>12</sup> Modellino in bronzo di un fegato ovino: la superficie è suddivisa in 40 settori in ciascuno dei quali è iscritto il nome di una divinità. Le 16 caselle che percorrono il bordo rappresentano la suddivisione del cielo (*templum caeleste*) in quattro quadranti. Orientando in un determinato modo il fegato, l'aruspice capiva da quale settore del cielo, e quindi da quale divinità, proveniva un determinato segno.

*Calu*, che si ritrova nel lato B del Disco di Magliano, ricorre anche in iscrizioni funerarie secondo le quali il defunto 'è sceso da *Calu*' (Cristofani, 1993b). Non ci sono rappresentazioni certe di questa divinità, alla quale viene comunque associata l'immagine di un lupo che sbuca dal parapetto di un pozzo e con i suoi artigli afferra una vittima umana, il che potrebbe avvicinarlo al dio greco *Thanatos*, il portatore di morte.

*Maris*, il cui nome è presente sia nel Disco di Magliano sia nel Fegato di Piacenza, appare come un bambino o un ragazzo affidato alle cure di *Menerva*, forse figlio di *Turan* (Afrodite) e *Laran* (Ares), il che ha fatto nascere l'ipotesi che possa corrispondere al greco *Eros*. C'è anche chi ha visto in questa divinità l'aspetto ctonio di Marte (Torelli, 1986); questa ipotesi è stata tuttavia messa in discussione sia dal punto di vista della radice linguistica sia perché: «*Maris non ha le caratteristiche di dio guerriero proprie del Mars latino; se può esservi qualche forma di relazione, essa sarà da ascrivere quindi ad una convergenza in età storica di carattere superficiale, motivata essenzialmente dalla somiglianza tra i due nomi*» (Massarelli, 2014, pag. 82).

Per quanto riguarda *Aiseras*, se pure non è un termine generico per indicare la divinità, trovandosi nel Disco in serie con *Cauthas* e *Maris* (*Cauthas*, *Aiseras*, *Mariśl*) potrebbe indicare in forma di teonimo al genitivo, il nome di una divinità femminile associata a *Tin* (Devoto, 1964).

Particolare interesse riveste poi la divinità<sup>13</sup> *Cautha* (*Cauθa*) che costituisce l'*incipit* del lato A del Disco e che si ritiene corrispondere ad una forma autoctona della divinità solare o lunare (De Grummond, 2008). *Cautha* il cui nome si è evoluto nel tempo in *Catha* (*Caθa*) sembra essere stata allo stesso tempo una divinità celeste e sotterranea ma, nonostante diverse attestazioni disponibili<sup>14</sup>, incerta è la sua rappresentazione (cfr. Ottobre e la dea Cavatha, in ETRU-Museo Nazionale Etrusco) e il rapporto di *derivazione* o *associazione* al dio del sole maschile e di iconografia greca<sup>15</sup> (Maras, 2007; Tirelli, 2021).

Appare evidente da quanto esposto un problema interpretativo: il problema di fondo consiste nel fatto che la conoscenza della religione etrusca si basa in buona parte sulle affermazioni di autori romani di epoca successiva, in cui questa religione non esisteva più nella sua forma autoctona.

### **3.4 Problemi di studio e traduzione del Disco di Magliano**

Risalgono a fine '800 i primi tentativi di classificazione dell'Etrusco, atti ad individuare un rapporto con lingue appartenenti alla stessa famiglia ed una origine comune. Questa prima fase è segnata per quanto riguarda

---

<sup>13</sup> Divinità probabilmente femminile, ma l'attribuzione è in parte controversa.

<sup>14</sup> È presente ad esempio nel Fegato di Piacenza.

<sup>15</sup> La documentazione più recente associa all'iconografia greca del sole, il nome di Ušil, nome di origine genuinamente italica (ambiente umbro-sabino).

l'ermeneutica, dall'affermarsi del metodo *etimologico*, fondato su di una parentela linguistica dell'Etrusco con altre lingue indoeuropee e del metodo *combinatorio*<sup>16</sup>. Altri tentativi hanno cercato di apparentare l'etrusco alle lingue egeo-anatoliche (ad esempio l'Ittita), sulla base di un'ipotesi di un'origine orientale degli Etruschi. Degna di nota storica anche l'ipotesi (Semeraro, 2003) di una derivazione della lingua etrusca da una 'vasta *koinè* di linguaggi semitici nell'ambito del Mediterraneo, basata su corrispondenze<sup>17</sup> tra voci etrusche e originari termini, radici lessicali derivanti da antiche lingue di ceppo semitico quali Accadico, Ebraico, Aramaico, Ugaritico. Tutti questi tentativi di apparentamento dell'Etrusco non hanno tuttavia superato il vaglio della comunità scientifica.

Una prima difficoltà nello studio della lingua etrusca è dunque costituita dal fatto che è una lingua isolata, nel senso che non è inseribile in nessuno dei gruppi linguistici che conosciamo per caratteri morfologici e lessicali: «*si veda la struttura di lingua agglutinante anziché flessiva inoltre i numerali sono incompatibili con il sistema indeuropeo*» (Belfiore, 2020). La seconda è la scarsità del materiale a disposizione<sup>18</sup>; le fonti su cui ci si basa per lo studio della lingua etrusca sono infatti quasi esclusivamente iscrizioni brevissime e di carattere funerario o votivo. La terza risiede nella mancanza di strumenti diretti di traduzione di parole, cioè di glossari bilingui, tranne pochissimi esempi quali ad esempio le Lamine d'oro di Pyrgi (All. III): contrariamente ad una opinione diffusa, non si tratta dunque di trovare una *decifrazione* della lingua etrusca, quanto piuttosto di approfondirne la conoscenza.

Nel caso del Disco di Magliano, a queste difficoltà di carattere generale si aggiunge un ulteriore problema di interpretazione: l'esegesi del lato A è infatti agevolata dalla possibilità di scomporre il testo in tre sezioni individuabili dalla punteggiatura (tre puntini verticali) e dall'inizio in ogni sezione del nome di una divinità coniugata al genitivo, condizioni queste che non si presentano nel lato B, che pertanto risulta di decifrazione ancora più complessa.

#### 4. Traduzioni del Disco di Magliano

Sono disponibili diverse traduzioni del Disco di Magliano da parte di autorevoli linguisti e talvolta di ricercatori improvvisati, che differiscono

<sup>16</sup> Metodo che tende ad accertare l'esatta interpretazione di un elemento linguistico, mediante un confronto in tutti i luoghi in cui quell'elemento ricorre.

<sup>17</sup> Tesi sostenuta ricorrendo ad una nutrita serie di termini, anche molto caratterizzanti l'ambito culturale e religioso etrusco, ed in particolare voci relative a numeri, nomi e mesi dell'anno, numerosi toponimi e idronimi, divinità. Ad esempio: *avil* (anni vissuti): in greco αἰών (vita, forza vitale), ebraico *haja* (vivere), semitico *jaum* (giorno, mese, anno) (cfr. Semeraro, 2003, pag. 132).

<sup>18</sup> La Mummia di Zagabria, La Tegola di Capua, La Lamina di piombo di Punta della Vipera, Le Lamine d'oro di Pyrgi e il Disco di Magliano.

significativamente tra di loro e che sono il riflesso di approcci ermeneutici radicalmente diversi.

A titolo di esempio si riporta la traduzione della prima frase del lato A del disco, secondo van der Meer (2013) allo scopo di mettere in evidenza il grado di straordinaria incertezza del testo<sup>19</sup>. Va inoltre precisato che la stessa lettura non è concorde fra tutti gli studiosi<sup>20</sup>.

Testo Originale: *cauthas. tuthiu. avils. LXXX. ez.chimthm. casthialth. lacth. hevn. avil. nešl. man. murinašie. falzathi:*

Trad. L.B. van der Meer: For Cauta the village (rite/priest) of the year, 80 *ez*, in addition in the slaughter (place), in *castia*, in *lac-*, *hevn* annually of the deceased the monument, belonging to (the) Murina (family), in a small heavenly place.

In conclusione si può affermare che una restituzione certa del testo non esiste. Il fatto tuttavia non deve stupire alla luce di quanto precedentemente esposto.

Viene di seguito riportata l'analisi comparata di un solo lessema che, secondo Massarelli (2014), è utile per illustrare la complessità e il perimetro della ricerca.

#### **4.1 Analisi di un lessema etrusco: *tuthiu* (tuθiu)**

La parola *tuthiu* compare altre due volte nel testo del disco, e una volta si trova *tuthi*.

Deecke (1884) riteneva che *tuthiu* fosse legato alla radice indoeuropea \**teut-*, 'comunità' e alle attestazioni italiche come *tota*, *tuta*, *toúta*. Malgrado come detto, l'infondatezza dell'ipotesi indoeuropea, questa idea ha avuto un certo seguito; secondo van der Meer (2013) e Pallottino (2016) infatti il significato di *tuthiu* è da riferire al lessema *tuthi* (*tuθi*) (villaggio, comunità, stato) in forma di aggettivo.

Solo recentemente tale ipotesi è stata messa in discussione ed è probabile che la serie *tuthi*, *tuthiu*, *tuthina* sia originariamente etrusca: «Agostiniani<sup>21</sup> nota che vi è una sorta di parallelismo formale tra questo insieme e quello costituito da [š]uthi, [š]uthiu, [š]uthina, notoriamente afferenti all'ambito

---

<sup>19</sup> Secondo Massimo Pittau (1921-2019), linguista dell'Università di Nuoro, sostenitore dell'ipotesi di parentela del Paleosardo (antica lingua parlata in Sardegna prima dei Romani) con l'Etrusco. Ipotesi non condivisa dalla comunità scientifica, la traduzione sarebbe: '(Sia) tutelato da Cauta in tutto l'80enne nella fossa purificata del Nobiluomo; il Mane della gens Murinia defunto un anno fa (è) nel palazzo degli dei'.

<sup>20</sup> A titolo di esempio: *falzathi* (*falzaθi*) viene interpretato da taluni con *faltathi* (*faltaθi*).

<sup>21</sup> Luciano Agostiniani (1939-2022) è stato professore di linguistica e filologia all'Università di Perugia. È ricordato per l'importante contributo alla lettura della *Tabula Cortonensis* (II sec. a.C.).

*semantico della 'deposizione' e derivanti da una forma verbale radicale [š]uth, (...) traducibile come imperativo di 'porre': non sembrerebbe quindi fuori luogo ipotizzare la derivazione di tuthi, tuthiu, tuthina da una forma verbale \*tuth-, il cui significato è però da considerare ignoto» (Massarelli, 2014, p. 45).*

L'ipotesi descritta e cioè la lettura di *tuthiu* come forma verbale necessita di ulteriori riscontri anche perché non è chiara la dimensione della frase, se cioè includa anche altri termini.

Degno di nota per il generale interesse che sta suscitando, è l'impiego della AI nell'analisi del lessema in oggetto. Sebbene questa tecnologia sia ancora in una fase iniziale e pertanto non sia possibile formulare un giudizio definitivo, i risultati prodotti sull'analisi del lessema *tuthiu* hanno evidenziato due elementi: da un lato la straordinaria velocità di accesso in modo selettivo a tutta la documentazione disponibile in forma digitale, d'altra parte la carenza al momento di un vero fattore 'intellettivo' in grado cioè di sostituire un'analisi linguistica 'umana'.

Nel merito della esatta restituzione di *tuthiu* (*tuθiu*) resta quindi ancora qualche incertezza e non si può che concordare con quanto autorevolmente esposto da Pallottino già nel 1947: «*In questo campo non è possibile giungere a conclusioni soddisfacenti, fino a quando il materiale linguistico in nostro possesso rimarrà (...) oscuro non soltanto per quanto riguarda il lessico ma anche nel valore delle forme grammaticali e dei rapporti sintattici*» (Pallottino, 2016).

## 5. Conclusioni

Da quanto esposto appare evidente che il Disco di Magliano costituisce una conferma del profondo senso religioso che ha permeato la società etrusca. L'invocazione a Cautha che costituisce l'incipit del lato A e che si può interpretare come 'a Cautha' o 'per Cautha', il nome di una famiglia gentilizia 'murinašie'<sup>22</sup> assieme alla scrittura in forma di spirale, notoriamente associata al moto del sole a cui la divinità Cautha è correlata, il tutto fa propendere per una funzione di amuleto dedicatorio del Disco di Magliano.

Del resto è ben noto l'uso di amuleti nella cultura etrusca a causa del loro profondo misticismo: animali, alberi e frutti, sono largamente rappresentati in forma positiva o negativa. È pertanto plausibile la funzione dedicatoria del Disco associata ad un elemento della natura Cautha (il sole) in forma antropomorfa.

Rimangono di indubbio fascino alcune similitudini dell'Etrusco con altre lingue antiche; questi tentativi di apparentamento tuttavia non hanno al momento portato ad un risultato e si può affermare che l'Etrusco costituisce, per quanto al momento conosciuto, una lingua isolata.

<sup>22</sup> Anche se in forma non identificabile dal punto di vista grammaticale.

Lo studio del Disco di Magliano costituisce un'occasione per riflettere su di una civiltà, quella etrusca, che è straordinariamente ricca e complessa sia sul piano storico che umano; allo stesso tempo i problemi interpretativi, tuttora aperti, interrogano la nostra capacità di lettura e rappresentano una sfida a cui non siamo in grado al momento di fornire una risposta certa. Il Disco di Magliano rappresenta pertanto un affascinante banco di prova in cui continua ad esercitarsi il pensiero umano nelle sue forme di ricerca archeologica, ermeneutica e sociale.

### **Ringraziamenti**

*Si ringrazia il Prof. Riccardo Massarelli dell'Università di Perugia per i preziosi suggerimenti e i contributi forniti.*

### **Bibliografia**

- BELFIORE V., 2020 – *Etrusco*. *Paleohispanica*, **20**, Actas del Congreso Internacional “Lenguas y culturas epigráficas paleoeuropeas. Retos y perspectivas de estudio”, Zaragoza, pp. 199-262.
- BENELLI E., 2007 – *Iscrizioni etrusche. Leggerle e capirle*. SACI Edizioni, Ancona.
- CAMPOREALE G., 2015 – *Gli Etruschi. Storia e civiltà*. UTET, Torino.
- CRISTOFANI M. 1993a – *Sul processo di antropomorfizzazione del pantheon Etrusco*. Quaderni di archeologia etrusco-italica, vol. **22**, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.
- CRISTOFANI M. 1993b – *Etruschi. Una nuova immagine*. Giunti Editore, Firenze.
- DEECKE W., 1884 – *Die Bleitafel von Magliano*. Neue Folge, **39**, Rheinisches Museum für Philologie, pp. 141-150.
- DE GRUMMOND N., 2008 – *Moon over Pyrgi: Catha an Etruscan Lunar Goddess?* *American Journal of Archaeology*, **112**(3) pp. 419-428.
- DEVOTO G., 1964 – *Nomi di divinità etrusche III Aisera*. Studi Etruschi, XXXII, Istituto Nazionale di Studi Etruschi ed Italici, Firenze, p. 131.
- MARAS D.F., 2007 – *Divinità Etrusche e Iconografia Greca: la connotazione sessuale delle divinità solari e astrali*. Poli-Femo, Liguori Editore, Napoli.
- MARTINELLI M., 1992 – *Gli Etruschi. Magia e Religione*. Convivio, Nardini Ed., Firenze.
- MASSARELLI R., 2014 – *I Testi Etruschi su piombo*. Biblioteca di Studi Etruschi, n. **5**, F. Serra Editore, Pisa e Roma.
- MUSEO NAZIONALE ETRUSCO ETRU, 2024 – *Ottobre e la dea Cavatha. La dea Celeste e Sotterranea* <https://www.museoetru.it/etru-a-casa-aiser/ottobre-e-la-dea-cavatha>.
- PALLOTTINO M., 1947 – *L'Origine degli Etruschi*. Tumminelli Ed., Roma.
- PALLOTTINO M., 2016 – *Etruscologia*. 7ª ed., Hoepli, Milano, 584 pp.
- PITTAU M., 2014 – *La Lingua Etrusca*. <http://www.pittau.it/Etrusco/Studi/etrinrtd.html>.
- RIX H., 1991 – *Etruskische Texte*. Editio minor, Günter Narr Verlag, Tübingen.
- SEMERANO G., 2003 – *Il popolo che sconfisse la morte*. B. Mondadori, Milano, 175 pp.
- TIRELLI M., 2021 – *La rappresentazione del sole nell'arte etrusca*. Istituto Nazionale di Studi Etruschi ed Italici, <https://www.studietruschi.org>.
- TORELLI M., 1986 – *La religione*. In: G. Pugliese-Carratelli (ed.) “Storia e civiltà degli Etruschi”, Credito Italiano, Libri Scheiwiller, collana Antica Madre, Rasenna (MC).
- VAN DER MEER L.B., 2013 – *The Lead Plaque of Magliano*. “Interpretando l'antico”, scritti di archeologia offerti a Maria Bonghi Jovino, Milano, pp. 323-341.
- VENTURI R., 2001 – *Cosa ne sappiamo dell'Etrusco?* <https://digilander.libero.it/alpdn/Biblioteca/Etrusco.pdf>.

**Allegato I: Il Disco di Magliano**

*Foto dei due lati del Disco di Magliano (da Wikimediaorg).*

### **Allegato II: Tavoletta di Marsiliana**

Tavoletta (5,1x8,5 cm) rinvenuta nella necropoli della Banditella nei pressi di Marsiliana d'Albegna (Grosseto); costituiva probabilmente uno strumento per l'apprendimento della scrittura. Le tracce di cera rilevate portano a ritenere che sia stata effettivamente utilizzata e attesta l'alto livello sociale del defunto.



*Tavoletta di Marsiliana (da Wikimediaorg).*

**Allegato III: Lamine di Pyrgi**

Si tratta di uno dei più importanti documenti epigrafici etruschi, per certi versi paragonabile alla Stele di Rosetta. È costituito da un testo bilingue, inciso su tre fogli in lamina d'oro, che ha permesso un considerevole avanzamento nella comprensione della lingua etrusca.



*Lamine di Pyrgi (da Wikimediaorg).*



## **Ricordo di PIETRO GUERZONI**

**di Giovanni Tosatti**

Il giorno 6 settembre 2023 è scomparso il Prof. Pietro Guerzoni – Piero per gli amici – iscritto da tempo alla Società dei Naturalisti e Matematici di Modena.

Piero, nato a Modena nel 1931, è stato per tutta la sua vita un protagonista di primo piano della cultura e della vita sociale modenese. Nel 1957 si laureò in Scienze Naturali presso il nostro Ateneo e, nello stesso anno, diventò presidente dell'appena costituito Istituto Tecnico “Enrico Fermi”.

Nel 1970 iniziò il suo impegno politico nelle fila del Partito Socialista Italiano, prima come consigliere comunale, poi nel 1973 come assessore all'Urbanistica e vice-sindaco del Comune di Modena. Il suo impegno come amministratore pubblico durò dieci anni, al termine dei quali riprese l'attività di insegnamento sempre presso l'istituto “Fermi”.

Pietro Guerzoni è sempre stato molto attivo nel panorama culturale, sociale e ambientalista della nostra città e regione. Durante il suo assessorato si impegnò costantemente nella conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico e artistico di Modena in cui sentiva racchiusa la storia della nostra città. È stato inoltre il fondatore di molte realtà associative, tra cui la Croce Blu, la sezione modenese del WWF-Fondo Mondiale per la Natura e l'Istituto per la Storia del Risorgimento. Per diversi anni ha anche ricoperto il ruolo di consigliere regionale della Delegazione Emilia-Romagna del WWF a Bologna.

Nel 1988, una volta raggiunta la pensione, diede vita a una lunga e fruttuosa attività editoriale fondando la casa editrice “Il Fiorino”, che è arrivata nel corso di oltre tre decenni a pubblicare centinaia di libri, in particolare su temi come la storia locale, le tradizioni, il dialetto modenese, ma anche romanzi e raccolte di poesie, la storia dell'arte, varie guide turistiche, lo sport e altro ancora.

Grazie alle sue grandi doti di umanità e di solidarietà, Pietro è stato stimato e rispettato anche dai suoi avversari politici, che gli hanno sempre riconosciuto una profonda umanità, correttezza e integrità morale.



Pietro Guerzoni (1931-2023)



## Ricordo di MAURIZIO GNOLI

di Paolo Serventi

Il giorno 12 novembre 2023 è mancato il Professor Maurizio Gnoli, iscritto alla Società dei Naturalisti e Matematici di Modena fin dal 1974.

Maurizio era nato a Modena il 20 febbraio 1948. Fin da ragazzo aveva mostrato una grande passione per le Scienze Naturali e nel 1973 si laureò in Scienze Geologiche con il massimo dei voti presso l'Università di Modena. Da subito si dedicò agli studi paleontologici e, ancora studente, vinse una borsa di addestramento tecnico del CNR, dopo aver sostenuto un corso sulla microscopia elettronica a scansione presso la Cambridge Co. Ltd (Inghilterra) e perfezionando tecniche applicate alla ricerca paleontologica.

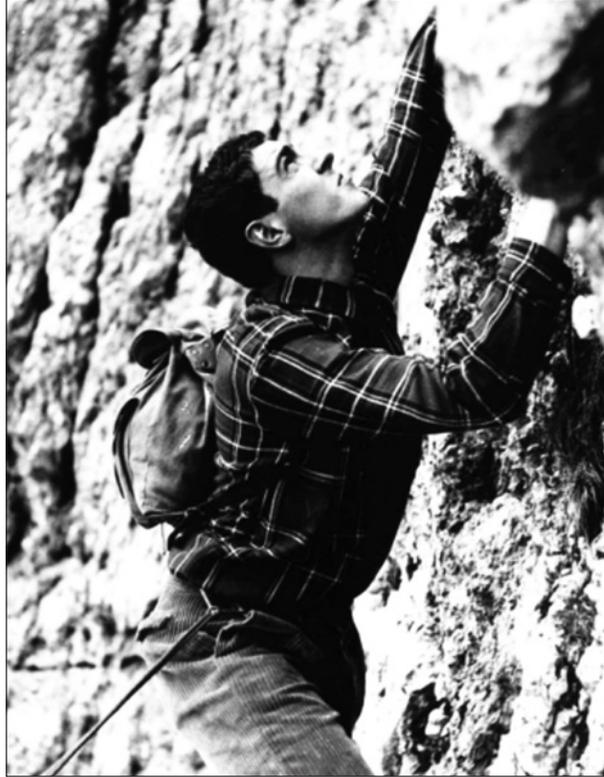
Nel 1974, a soli 26 anni, venne nominato Assistente incaricato presso la Cattedra di Paleontologia dell'Università di Modena, posto ricoperto fino al dicembre 1982 quando – dopo essere stato dichiarato idoneo a Professore associato – fu chiamato a ricoprire il corso di Paleontologia presso la stessa Università. Nel maggio 1978 seguì un corso su Microbiofacies e Geologia dei Carbonati presso l'Università di Perugia. Nell'agosto 1982 fu “Visitor scientist” al “Laboratorio di Stratigrafia e Paleontologia del Paleozoico” presso l'Università della Bretagna occidentale (Francia). Un anno dopo fu “Visitor scientist” a Praga, presso il Servizio Geologico Cecoslovacco, dove ebbe l'opportunità di visitare gli affioramenti paleontologici del Bacino di Praga.

Nell'agosto 1984 ricoprì la funzione di “National Leader” del progetto IUGSG “Geotraverse” nel Meeting internazionale di Atene. Negli anni successivi Maurizio soggiornò in Etiopia per motivi di studio ma al suo rientro in Italia, nel 1986, iniziò ad accusare seri problemi di salute, avvisaglie dell'encefalite che lo avrebbe colpito gravemente l'anno successivo. Maurizio rimase per molto tempo in ospedale e, sebbene segnato nel corpo da una disabilità motoria, ripartì tuttavia da zero grazie alla sua tenacia e forza di volontà e con l'aiuto e la vicinanza della moglie Marina e dei figli Alessandro e Riccardo. Diceva spesso di sé: “ho rimparato a camminare!”.

Esperto di faune a cefalopodi nautiloidi del Siluriano del margine settentrionale del Gondwana “Mauri” – così lo chiamavo – era metodico, scrupoloso ed estremamente preciso ma era anche aperto al confronto, sempre animato da una grande curiosità. La fotografia era la sua grande passione assieme alla montagna. Si informava costantemente sulle ultime scoperte riguardanti la Paleontologia; infatti negli ultimi anni della sua carriera accademica, si impegnò nella stesura e realizzazione di un doppio volume di Paleontologia. La

didattica era il suo interesse principale; per lui gli studenti venivano per primi e a loro si dedicava completamente.

La sua attività scientifica è attestata da oltre 60 pubblicazioni su importanti riviste nazionali e internazionali, fra le quali tre monografie.



Maurizio Gnoli (1948-2023)

### **Articoli di Maurizio Gnoli pubblicati su Atti Soc. Nat. Mat. di Modena**

- M. GNOLI, 1979 – *The occurrence of the blue-green alga Girvanella in the Lower Ordovician of Precordillera Argentina*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **110**, pp. 1-9.
- M. GNOLI, 1993 – *Remarks on minor elements of the Upper Silurian cephalopod fauna of SW Sardinia*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **124**, pp.27-34.
- M. GNOLI, 2015 – *Some taxonomic remarks on Cambaytherium thewissi (Rose et al., 2014) in the palaeogeographic context of India*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **146**, pp. 119-133.



## Ricordo di ENRICO SERPAGLI

di Giovanni Tosatti

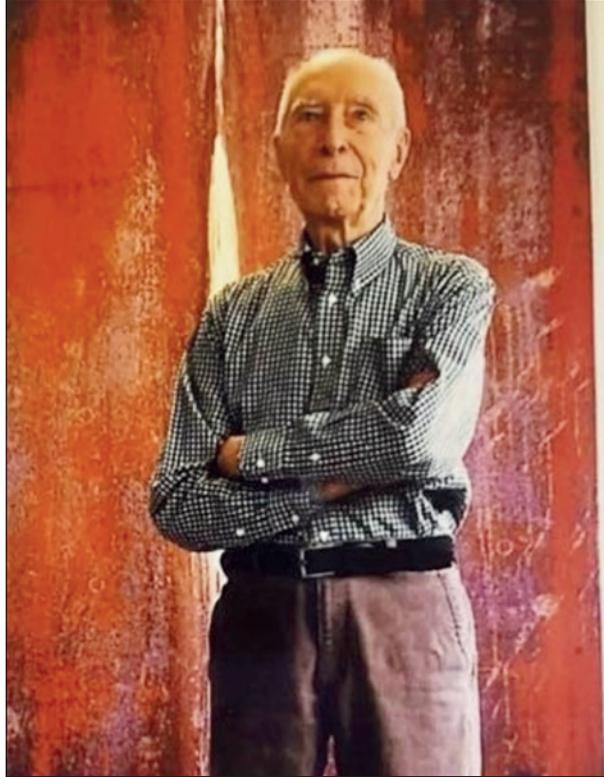
Il 29 dicembre 2023 si è spento a Sassuolo il socio Enrico Serpagli, “Giulio” per gli amici. Iscritto alla Società dei Naturalisti e Matematici di Modena fin dal lontano 1959, era il socio più anziano del nostro sodalizio. Il Prof. Serpagli era nato a Borgo Val di Taro il 6 settembre 1936, ma aveva vissuto tutta la prima parte della sua vita a Bedonia, nell’Appennino parmense, terra d’origine della sua famiglia, per poi trasferirsi con i genitori a Sassuolo negli anni ‘50.

Per tutta la vita rimase legato alla sua Bedonia, dove spesso ritornava e che, fin dagli anni della gioventù, immortalò in numerose fotografie scattate con la sua prima fotocamera: una Zeiss Ikon Nettar del 1951.

Si laureò in Scienze Geologiche e presto divenne assistente universitario e quindi docente di Paleontologia presso l’Università di Modena – allora sotto la guida della Prof.ssa Eugenia Montanaro Gallitelli – dove svolse una brillante carriera coronata dalla nomina a professore ordinario. Enrico è stato un docente e ricercatore molto attivo in campo paleontologico e la sua attività didattica non si è limitata al nostro Ateneo, dal momento che teneva diversi corsi semestrali e conferenze in molte università straniere, fra le quali la famosa Freie Universität di Berlino e la Lunds Universitet in Svezia.

Enrico ha dedicato alla ricerca quasi 50 anni della sua vita, pubblicando oltre 130 lavori scientifici sulle più prestigiose riviste italiane e internazionali. È stato inoltre autore e co-autore di diversi libri di testo e di divulgazione scientifica.

Il suo amore per la fotografia lo ha accompagnato per tutta la vita, non solo professionale ma anche artistica. Durante i suoi numerosi viaggi di lavoro in giro per il mondo per documentare e studiare sequenze stratigrafiche fossilifere fu sempre più attratto da immagini informali e fantastiche che ‘parlavano’ all’inconscio. Molti dei suoi scatti di affioramenti geologici si offrivano infatti a una lettura estetica, che andava oltre il mero dato oggettivo. Si interessò così sempre più a produzioni artistiche anche slegate dalla sua attività accademica. Come egli stesso diceva di sé: *«Ci sono giorni in cui qualcosa mi spinge ad andare a caccia di immagini... forse perché non sapendo usare colori e pennelli, sento che devo ‘dipingere’ con l’obiettivo. Non so quindi come posso definirmi; un fotografo dilettante, un esploratore, un ladro di immagini»*. Infine, negli anni ’90, fu indotto dal famoso fotografo modenese Beppe Zagaglia a farsi meglio conoscere come fotografo, iniziando una brillante ‘carriera’ anche in questo campo, testimoniata dalle numerose mostre delle sue foto ospitate presso varie gallerie d’arte della nostra regione.



Enrico Serpagli (1936-2023)

### **Articoli con contributi di Enrico Serpagli pubblicati su Atti Soc. Nat. Mat. di Modena**

- E. SERPAGLI, A. SIROTTI, 1969 – *L'età della base del Macigno in Val Gordana (Pontremoli, Appennino Settentrionale) dallo studio biometrico delle lepidocicline*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **100**, pp. 165-174.
- E. SERPAGLI, 1973 – *Carbonati di tipo bahamitico nell'Ordoviciano Inferiore della Precordillera argentina e relative osservazioni paleoclimatologiche*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **104**, pp. 239-245.
- R. OLIVIERI, A. MASTANDREA, E. SERPAGLI, 1980 – *Riconoscimento di alcune zone a conodonti del Devoniano Inferiore nei calcari di Monte Padenteddu nella Sardegna meridionale*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **111**, pp. 15-26.



## Relazione sulle attività svolte dalla Società nel 2023

Nell'anno 2023 la Società dei Naturalisti e Matematici di Modena - APS (ove APS sta per Associazione di Promozione Sociale) ha potuto svolgere più propriamente le proprie attività, essendo venuta meno la situazione sanitaria che aveva richiesto, per due anni, di svolgere la maggior parte delle attività a distanza.

Il nuovo Consiglio Direttivo, eletto dall'Assemblea dei Soci del 16 dicembre 2022 si è regolarmente riunito, presso la sede sociale di via Vivaldi 70 a Modena, per tutto l'anno 8 volte con una presenza media dell'88% dei Consiglieri, cercando di dare vita ad iniziative che continuassero nel solco della tradizione della Società.

Nel corso dell'anno sono state ricevute ed accettate 12 nuove richieste di iscrizione. Il Presidente Zannini ha incontrato il Magnifico Rettore Carlo Porro ed il nuovo Direttore Generale Luca Chiantore il 15 febbraio 2023, per condividere la preoccupazione sulla collocazione idonea e definitiva del materiale raccolto nella Biblioteca della Società e per appianare alcune incongruenze amministrative. Si è inoltre svolto un incontro con il SBA-Sistema Bibliotecario di Ateneo allo scopo di migliorare la visibilità e la fruizione della nostra Biblioteca. Sono iniziate le pratiche per ottenere il DOI sugli articoli degli Atti della Società degli ultimi dieci anni e l'indicizzazione SCOPUS; per ottenere quest'ultima sono stati individuati *referee* stranieri disponibili.

Su mandato del Consiglio Direttivo, il Presidente ha effettuato alcune operazioni bancarie, volte ad investire parte delle giacenze sul conto corrente bancario, ed ha provveduto all'affitto di una cassetta di sicurezza, in cui sono ora conservati la lettera autografa di Charles Darwin ed altri valori della Società. È stato inoltre attivato un Bancomat societario, nelle disposizioni del Presidente e della Tesoriera.

Il commercialista Dr. Paolo Calamai ha redatto la stima dei beni della Società ai fini dell'ottenimento di personalità giuridica nell'ambito dei RUNTS: assieme al relativo atto del notaio Dr. Maurizio Zivieri, questi documenti sono stati inviati al RUNTS, a Bologna.

Il Presidente ha partecipato regolarmente alle riunioni ed alle iniziative della Unione delle Società Centenarie, rappresentandovi la SNMM: fra le altre si cita una visita di cortesia alla Sig.ra Prefetto di Modena Alessandra Camporota. Il Presidente Zannini è stato eletto nel Consiglio Direttivo dell'Unione.

Nel 2023 la Società ha patrocinato la Summer School: "*Piante aromatiche e oli essenziali in Appennino*" nell'ambito di ALFONSA (ALta FORMazione e iNnovazione per lo Sviluppo Sostenibile dell'Appennino), il Convegno Bio-Meeting, l'evento Entomodena ed il Museo Civico per la presentazione di un

volume sul naturalista Giovanni Canestrini, il fondatore della nostra Società.

Si è proseguito nella organizzazione di due attività oramai “istituzionali”: il Premio di Laurea ed il Concorso Fotografico. Durante l’Assemblea generale del 15 dicembre 2023 si è svolta la premiazione del concorso fotografico “*Animali Selvatici intorno a noi*” e del Premio di Laurea 2023, andato al candidato Dott. Mateusz Mieczylaw Michailow, autore della tesi “*Abundance and isotopic distribution of H-C-Cl-F volatile species in Mid-Ocean Ridge Basalts from the Equatorial Atlantic*”, Supervisore Prof. Daniele Brunelli, Co-supervisori Prof.ssa Anna Cipriani, Dott.ssa Léna Verhoest e Dott. Glenn Gaetani del Wodds Hole Oceanographic Institution, Massachusetts, USA.

Nel corso dell’anno sono state organizzate e si sono svolte le seguenti conferenze:

- Prof.ssa Franca Cattelani: “*Dai sistemi di numerazione ai procedimenti di calcolo aritmetico*” il 19 maggio;
- Prof. Samuele Peppoloni: “*Louis Pasteur: uno scienziato al servizio dell’umanità*” il 13 ottobre;
- Prof.ssa Erika Cedillo Gonzalez: “*Gli inquinanti impercettibili ma onnipresenti: cosa sappiamo sulle microplastiche e cosa stiamo facendo per combatterle*” il 17 novembre;
- T. Col. Gianluca Pasqualini: “*L’evoluzione della fotografia militare aeronautica*” il 15 dicembre.

Il 27 maggio, in collaborazione con il CAI, si è svolta una gita alla vetta del Monte Cimone con concerto della banda di Castelfranco Emilia. Il 17 giugno si è tenuta la tradizionale Festa di inizio Estate con visita guidata a Spilamberto e al Museo dell’Aceto Balsamico e cena sociale finale. Infine per il 7 ottobre era stata organizzata una gita in pullman con visita guidata a Sabbioneta e Fontanellato e pranzo a Zibello, non svoltasi per lo scarso numero di adesioni.

È stato infine pubblicato il volume CLIV degli della Società, contenente 18 contributi, per complessive 406 pagine.



## RENDICONTO ECONOMICO E FINANZIARIO

Aggiornato al 31 dicembre 2023

<i>Rendiconto Economico e Finanziario anno 2023</i>	
<b>ENTRATE (€)</b>	
Residuo 2022 conto corrente bancario	99.899,71
Residuo contante	<b>765,00</b>
Quote sociali 2023	<b>1.820,00</b>
Erogazioni liberali	<b>60,00</b>
Convenzione Università MO-RE	<b>20.000,00</b>
Versamento	<b>233,35</b>
<b>Totale (€)</b>	<b>122.778,06</b>

<b><i>Rendiconto Economico e Finanziario anno 2023</i></b>	
<b>USCITE (€)</b>	
Iscrizione Ordine dei Giornalisti, USPI, USCM, CNA	250,00
Spese postali, francobolli	<b>275,90</b>
Competenze conto corrente bancario	<b>380,05</b>
Compensi professionisti e relativi oneri	<b>7.965,08</b>
Altre spese	<b>960,38</b>
Stampa "Atti" n. 154/2023	<b>7.072,00</b>
Affitto ad UNIMORE 2021, 2022, 2023	<b>32.589,63</b>
Assicurazione	<b>803,00</b>
Attività sociali	<b>2.672,00</b>
Acquisto titoli	<b>45.000,00</b>
Prelievo	<b>300,00</b>
<b>Totale (€)</b>	<b>98.268,04</b>

**RIEPILOGO GENERALE:****Entrate nell'anno 2023 (€): 122.778,06****Uscite nell'anno 2023 (€): 98.268,04****Risultato esercizio anno 2023****Residuo cc/b (€): 24.492,65****Residuo contante (€): 0,00**

**BILANCIO DI PREVISIONE PER L'ANNO 2024**

<b>ENTRATE (€)</b>	
Quote sociali	3.000,00 €
Interessi da patrimonio	50,00 €
Convenzione UNIMORE	20.000,00 €
<b>Totale</b>	<b>23.050,00 €</b>

<b>USCITE (€)</b>	
Iscrizione Ordine dei Giornalisti, USPI, USCM	1.000,00 €
Spese postali (invio lettere per Assemblee, invio volumi Atti a Soci e a Corrispondenti)	350,00 €
Cancelleria e materiale tecnico (buste per invii ecc.)	500,00 €
Assicurazione	850,00 €
Spese bancarie	300,00 €
Iniziative culturali	2.000,00 €
Stampa volume "Atti" n. 155/2024	6.000,00 €
Affitto locali dell'Università	11.000,00 €
Consulenze	1.050,00 €
<b>Totale (€)</b>	<b>23.050,00 €</b>





## Elenco Soci anno 2024

1981. ACCORSI Prof.ssa Carla Alberta, via Marco Emilio Lepido 66/2, 40132 Bologna
1963. ALBASINI Prof. Albano, lungadige Matteotti 15, 37126 Verona
2012. ALTIERO Prof.ssa Tiziana, Dip. di Educazione e Scienze Umane, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Allegri 9, 42121 Reggio Emilia
2005. ANGELONE Sig. Giovanni, Dip. di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/a, 41125 Modena
1988. ANSALONI Prof. Ivano, via Cantone 75, 41015 Nonantola (MO)
2013. ARACRI Dott.ssa Raffaella via Caleri 30, 42124 Reggio Emilia
2018. AVINO Dott.ssa Giulia, via Fermi 41, 41124 Modena
1994. BACCHILEGA Sig.ra Diana, via Segantini 60, 41124 Modena
2009. BALOCCHI Dott. Paolo, via Maria Regina Pedena Nord 43, 41123 Modena
1968. BARALDI Dott. Fulvio, via F.lli Bandiera 33, 46100 Mantova
1970. BARALDI Prof. Pietro, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2007. BARBARINI Prof.ssa Elisetta, via Emilia Est 133, 41121 Modena
1997. BARBIERI Dott.ssa Giovanna, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
2016. BARBIERI Prof.ssa Rosella, via Bonesi 1, 41058 Vignola (MO)
1974. BAROZZI Dott. Giancarlo, via dell'Olivo 29, 41012 Fossoli di Carpi (MO)
1990. BASCHIERI Sig. Leonardo, via Boccaletti 15, 41012 Carpi (MO)
2000. BATTISTUZZI Prof. Gianantonio, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2018. BAZZANI Prof. Steven, via Cattani 573, 41052 Guiglia (MO)
1976. BELLEI Dott.ssa Silvia, via Marzabotto 116, 41125 Modena
1974. BELLESIA Prof. Franco, viale Reiter 61, 41121 Modena
2008. BELLINI Dott.ssa Alessia, via del Perugino 65, 41125 Modena
2020. BENASSI Dott. Andrea, via Viappiani 21, 42014 Castellarano (RE)
2011. BENASSI Dott.ssa Silvia, via Rossini 210, 41121 Modena
2016. BENVENUTI Prof.ssa Raffaella, strada Saliceto Panaro 211, 41122 Modena
1986. BENVENUTI Prof.ssa Stefania, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1983. BERTACCHINI Dott.ssa Milena, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2001. BERTELLI Prof. Davide, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena

1996. BERTOLANI Prof. Roberto, via Corassori 83, 41043 Formigine (MO)
1993. BETTELLI Prof. Giuseppe, via Monviso 79, 41122 Modena
2009. BIANCHI Dott. Mario, via Baraldi 51, 41124 Modena
2005. BIBLIOTECA SCIENTIFICA INTERDIPARTIMENTALE (BSI), Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/c, 41125 Modena
2009. BISANTI Dott. Matteo, via Monte Grappa 50, 41121 Modena
2019. BISI GUICCIARDI Sig.ra Annamaria, via Sgarzeria 1, 41121 Modena
1994. BONACCORSI Dott. Primo, via Risorgimento 23, 41040 Spezzano (MO)
1990. BONATTI Prof.ssa Piera, viale Verdi 106, 41121 Modena
2018. BORTOLAMASI Ing. Marco, via Bonzagni 47, 41124 Modena
1998. BOSI Prof.ssa Giovanna, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
2023. BRAGA Dott. Lorenzo, via Roncolevà 48, 46032 Castelbelforte (MN)
2018. BRAGA Dott.ssa Valentina, via Mantova 1/B, 46045 Marmirolo (MN)
2009. BRANDOLI Dott.ssa Maria Teresa, via degli Schiocchi 71, 41125 Modena
2017. BRIGHENTI Dott.ssa Virginia, strada Cavazza 7, 41122 Modena
2001. BULDRINI Dott. Fabrizio, via Piero della Francesca 71/1, 41124 Modena
2015. BULDRINI Sig. Federico, via Piero della Francesca 71/1, 41124 Modena
1997. BURANI Dott. Aldo, via Nardi 8, 41121 Modena
2013. CABRINI Sig. Gianni, via Carrobbio 28, 42019 Arceto (RE)
1998. C.A.I. – Sez. di Modena, via IV Novembre 40/c, 41123 Modena
1996. CALANDRA Prof. Sebastiano, Dip. di Scienze Biomediche – Sez. Patologia Generale, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 287, 41125 Modena
2012. CALVI Dott.ssa Federica, via Matteotti 297/F, 41017 Ravarino (MO)
1975. CAMPI Dott.ssa Luisa, corso Adriano 9, 41121 Modena
2016. CAMURRI Dott.ssa Maria Teresa, viale Buon Pastore 126, 41124 Modena
1973. CARDACI Dott. Giuseppe, via San Lazzaro 1/A, 46100 Mantova
2005. CASELLI Prof.ssa Monica, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1980. CASTALDINI Prof. Dorianò, via Caretti 39, 44123 Ferrara
1989. CATTELANI Prof.ssa Franca, strada Castelnuovo Rangone 230, 41126 Modena
2000. CAVEDONI Sig.ra Franca, via Allegretti 43, 41125 Modena
1967. CECCHI Prof. Rodolfo, rua Muro 88, 41121 Modena
2024. CELLONI Dott. Claudio, “Il Fiorino”, via Emilia Est 1741/C, 41122 Modena
2020. CERVI Dott. Federico, via Maccagnano 170, 42122 Reggio Emilia
1973. CERVI Arch. Giuliano, via Frank 11/a, 42122 Reggio Emilia
1967. CHIESSI Dott. Eugenio, via Togliatti 52, 42122 Reggio Emilia
1993. CHINCA Prof.ssa Gabriella, via

- Polo 19, 41050 Montale Rangone (MO)
1959. CIGARINI BERTOCCHI Prof.ssa Tiziana, via Gaddi 40, 41124 Modena
2013. CIRCOLO DEGLI ARTISTI, via Castel Maraldo 19/C, 41121 Modena
2016. CLÒ Dott.ssa Eleonora, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 287, 41125 Modena
1973. COLTELLACCI Sig. Marco Maria, corso Cavour 46, 41121 Modena
2011. CONZO Dott. Francesco, strada Panni 184/5, 41125 Modena
1973. COPPI Prof. Gilberto, via Allegretti 43, 41125 Modena
2002. COPPI Sig.ra Lucia, via Gadaldino 3, 41124 Modena
2000. CORATZA Prof.ssa Paola, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1967. CORRADINI Prof. Domenico, piazza Martiri 36, 41049 Sassuolo (MO)
2009. CORRADINI Prof.ssa Elena, Dip. di Ingegneria “Enzo Ferrari” – Università di Modena e Reggio Emilia, strada Vignolese 905, 41125 Modena
1990. CORSINOTTI Sig. Paolo, via Franklin 52, 41124 Modena
1987. COSTANTINO Prof. Luca, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1990. COSTI Prof.ssa Maria Paola, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2003. CRAMAROSSA Prof.ssa Maria Rita, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2006. CUOGHI Prof. Gian Luca, via Nadi 5, 41043 Formigine (MO)
2013. CUOGHI Dott. Ivan, via Peretti 21, 41125 Modena
1990. DALLAI Prof. Daniele, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
2024. DALLARI Dott. Pierluigi, via Padova 160, 41125 Modena
2001. DAL ZOTTO Dott. Matteo, via Bellini 58, 41121 Modena
2013. DAVID Sig.ra Paola, via Carrobbio 28, 42019 Arceto (RE)
2019. DAWKINS Prof. Richard, 14 Bradmore rd, Oxford OX2 6QP (Regno Unito)
2019. DE ANGELIS EVANS Sig.ra Liliana, via Nuova 739, 41017 Ravarino (MO)
2018. DELLA SETA Dott.ssa Adriana, via Dalla Chiesa 19, 42122 Reggio Emilia
1981. DEL PENNINO Prof. Umberto, Dip. di Scienze Fisiche, Informatiche e Matematiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/a, 41125 Modena
2013. DE ROBERTIS Sig.ra Liuba, via Scanaroli 34/1, 41124 Modena
1997. DINI Prof.ssa Paola, stradello Bastogi 21, 41126 Baggiovara (MO)
1997. DOMENICHINI Sig. Alberto, via Carmelitane Scalze 7, 41121 Modena
2023. ELEUTERI Prof.ssa Michela, via delle Badesse 9, 29014 Castell’Arquato (PC)

2017. FERRARI Dott. Massimiliano, via Viterbo 31, 41043 Formigine (MO)
1994. FERRARI Sig.ra Monica, via Borsara 11, 41030 Bastiglia (MO)
2008. FERRARI Dott.ssa Patrizia, largo Nobel 145, 41126 Modena
2017. FERRARI Dr.ssa Stefania, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2016. FERRETTI Prof.ssa Annalisa, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1996. FERRI Dott. Mauro, via San Remo 140, 41125 Modena
1990. FIANDRI Dott. Filiberto, via Giardini 10, 41124 Modena
1997. FIORI Prof.ssa Carla, via Agnini 135, 41124 Modena
1986. FIORONI Prof.ssa Chiara, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2009. FLORENZANO Prof.ssa Assunta, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 287, 41125 Modena
2022. FOGGIA Dott. Francesco, via Curie ¼, 87041 Acri (CS)
2016. FORNACIARI Dott.ssa Beatrice, via Nervi 52, 41125 Modena
2009. FORTI Prof. Luca, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2023. FRANCHINI Prof.ssa Antonella, via del Pozzo 180, 41124 Modena
2009. FRANCHINI Prof.ssa Silvia, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1976. FRANCHINI Prof. Walter, via Costa 51, 41027 Pievepelago (MO)
1974. FRATELLO Prof. Bernardo, via Monchio 2125, 41048 Prignano s/S (MO)
2016. FURIA Sig.ra Elisa, via San Pietro 31, 37067 Valeggio sul Mincio (VR)
2001. GALLI Dott.ssa Elisabetta, Dip. di Scienze Ginecologiche Ostetriche, Pediatriche – Sez. di Pediatria, Università di Modena e Reggio Emilia
1983. GALLI Prof. Maurizio, viale Vittorio Veneto 290, 41058 Vignola (MO)
1998. GANASSI Dott.ssa Sonia, via Oristano 43, 41125 Modena
1998. GASPARINI Dott.ssa Elisabetta, via Bulgarelli 33, 41012 Carpi (MO)
2010. GHINOI Dott. Alessandro, via Cortina d'Ampezzo 17, 41125 Modena
2024. GILLI FABBRI Dott. Diego, via Personali 29, 41037 Mirandola (MO)
1976. GIUSTI Dott. Arrigo, via Cesari 18, 42019 Scandiano (RE)
2004. GOVI Rag. Renato, via Cartesio 41, 41126 Modena
1992. GRAZIOSI Prof. Gianni, via Foscolo 136, 41058 Vignola (MO)
2006. GRUPPO MODENESE SCIENZE NATURALI, strada Morane 361, 41125 Modena
1996. GRUPPO NATURALISTICO MODENESE c/o Polisportiva San Faustino, via Wiligelmo 72, 41124 Modena
2023. GUERRA Sig. Romano, via Tibaldi 20, 40129 Bologna
2004. GUIDETTI Prof. Roberto, Dip. Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena

2020. IANNICIELLO Dott. Riccardo, piazza Prada 15, 38057 Madrano di Pergine Val Sugana (TN)
1990. IANNUCELLI Prof.ssa Valentina, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1993. IMPERIALE Dott. Aldo, via Della Cella 89, 41124 Modena
2008. INVERNIZZI Prof. Sergio, loc. Padriciano 282, 34149 Trieste
2019. LANCELOTTI Dott.ssa Rosalinda, piazza Roma 37, 41121 Modena
1997. LEO Prof.ssa Eliana Grazia, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2023. LIBERTINI Dott.ssa Emanuela, via Ramazzini 15, 41121 Modena
1996. LODESANI Sig. Umberto, via Tasso 57, 41049 Sassuolo (MO)
1998. LOMBROSO Dott. Luca, Dip. di Ingegneria “Enzo Ferrari” – Osservatorio Geofisico, Università di Modena e Reggio Emilia, strada Vignolese 905, 41125 Modena
2010. LORICI Dott. Gianni, via Falloppia 42, 41124 Modena
2009. LOSI Sig. Franco, via Etna 17, 41012 Carpi (MO)
2001. LUGLI Prof. Mario Umberto, rua Muro 88, 41121 Modena
2018. LUGLI Prof.ssa Maurizia, viale Carducci 117, 41012 Carpi (MO)
2011. LUGLI Prof. Stefano, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2006. LUPPOLINI Dott. Alex, via Villa Inferiore 83, 46029 Suzzara (MN)
2001. LUZZARA Dott. Mirko, via Mondovi 127, 41125 Modena
2004. MAFFETTONE Dott. Luigi, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
2007. MALMUSI Sig. Mauro, via Albareto 222/8, 41122 Albareto (MO)
2023. MANDRIOLI Prof. Mauro, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2016. MANFREDI Prof.ssa Giovanna, via Guagnellina 1/A, 41037 Mirandola (MO)
1996. MANICARDI Prof. Gian Carlo, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2002. MANTOVANI Sig.ra Gabriella, via Biondo 2, 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
2018. MARAN Sig. Giovanni, via Giordano 36, 44042 Cento (FE)
2013. MARETTI Dott.ssa Eleonora, strada statale Cisa 59, 46047 Porto Mantovano (MN)
1970. MARI Prof.ssa Marisa, via Sauro 35, 41121 Modena
2017. MARTINELLI Dott. Giovanni, via Berengario 5, 41121 Modena
1993. MAZZANTI Prof.ssa Marta, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
1964. MELEGARI Prof. Michele, via Curie 8, 41126 Modena
1997. MELETTI Dott. Eros, via Monari 12/1, 41122 Modena

1990. MERCURI Prof.ssa Anna Maria, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
1993. MOLA Prof.ssa Lucrezia, via Newton 25, 41126 Modena
2012. MONTECCHI Dott.ssa Maria Chiara, viale Corassori 52, 41124 Modena
1998. MONTORSI Sig.ra Elisabetta, via Chiesa 19/13, 41050 Montale Rangone (MO)
2016. MORSELLI Prof. Ivano, via San Giovanni 46, 41057 Spilamberto (MO)
1990. MURANO Dott. Gennaro, stradello del Fiume 5, 41123 Modena
1928. MUSEI CIVICI DI REGGIO EMILIA, via Spallanzani 1, 42121 Reggio Emilia
2011. NERI Dott. Mirco, via Pellegrini 2/20, 41058 Vignola (MO)
1974. NORA Dott. Eriuccio, via Anzio 70, 41125 Modena
2000. OTTAVIANI Prof. Giampiero, via Segantini 60, 41124 Modena
2012. PADOVANI Dott.ssa Veronica, piazza Roma 37, 41121 Modena
1977. PALMIERI Dott. Daniele, via Canaletto 35, 41030 San Prospero (MO)
2018. PALMIERI Dott. Marco, via Ferrari 1, 40056 Valsamoggia (BO)
1982. PANINI Prof. Filippo, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1967. PANIZZA Prof. Mario, via Taglio 24, 41121 Modena
2010. PAOLINO Dott.ssa Rossella, via Bontempelli 259, 41058 Vignola (MO)
2000. PAPAZZONI Prof. Cesare Andrea, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2007. PARADISI Sig.ra Carmen, via Bonaccini 24, 41052 Campogalliano (MO)
1976. PARENTI Prof. Carlo, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1994. PASUTO Dott. Alessandro, IRPI – CNR, corso Stati Uniti 4, 35127 Padova
2008. PEDERZANI Sig. Fernando, via Landoni 35, 48121 Ravenna
1995. PEDERZOLI Prof.ssa Aurora, via Franklin 52, 41124 Modena
1963. PELLACANI Prof. Giancarlo, via Emilia 231, 41121 Modena
2004. PELLATI Prof.ssa Federica, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1976. PLESSI Prof.ssa Maria, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1997. PO BIANCANI Prof.ssa Maria Letizia, via Giardini 250, 41124 Modena
1993. PO Dott.ssa Marilena, piazzetta dei Servi 50, 41121 Modena
1993. PREITE Dott. Francesco, via Moscati 10, 41049 Sassuolo (MO)
1996. PREVEDELLI Prof.ssa Daniela, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2015. PULINI Dott.ssa Ilaria, Museo

- Civico Archeologico Etnologico, viale Vittorio Veneto 5, 41124 Modena
2001. QUATTROCCHI Dott. Salvatore, via Pelloni 91, 41125 Modena
1993. RAIMONDI Dott. Claudio, via Indipendenza 95, 41049 Sassuolo (MO)
2009. RATTIGHIERI Dott.ssa Eleonora, via Motta 140, 41012 Carpi (MO)
1996. REBECCHI Prof.ssa Lorena, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2004. REGGIANI Dott. Alberto, via Maestra Rubbiara 1, 41015 Nonantola (MO)
1967. RINALDI Prof.ssa Marcella, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2012. RINALDI Dott.ssa Rossella, via San Faustino 155/4, 41125 Modena
2005. RONCHI Dott. Stefano, via Mosca 142, 41043 Formigine (MO)
2018. RONDELLI Dott. Riccardo, via Giorgi 73, 41124 Modena
2023. ROSSI Dott. Andrea, via Scanaroli 56/2, 41124 Modena
1983. ROSSI Dott. Giuliano, vicolo di Mezzo 17, 46100 Mantova
2010. ROSSI Sig. Giuseppe, via Lulli 91, 41125 Modena
1996. ROTTEGLIA Prof. Antonio, via Mantegna 133, 41125 Modena
1993. SABATINI Prof.ssa Maria Agnese, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2013. SACCHETTI Dott.ssa Francesca, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2010. SALTINI Dott. Alessandro, corso Adriano 9, 41121 Modena
1993. SANTI Prof. Luigi, via Matteotti 3, 41058 Vignola (MO)
1997. SANTINI Dott. Claudio, via Sant’Orsola 7, 41121 Modena
2023. SAPONI Dott. Francesco, via Radici Nord 38/G, 42014 Castellarano (RE)
2011. SAVIOZZI Sig. Enrico, via Galletta 50, 40068 San Lazzaro (BO)
2023. SCALMATI Dott. Livio Ermanno, via Alighieri 9, 41014 Castelvetro (MO)
2018. SCOZZOLI Dott. Maurizio, via Cadore 52, 47122 Forlì
2010. SELMI Sig. Enrico, via Nenni 16, 41125 Modena
2017. SERAFINI Dott. Giovanni, via Coppi 23, 41125 Modena
1975. SERAFINI Rag. Pier Luigi, via Monte Rondinara 37, 41029 Roncoscaglia (MO)
1981. SERGI Sig. Santo, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2002. SERVENTI Dott. Paolo, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2007. SETTI Dott.ssa Sara, via Villa Inferiore 83, 46029 Suzzara (MN)
1993. SGARBI Prof.ssa Elisabetta, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2024. SIGHINOLFI Dott.ssa Simona, via del Pozzo 127, 41124 Modena
2007. SILINGARDI Sig. Giancarlo, via Luosi 156, 41124 Modena

2006. SIMONCELLI Dott.ssa Antiniska, via Mantegna 44, 46010 Eremo di Curtatone (MN)
1996. SIMONINI Sig. Fausto, via Tavoni 13/1, 41058 Vignola (MO)
1997. SIMONINI Prof. Roberto, Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 213/D, 41125 Modena
2005. SITTA Dott. Nicola Giovanni, loc. Farnè 39, 40042 Lizzano in Belvedere (BO)
1997. SOCIETÀ REGGIANADISCIENZE NATURALI "C. IACCHETTI", c/o Maurizio Scacchetti, via Tosti 1, 42124 Reggio Emilia
1987. SOLDATI Prof. Mauro, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2013. SQUADRINI Dott.ssa Giulia, Sistema Bibliotecario di Ateneo, Area Scientifico-Naturalistica, via Campi 213/C, 41125 Modena
1970. TADDEI Prof. Ferdinando, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1997. TAGLIATI Rag. Tosca, via del Casone 8, 41010 Magreta (MO)
2003. TAIT Prof.ssa Annalisa, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1996. TARUGI Prof.ssa Patrizia, Dip. di Scienze Biomediche – Sez. Patologia Generale, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 287, 41125 Modena
2000. TASSI Prof. Lorenzo, Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2002. TAVERNI Dott.ssa Ivana, via Scanaroli 34/1, 41124 Modena
2016. TEREZIANI Sig.ra Rita, via Speri 12, 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
1992. Termanini Ing. Dezio, via Monteverdi 12, 41049 Sassuolo (MO)
2018. TINCANI Dott.ssa Patrizia, via Case Comastri, 42030 Villa Minozzo (RE)
2005. TIOZZO Prof.ssa Roberta, Dip. di Scienze Biomediche, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 287, 41125 Modena
2017. TONDI Prof.ssa Donatella, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
1997. TORRI Dott.ssa Paola, Orto Botanico – Dip. di Scienze della Vita, Università di Modena e Reggio Emilia, viale Caduti in Guerra 127, 41121 Modena
1981. TOSATTI Prof. Giovanni, via Nervi 78, 41125 Modena
1990. TREVISAN Dott.ssa Giuliana, via Giardini 378, 41124 Modena
1972. VAMPA Prof.ssa Gabriella, via Curie 8, 41126 Modena
1991. VANDELLI Prof.ssa Maria Angela, Dip. di Scienze della Vita – Farmacia, Università di Modena e Reggio Emilia, via Campi 103, 41125 Modena
2019. VAN TONGEREN Dott. Elia, via Modenese Sud 16, 41037 Mirandola (MO)
2000. VECCHI Dott. Fabrizio, via Isonzo 270, 41028 Serramazzone (MO)

2009. VENTURELLI Prof. Alberto, Dip.  
di Scienze della Vita – Farmacia,  
Università di Modena e Reggio Emilia,  
via Campi 103, 41125 Modena

2023. VEZZANI Dott. Francesco, via  
Matteotti 106, 41019 Soliera (MO)

2023. VINCENZI Dott. Joel, via Rigon 1,  
41012 Carpi (MO)

2007. VIOTTI Dott.ssa Giulia, via Boito  
48, 41121 Modena

1975. VISCO Sig. Luigi, strada Vignolese  
1071/1, 41126 Modena

2013. YATSUKOVICH Ing. Tatyana, via  
Giovanni XXIII 25, 42046 Reggiolo  
(RE)

1978. ZANNINI Prof. Paolo, via Vincenzi  
19, 41124 Modena





## Indice

- Luca Lombroso, Sofia Costanzini, Francesca Despini, Sergio Teggi  
*Annuario 2023 dell'Osservatorio Geofisico di Modena* pag. 5
- Paolo Balocchi, William W. Little  
*Quaternary geology and geological map of the Roteglia Basin within the River Secchia valley (Italy) with evidence for the Canossa-San Romano Fault System and inversion tectonic activity* pag. 31
- Riccardo Rondelli  
*Paleoecologia della Formazione di Pantano (Membro di Sassoguidano) tra Guiglia e Zocca e fasi evolutive della Formazione di Pantano (Appennino modenese e bolognese)* pag. 55
- Francesco Foggia, Gian Paolo Sighinolfi, Giovanni Tosatti  
*Lithological features and provenance of the material used for the construction of the Serravuda hilltop vitrified structure (Calabria, Italy)* pag. 95
- Fulvio Baraldi  
*Segnalazione dell'icnofossile Scolicia strozzii in una pavimentazione stradale ad Alberoni, Lido di Venezia* pag. 115
- Federico Cervi, Gianluca Medioli, Andrea Dadomo  
*A preliminary hydrochemical analysis of the 2016 low-flow period from the River Trebbia (Northern Apennines, Italy)* pag. 127
- Mauro Mandrioli  
*La natura in una galla: lo studio delle galle tra scienze naturali e storia della scienza* pag. 147
- Marco Palmieri, Sandro Marsigli, Alessandro Margelli  
*I molluschi terrestri e dulcicoli della Collezione Sgargi* pag. 165
- Mauro Ferri, Giovanni Tosatti, Lorenzo Tosatti  
*Presentation of the five Monographs on Swallows and Swifts by Lazzaro Spallanzani* pag. 177

Sergio Invernizzi <i>Una rivisitazione dei criteri di «divisibilità»</i>	pag. 253
Gianni Graziosi <i>Che cos'è un elemento?</i>	pag. 275
Riccardo Ianniciello <i>Il darwinismo sociale: cenni critici</i>	pag. 313
Romano Guerra, Laura Guerra <i>Le cераunie: testimonianze della preistoria in Emilia-Romagna</i>	pag. 323
Marco Bortolamasi, Ester Cantini, Daniela Tagliacruzchi <i>Il Disco (o Piombo) di Magliano: ipotesi di studio tra storia e archeologia</i>	pag. 347
Giovanni Tosatti <i>Ricordo di PIETRO GUERZONI</i>	pag. 361
Paolo Serventi <i>Ricordo di MAURIZIO GNOLI</i>	pag. 363
Giovanni Tosatti <i>Ricordo di ENRICO SERPAGLI</i>	pag. 365
Relazione sulle attività svolte dalla Società nel 2023	pag. 367
Rendiconto Economico e Finanziario	pag. 369
Bilancio di previsione per l'anno 2024	pag. 371
Elenco Soci anno 2024	pag. 373



## **CODICE ETICO PER LA PUBBLICAZIONE**

Gli Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena (APS) sono una rivista scientifica soggetta alla revisione fra pari, che si ispira al codice etico delle pubblicazioni elaborato da COPE: *Best Practice Guidelines for Journal Editors*. Autori, Redattori e Revisori devono conoscere e accettare i seguenti requisiti etici.

### **Doveri degli Autori**

Originalità e plagio: gli Autori devono dichiarare di avere composto un lavoro originale in ogni sua parte e di avere citato tutte le fonti consultate.

### **Pubblicazioni ripetitive e/o concorrenti**

Gli Autori non devono pubblicare articoli che descrivono la stessa ricerca in più di una rivista: proporre contemporaneamente lo stesso testo a più di una rivista è scorretto e inaccettabile.

### **Indicazione delle fonti**

Gli Autori devono curare la corretta indicazione delle fonti consultate.

### **Paternità dell'opera**

Gli Autori devono curare la corretta attribuzione della paternità dell'opera e tutti coloro che abbiano dato un contributo significativo devono essere inseriti fra i Coautori. Se altre persone hanno partecipato ad alcune fasi della ricerca, il loro contributo deve essere esplicitamente riconosciuto. Nel caso di articoli scritti a più mani, l'Autore che invia il testo alla rivista deve dichiarare di avere correttamente indicato i nomi di tutti i Coautori, ottenuto la loro approvazione della versione finale dell'articolo e il loro consenso alla pubblicazione.

### **Conflitto d'interessi e divulgazione**

Tutti gli Autori devono dichiarare esplicitamente che non sussistono conflitti d'interessi che potrebbero aver condizionato i risultati conseguiti o le interpretazioni proposte. Gli Autori devono inoltre indicare gli eventuali enti finanziatori della ricerca e/o del progetto dal quale scaturisce l'articolo.

### **Errori negli articoli pubblicati**

Se un Autore individua in un suo articolo un errore o un'inesattezza rilevante, deve informarne tempestivamente la Redazione e fornire tutti i dati necessari ad apportare la rettifica in calce all'articolo.

### **Doveri dei Revisori**

### **Contributo alla decisione editoriale**

La revisione fra pari (*peer review*) è una procedura che aiuta il Comitato di Redazione ad

assumere decisioni sugli articoli proposti e consente agli Autori di migliorare il proprio contributo.

**Riservatezza**

Ogni testo assegnato in revisione è riservato, perciò non va discusso con altre persone senza esplicita autorizzazione della Redazione.

**Oggettività**

La revisione verte sulla qualità del testo, non sulle opinioni espresse dagli Autori né sulle basi filosofiche, ideologiche ed epistemologiche da loro seguite. La revisione deve essere condotta in modo oggettivo e imparziale: ogni giudizio personale sugli Autori è inopportuno e inaccettabile. I Revisori devono giustificare adeguatamente suggerimenti e osservazioni sull'operato degli Autori.

**Indicazione di testi**

I Revisori devono segnalare tempestivamente al Comitato di Redazione eventuali somiglianze o sovrapposizioni del testo ricevuto in lettura con altre opere a loro note. Nel caso si configuri un plagio da parte degli Autori a carico d'altre opere, il fatto sarà notificato agli Autori stessi e l'articolo da loro sottoposto rifiutato senza ulteriori revisioni.

**Conflitto d'interessi e divulgazione**

Le informazioni riservate e le indicazioni ottenute durante il processo di revisione sono confidenziali e non devono essere usate per scopi personali. I Revisori devono immediatamente dichiarare al Comitato di Redazione eventuali conflitti d'interessi con gli Autori del contributo a loro assegnato in lettura (ad esempio per rapporti di collaborazione o concorrenza con gli Autori e/o le istituzioni d'appartenenza) e non devono accettare di revisionare articoli per i quali sussista un conflitto d'interessi.

**Doveri del Comitato di Redazione****Decisioni sulla pubblicazione**

Il Direttore è responsabile della decisione di pubblicare o meno gli articoli proposti e può consultarsi con il Comitato di Redazione per assumere tale decisione.

**Correttezza**

Il Comitato di Redazione valuta gli articoli proposti per la pubblicazione solo in base al loro contenuto, senza discriminazioni degli Autori per ragioni di etnia, genere, età, religione, cittadinanza, orientamento sessuale, orientamento politico.

**Riservatezza**

Il Comitato di Redazione non rivela informazioni sugli articoli proposti a persone diverse da Autori, Revisori e Direttore.

### **ISTRUZIONI PER GLI AUTORI**

Gli Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena sono una rivista scientifica di taglio multidisciplinare, che pubblica contributi di ambito meteorologico, geologico, biologico, chimico, fisico e matematico. Sono graditi i contributi a indirizzo storico, o che prendono in esame il tema illustrato anche da una prospettiva storica; del pari graditi sono quelli che affrontano il problema con un approccio multidisciplinare. In genere, i lavori presentati sono articoli *in extenso*, ma sono ammesse anche brevi note, monografie e riassunti di tesi di laurea.

Le comunicazioni inviate 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 due Revisori 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, gli *Abstract* e le *Keywords* saranno inoltre sottoposti a controllo linguistico da parte di docente madrelingua.

Gli Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena pubblicano esclusivamente articoli originali e non inviati contemporaneamente ad altre riviste. Gli articoli sono liberamente accessibili e scaricabili dalla rete e sono distribuiti con licenza *Creative Commons* (CC-BY-NC 4.0).

I contributi scientifici devono essere inviati tramite posta elettronica all'indirizzo e-mail del Direttore responsabile (john.tosatti@gmail.com), insieme con una nota che illustri brevemente il contenuto dell'articolo e ne notifichi l'originalità e l'adesione degli Autori al codice etico di comportamento sopra illustrato.

L'accettazione degli articoli sarà subordinata al parere favorevole del Comitato di Redazione e dei Revisori. La responsabilità scientifica dei contributi resta comunque a carico degli Autori. Le spese di stampa possono essere a parziale carico degli Autori o Enti Finanziatori; in casi particolari, la rivista concederà la stampa gratuita del lavoro (la stampa è gratuita solo per i Soci della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena).

I lavori presentati per la pubblicazione devono essere scritti in italiano o in inglese, inviati tramite posta elettronica in formato ".docx" modificabile (sistema di scrittura "Word" per Windows, scritto con carattere Times New Roman), accompagnati da accluse tabelle, tavole, fotografie e figure in bianco e nero o a colori in formato ".jpg" (non usare ".pdf", "PowerPoint" o altri formati).

Soltanto i lavori dove compaiono molte formule matematiche o figure geometriche complesse possono essere inviati in formato ".pdf" (spazio utile pagina di pubblicazione: 12x18 cm).

I testi e le figure restano di proprietà della rivista. Le espressioni latine e i termini stranieri devono essere scritti in corsivo. Non sono ammesse le sottolineature né l'inserimento di interruzioni di sezione.

#### **Modello prescritto**

- Autore: in alto a sinistra; nome e cognome (corpo 14 pt. in grassetto, in maiuscolo solo le lettere iniziali). Il Dipartimento o Ente di appartenenza, completo di indirizzo, viene riportato come

nota a piè di pagina; anche gli eventuali riferimenti a progetti di ricerca nell'ambito dei quali è stata condotta l'indagine presentata vanno in nota a piè di pagina.

- Titolo: conciso; scritto in grassetto; in maiuscolo solo la lettera iniziale (corpo 18 pt.).
- Riassunto/*Abstract*: in italiano e in inglese (corpo 10 pt. in corsivo) senza andate a capo o citazioni.
- Parole chiave/*Keywords*: massimo 6, in italiano e in inglese (corpo 10 pt.).
- Testo: Le memorie di una certa lunghezza devono essere suddivise in capitoli (corpo 11 pt.). In genere si adotta la suddivisione Introduzione – Materiali e metodi – Risultati – Discussione – Conclusioni, ma sono possibili altre suddivisioni a discrezione degli Autori, secondo la natura del contributo e l'ambito disciplinare di riferimento.
- Paragrafo: interlinea multipla = 1,15.
- Citazioni bibliografiche nel testo: vanno inserite fra parentesi, indicando il cognome dell'Autore/i e l'anno di pubblicazione (es. Neri, 2018; Neri & Verdi, 2021); nel caso in cui gli Autori siano più di due, al nome del primo seguirà l'abbreviazione in corsivo “*et al.*” (es. Bianchi *et al.*, 2022).
- Tabelle (con righe e colonne verticali ridotte a quelle essenziali), Figure, Fotografie, esenti da copyright: devono essere numerate e complete di didascalie nella lingua del testo, oppure sia in italiano sia in inglese. Si consiglia d'indicare con chiarezza dove si desidera siano posizionate nel testo: nei limiti del possibile, il Comitato di Redazione terrà conto dei desideri degli Autori. Le unità di misura devono essere inserite in figura, con riferimento lineare, in previsione di eventuali riduzioni dell'immagine in fase di composizione tipografica.
- Eventuali Ringraziamenti.
- Bibliografia: limitata ai soli lavori citati nel testo e redatta in ordine alfabetico d'autore secondo il seguente schema (corpo 10 pt.):  
 ROSSI G. (in MAIUSCOLETTO), 2020 – *Titolo per esteso (in corsivo)*. In: D. Neri, “Titolo del volume”, pp. xxx-yyy, Editore, Luogo di Edizione.  
 ROSSI G. (in MAIUSCOLETTO), 2021 – *Titolo per esteso (in corsivo)*. Editore, Luogo di Edizione.  
 BIANCHI A., ROSSI G., VERDI T. (in MAIUSCOLETTO), 2022 – *Titolo per esteso (in corsivo)*. Nome della Rivista (abbreviato), Numero del volume (**in grassetto**), eventuale numero del fascicolo (in tondo), pp. xxx-yyy.  
 Esempio: ALESSI B., GIGLIOLI F.E., PARENTI M., 2023 – *I tunnel di lava della Valle del Bove (CT)*. Geologica Romana, **49**(2), pp. 127-146, Roma.

In caso di accettazione dell'articolo, gli Autori riceveranno una bozza di stampa da controllare prima della chiusura definitiva; solo in casi eccezionali sarà inviata una seconda bozza.

\* \* \* \* \*

## **ETHICAL CODE FOR PUBLISHING**

The “Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena” is a scientific journal subject to peer reviewing, which is inspired by the ethical publication code set up by COPE: *Best Practice Guidelines for Journal Editors*. The Authors, Editors and Referees must be aware of and accept the following ethical requirements.

### **Duties of the Authors**

Originality and plagiarism: the Authors must declare that their articles are original in every part and that all references have been quoted.

### **Repeat publications and/or competitors**

The Authors must not publish articles describing the same research in more than one scientific journal: proposing the same text to more than one editor is incorrect and unacceptable.

### **Quotation of the sources**

The Authors must quote the reference sources correctly.

### **Authorship of the work**

The Authors must indicate the correct attribution of the work. All those who have provided a significant contribution must be named among the Co-authors. If other persons have participated in some research phases, their contribution must be explicitly acknowledged. When an article is written by several persons, the Author sending it to the journal must declare to have correctly indicated the names of all Co-authors and their approval of the final version of the article and their consent to publishing.

### **Conflict of interest and disclosure**

All Authors must explicitly declare that there are no conflicts of interest which might have conditioned the results obtained or the interpretations proposed. Furthermore, the Authors must specify the research and/or project financing bodies (if any) thanks to which the article was written.

### **Errors in the articles published**

If an Author finds an error or an important inaccuracy in his/her article, he/she should promptly inform the Editor and provide all the data necessary to add the correction at the end of the text.

### **Duties of the Referees**

#### **Contribution to the editorial decision**

Peer reviewing is a procedure helping the Board of Directors to decide on the articles proposed. It allows the Authors to improve their contributions.

**Privacy**

Each text undergoing peer reviewing is reserved, therefore it should not be discussed with other persons without the prior authorisation of the Editorial Board.

**Objectivity**

Peer reviewing concerns the quality of the text, not the opinions expressed by the Authors or their philosophical, ideological and epistemological positions. Peer reviewing must be carried out in an objective and impartial way. Any personal judgement on the Authors is inopportune and unacceptable. The Referees must justify adequately any advice or suggestion on the work examined.

**Remarks on the texts**

The Referees must inform promptly the Board of Directors on any resemblance or text overlays with other works they know about. In case of plagiarism, the Authors will be notified and their article rejected without further reviewing.

**Conflict of interest and disclosure**

Private information and remarks obtained during the reviewing process are strictly confidential and must not be used for personal purposes. The Referees must promptly inform the Editorial Board about any conflict of interest with the Authors of the article submitted (for example, regarding collaboration or competition with other Authors and/or the institutions they belong to). Furthermore, the Referees must not accept to review articles subject to conflicts of interest.

**Duties of the Board of Directors****Decisions on publication**

The Editor-in-chief is responsible for the decision to publish or reject the articles and may ask the opinion of the Editorial Board before deciding.

**Correctness**

The Editorial Board evaluates the articles submitted for publication only based on their content without discriminating against the Authors on account of their ethnicity, gender, age, religion, citizenship, sexual or political orientation.

**Privacy**

The Editorial Board does not reveal information on the articles to persons other than the Authors, Referees and Editor.

**DIRECTIONS FOR THE AUTHORS**

The Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena is a multidisciplinary scientific review, which publishes contributions concerning meteorology, geology, biology, chemistry, physics and mathematics. Furthermore, articles about the history of science are also welcomed as well as those with a multidisciplinary approach. Usually, the articles submitted are *in extenso*, but also short notes, monographs and summaries of degree theses may be admitted.

The articles proposed for publication in Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena will be submitted to review by two external Referees after acceptance by the Board of Directors. The Referees will assess the articles based on both their scientific content and language use and express their binding opinion.

The articles submitted in English as well as the Abstracts and Keywords will be checked and may be corrected by a mother tongue teacher.

The Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena publish exclusively original articles which have not been sent to other journals at the same time. Once published, the articles can be accessed and downloaded from the web freely and are distributed by a *Creative Commons* (CC-BY-NC 4.0) licence.

The scientific contributions should be sent by e-mail to the electronic address of the Editor-in-chief (john.tosatti@gmail.com), together with a short summary illustrating the content and originality of the articles. The Authors must also declare that they adhere to the behavioural ethical code previously illustrated.

The acceptance of articles will be submitted to the favourable opinion of the Board of Directors and Referees. The scientific responsibility of the contributions is always taken by the Authors. The printing expenses may be partially attributed to the Authors or financing Institutions. In particular cases, the journal will pay for all printing expenses (printing is free only for Members of the Società dei Naturalisti e Matematici di Modena).

The articles presented for publication must be written in English or in Italian and sent by e-mail in modifiable “.docx” format (writing system “Word” for Windows, written in Times New Roman characters), accompanied by any tables, plates, photographs in black and white or colour in “.jpg” format (do not use “.pdf”, “PowerPoint” or other formats).

Only the articles with several mathematical formulas or complex geometrical figures may be sent in “.pdf” format (usable space for publication: 12x18 cm).

Texts and figures are the property of the journal. Latin and foreign terms and expressions should be written in italics. Underlined writing is not admitted, nor are section interruptions.

**Prescribed outline**

- Author(s): top left; name and surname (14 pt. body in bold, upper case only for initial letters). The home Department or Institution of the Authors is shown as a footnote with corresponding e-mail address. References to research projects including the articles presented should also be reported in a footnote.

- 
- Title: concise in bold; upper case for the initial letter only (18 pt. body).
  - Abstract/*Riassunto*: in English and Italian (10 pt. body in italics) with no word wrap or quotations.
  - Keywords/*Parole chiave*: max 6, in English and Italian (10 pt. body).
  - Text: Long articles should be subdivided into chapters (11 pt. body). Usually, the following subdivision is adopted: – Materials and methods – Results – Discussion – Conclusions, although other subdivisions may be accepted according to the Authors’ discretion considering the nature of the contribution and the disciplinary field of the article.
  - Paragraph: multiple line spacing = 1,15.
  - Bibliographic quotations in the text must be inserted in parentheses, with the surname of the Author(s) and the year of publication (e.g., Williams, 2018; Blackman & Green, 2021). If there are more than two Authors, the surname of the first one is followed by the abbreviation in italics “*et al.*” (e.g., Blackman *et al.*, 2022).
  - Tables (with essential rows and columns). Figures and Photographs, free from copyright, must be numbered and completed with appropriate captions in the language of the text or both in English and Italian. The Authors should clearly indicate where figures and photos should be placed in the text. As far as possible, the Editorial Board will consider the Authors’ wishes. Units of measurements (SI system only) should be inserted in the figures with a linear scale, considering possible image reductions before printing.
  - Any Acknowledgements.
  - Bibliography: limited only to the references quoted in the text and listed in alphabetical order according to the following scheme (10 pt. body):  
 BROWN G. (in SMALL CAPS), 2020 – *Full title (in italics)*. In: R. Jones, “Title of the volume”, Publisher, pp. xxx-yyy, Place of publication (in standard characters).  
 BROWN G. (in SMALL CAPS), 2021 – *Full title (in italics)*. Publisher, Number of volume, pp. xxx-yyy, Place of publication.  
 ANDERSON P.S., DAVIS L., MILLER O.B. (in SMALL CAPS), 2022 – *Full title (in italics)*. Name of the Journal (abbreviated), Number of volume (**in bold**), any number of the issue (in standard characters), pp. xxx-yyy.  
 Example: BASINGER K.A., LOPEZ J.L., PALTROW G.K., 2024 – *The lava flows of Mt. Etna (Sicily)*. *Memoirs*, **149**(2), Geological Society, pp. 127-146, London.

If an article is accepted, the Authors will receive a proof version to check; only in exceptional cases will they receive a second proof version before printing.

\* \* \* \* \*

ATTI DELLA SOCIETÀ DEI NATURALISTI  
E MATEMATICI DI MODENA  
Finito di stampare nel mese di ottobre 2024  
presso Eurocopia - Modena - Italia