

GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE
Periodico della Società Geologica Italiana
n. 11 | luglio 2023

MOUNT MELBOURNE E MOUNT RITTMANN: due vulcani attivi nella northern Victoria Land (Antartide)

LA PICCOLA ERA GLACIALE
e il suo clima tra mare, terra e arte

LE ACQUE SOTTERRANEE:
uso sostenibile di una risorsa invisibile

TOURinSTONE,
una App per la divulgazione
e la didattica della geodiversità



SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA

FONDATA 1858 - RICONFERMATO IL 10 OTTOBRE 1925



Direzione generale
Educazione, ricerca
e istituti culturali

Le attività sono realizzate grazie al contributo concesso dalla Direzione generale Educazione, ricerca e istituti culturali del Ministero della Cultura

GEOLOGICAMENTE

MAGAZINE DI ATTUALITÀ E CULTURA DELLE GEOSCIENZE

CONTRIBUTI

- P. 10** MOUNT MELBOURNE
E MOUNT RITTMANN:
*due vulcani attivi nella
northern Victoria Land
(Antartide)*
- P. 20** LA PICCOLA
ERA GLACIALE
*e il suo clima
tra mare, terra e arte*
- P. 30** LE ACQUE
SOTTERRANEE:
*uso sostenibile
di una risorsa invisibile*
- P. 40** TOURinSTONE,
*una App per la divulgazione
e la didattica della
geodiversità*

SEZIONI

- P. 50** GEOLOGIA
Strutturale
- P. 51** GEOLOGIA
Planetaria
- P. 52** GEOsed
- P. 53** GEOLOGIA
Himalayana
- P. 54** GEOLOGIA
Marina
- P. 55** GEOSCIENZE
e Tecnologie Informatiche
- P. 56** GEOSCIENZE
Ambientale
- P. 57** GEOETICA
e Cultura Geologica
- P. 58** *Storia delle
GEOSCIENZE*

ASSOCIAZIONI

- P. 59** Società
GEOCHIMICA
Italiana
- P. 60** Associazione
PALEONTOLOGICA
PALEOARTISTICA
Italiana
- P. 62** Associazione Italiana
PER LO STUDIO DEL
QUATERNARIO
- P. 64** Associazione Nazionale
INSEGNANTI
SCIENZE NATURALI
- P. 66** Associazione Italiana
DI VULCANOLOGIA
- P. 68** Società
PALEONTOLOGICA
Italiana

Rivista quadrimestrale SGI - Società Geologica Italiana | Numero 11 | luglio 2023 | SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA
Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma | www.socgeol.it | Tel: +39 06 83939366
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 34/2020 del Registro stampa del 24 marzo 2020

DIRETTORE EDITORIALE Enrico Capezuoli

COMITATO EDITORIALE Fabio Massimo Petti, Elena Bonaccorsi, Francesca Cifelli, Alessandro Danesi, Riccardo Fanti, Giulia Innamorati, Susanna Occhipinti, Domenico Sessa, Marco Chiari, Anna Giamborino, Eugenio Nicotra, Eleonora Regattieri e Orlando Vaselli

COORDINAMENTO SCIENTIFICO Sandro Conticelli, Domenico Cosentino, Elisabetta Erba e Vincenzo Morra

DIRETTORE RESPONSABILE Alessandro Zuccari

NEWS

P. 72 AGGIORNAMENTO SUL
CONGRESSO NAZIONALE
SIMP-SGI-SOGEI-AIV
*The Geoscience paradigm:
Resources, Risks
and future perspectives*

P. 76 LA DIVISIONE
EQUITÀ, DIVERSITÀ
E INCLUSIONE
*“PanGEA” alla
General Assembly
EGU 2023*

P. 74 IL RAPPORTO
DELLA SOCIETÀ
GEOLOGICA ITALIANA
*“Le Scienze della Terra
oggi in Italia”*



VISITA IL SITO
DELLA RIVISTA



P. 7 EDITORIALE

P. 77 RECENSIONI

P. 78 NUNTIUM *de Lapidibus*

P. 80 NEWS *in pillote*

P. 81 INCONTRA GLI AUTORI

P. 82 450 MILIONI DI ANNI DA LEGGERE:
*il Museo Geologico della Carnia
di Ampezzo*

GRAFICA, IMPAGINAZIONE E PUBBLICITÀ Agicom srl | Viale Caduti in Guerra, 28 - 00060 - Castelnuovo di Porto (RM) | Tel. 06 90 78 285 - Fax 06 90 79 256
comunicazione@agicom.it | www.agicom.it

STAMPA Spadamedia | Viale del Lavoro, 31 - 00143 - Ciampino (RM)

Distribuzione ai soci della Società Geologica Italiana e delle società scientifiche associate e agli Enti e Amministrazioni interessati.

Gli articoli e le note firmate esprimono solo l'opinione dell'autore e non impegnano la Società Geologica Italiana né la Redazione del periodico.

Foto in copertina: "La base italiana Stazione Mario Zucchelli sul mare ghiacciato di Baia Terra Nova (Mare di Ross). Sullo sfondo, a circa 40 km di distanza, il vulcano Mount Melbourne (2732 m.)". Foto di P. Del Carlo © PNRA.

Immagini interne: freepik.com

Chiuso in Redazione: 5 luglio 2023.

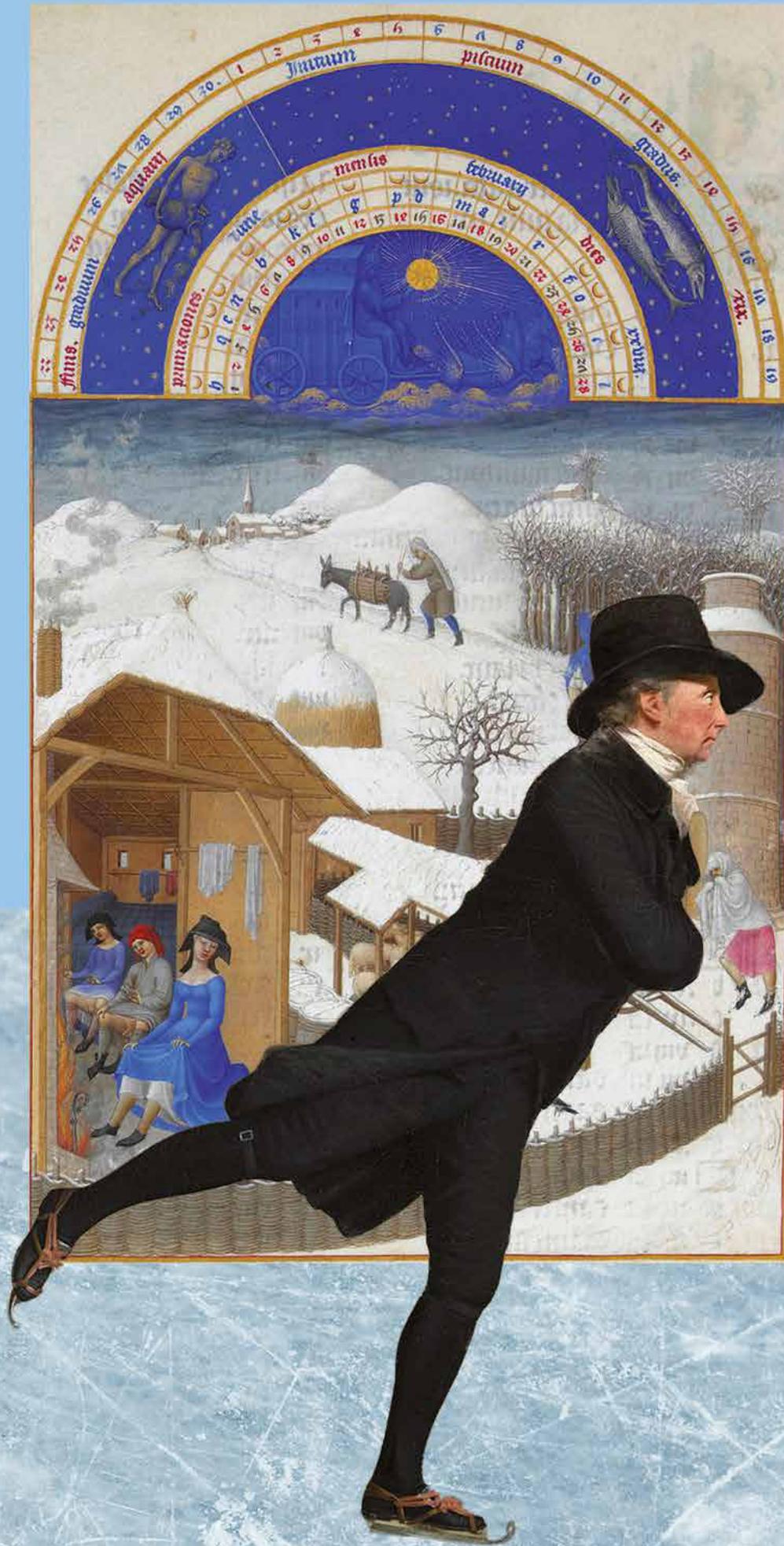


LA PICCOLA ERA GLACIALE

e il suo clima tra mare, terra e arte

a cura di **Giulia Margaritelli, Fabrizio Lirer, Federico Di Rita e Andrea Fara**

Le ricostruzioni climatiche del recente passato rappresentano uno strumento unico ed insostituibile per la comprensione dei cambiamenti climatici in atto, dell'impatto antropico sugli ecosistemi naturali e per sviluppare strategie di mitigazione. Negli ultimi millenni, una delle fasi più fredde è rappresentata dalla Piccola Era Glaciale (Little Ice Age - LIA). Nonostante i dati climatici ancora frammentari, durante questa fase climatica il Mediterraneo, noto da sempre come importante laboratorio naturale per lo studio del clima, sembra aver subito importanti cambiamenti sia ecologici (modificazioni delle associazioni planctoniche in mare, modificazione dell'assetto pollinico e, quindi, vegetazionale) che socio-culturali. Molte, infatti, sono anche le testimonianze indirette che le società dell'epoca ci hanno tramandato, come, ad esempio, la nascita della corrente pittorica del paesaggio invernale, che ci consente di ricavare importanti informazioni climatiche dalle molteplici opere d'arte che sono arrivate fino ai giorni nostri. In questo contributo cercheremo di osservare i dati micropaleontologici e pollinici da carote marine del Mediterraneo centrale con lo scopo di descrivere le condizioni climatiche registrate in questi record e di metterle in relazione con ciò che possiamo osservare e capire dalle testimonianze indirette, come quelle artistiche, di quei freddi anni.





Giulia Margaritelli
CNR-IRPI Perugia.

Fabrizio Lirer
Sapienza Università di Roma.

Federico Di Rita
Sapienza Università di Roma.

Andrea Fara
Sapienza Università di Roma.

Keywords

- Paleoclima
- Foraminiferi planctonici
- Pollini
- Little Ice Age

INTRODUZIONE

Il clima del nostro pianeta è sempre stato soggetto a continue modificazioni nel corso del passato geologico, condizionando fortemente anche la vita degli esseri viventi. La comunità scientifica, negli ultimi anni, ha indirizzato i propri programmi di ricerca verso lo studio del clima e dei suoi cambiamenti per comprendere le grandi variazioni passate, dalle epoche glaciali ai climi super-caldi attraverso lo studio di archivi fossili, provenienti da ambienti marini, lacustri, di grotta (speleotemi) e da aree polari, capaci di

registrare e conservare le informazioni climatiche di un passato geologico.

Se pur consapevoli che non esista un paleoanalogo della condizione climatica attuale, lo studio dei *record* fossili rappresenta la chiave di volta per colmare le molte lacune sulla conoscenza dei meccanismi del clima che hanno operato nel passato e che potrebbero ripetersi in un futuro, sulla comprensione della situazione climatica e ambientale attuale e per la definizione dei possibili scenari futuri.

In questo contesto, lo studio della

variabilità climatica degli ultimi millenni è di cruciale importanza per riuscire a distinguere la forzante antropogenica dalla forzante climatica naturale e fornire informazioni per modelli di previsione a medio e lungo termine. Queste ricostruzioni paleoclimatiche possono essere ottenute attraverso dati indiretti, detti *proxies*, estrapolati, appunto, da diversi archivi naturali, come quelli marini che rappresentano un'importante memoria di informazioni per lo studio delle dinamiche del clima del passato geologico.



Fig.1 - Foraminiferi planctonici e bentonici (fonte immagine: ISMAR-CNR).

MARE E TERRA: IL PLANCTON ED I POLLINI

Il *plancton* fossile (in particolare i foraminiferi planctonici) è uno degli strumenti (*proxies*) più comunemente utilizzati per le ricostruzioni del clima del passato in quanto in stretta relazione con i parametri ambientali durante il suo intero ciclo vitale. Questi organismi sono dei protozoi marini con una cellula rivestita esternamente da un guscio mineralizzato e che fossilizza facilmente (Fig.1). I foraminiferi planctonici sono noti a partire dal Cretacico (ca. 150 Ma) e hanno tuttora un'ampia diffusione negli oceani, con specie viventi nelle più diverse condizioni ambientali. Lo studio dei foraminiferi planctonici va spesso di pari passo con le analisi geochemiche (es. analisi degli isotopi del carbonio e dell'ossigeno) effettuate sul guscio calcareo di questi microfossili e rappresentano uno strumento insostituibile per gli studio della dinamica del paleoclima. Le informazioni che derivano dallo studio dei foraminiferi planctonici e dalle analisi geochemiche consentono di documentare considerevoli oscillazioni climatiche che potrebbero aver avuto un ruolo importante nelle riorganizzazioni sociali in Europa negli ultimi millenni, a partire ad esempio dal periodo Romano, quando l'uomo iniziò ad interagire in maniera più consistente con l'ecosistema.

Insieme a ai foraminiferi, di grande rilevanza nell'analisi paleoclimatica è lo studio del polline fossile, gametofito maschile delle piante spermatofite deposto in archivi

LE VARIAZIONI CLIMATICHE STORICHE

Attraverso lo studio di carotaggi marini nel Mar Mediterraneo è quindi possibile riconoscere e descrivere le fasi climatiche che hanno caratterizzato gli ultimi millenni e metterle in relazione con eventi storici di grande rilevanza, ipotizzando possibili collegamenti.

Durante gli ultimi 2000 anni, diverse oscillazioni climatiche hanno svolto un ruolo importante nella riorganizzazione sociale in Europa e una fra le più importanti è senz'altro la Piccola Era Glaciale (LIA, 1250–1850 d.C.) caratterizzata da un raffreddamento diffuso di circa 0,5–1,0 °C e da un abbassamento dell'altitudine della linea di equilibrio dei ghiacciai montani a livello mondiale di circa 100 m (e.g. Luterbacher et al., 2006). Nella regione mediterranea, in questa fase, si possono identificare quattro oscillazioni climatiche legate ai minimi di attività solare: Wolf, Spörer, Maunder e Dalton (Margaritelli et al., 2016, 2018). Tra queste, il minimo di Maunder (MM, ca. 1645-1715 d.C.) delinea la fase più fredda della LIA, con un aumento della variabilità climatica su vaste parti d'Europa. Questo periodo è caratterizzato da eruzioni vulcaniche e da una ridotta attività solare. In effetti, l'attività solare durante il MM è vicina ai suoi livelli minimi degli ultimi 8000 anni. Durante questa fase il Mediterraneo fu probabilmente interessato da un evento atmosferico noto come *Atmospheric Blocking*, che causò freddi e venti duraturi provenienti dal Nord Europa (Margaritelli et al., 2016; 2020). Il passaggio dalla precedente fase climatica (Anomalia Climatica Medievale, periodo noto per una fase di riscaldamento durante il Medioevo) alla Piccola Era Glaciale è descritto in letteratura come l'ultimo rapido evento di cambiamento climatico globalmente riconosciuto (Mayewski et al., 2004). C'è da specificare che, la Piccola Era Glaciale (LIA), non fu una vera e propria Era Glaciale come possiamo immaginarla, ma furono secoli caratterizzati da inverni molto rigidi ed estati brevi e miti. Sebbene gli effetti della LIA non furono i medesimi in tutta Europa (bisogna infatti considerare le singole specificità politiche, economiche, sociali, culturali e geografiche, ovvero le capacità di adattamento e di risposta delle società), è pur vero che, in generale, tra la fine del Duecento e il corso del Trecento, il Vecchio continente conobbe una serie di profonde e brusche trasformazioni rispetto al periodo precedente. Non solo il cambiamento climatico, ma anche gli eventi bellici, la diffusione della peste nera, la fame e la carestia, la riorganizzazione delle reti commerciali, il declino demografico: elementi variabilmente connessi tra loro, ma non in modo univoco. Infatti, non a caso proprio in questo periodo, si registrano le più grandi

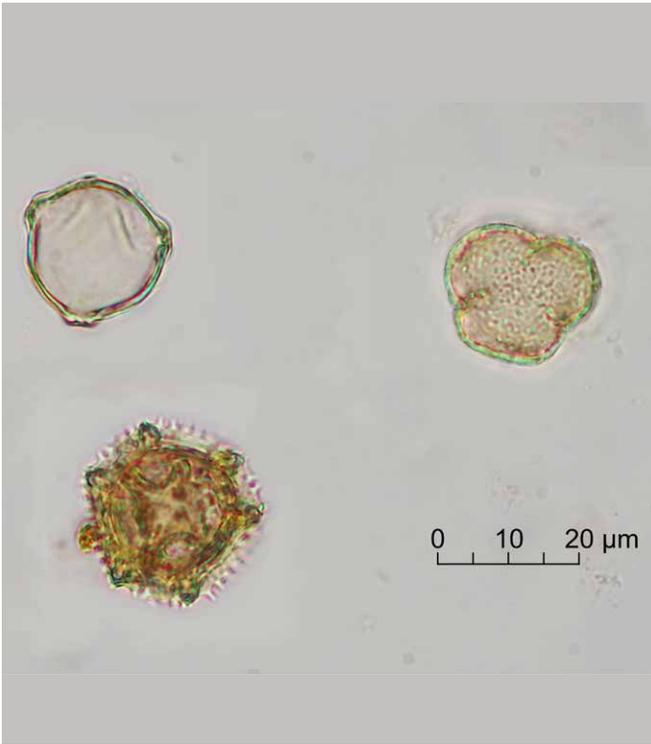


Fig.2 - Granuli pollinici (credits: Dott. Fabrizio Michelangeli).

sedimentari di varia natura ed età, che fornisce un contributo fondamentale nelle ricostruzioni della componente biotica più importante degli ecosistemi continentali, la vegetazione. Questa, infatti, è fortemente influenzata sia dai cambiamenti climatici che da processi socio-economici di sfruttamento delle risorse forestali e di uso del suolo. Quindi, le modificazioni della copertura vegetazionale del passato sono un *proxy* particolarmente utile per identificare gli effetti del clima e dell'impatto antropico sugli ecosistemi naturali (Fig.2).

Nello studio dei cambiamenti climatici, il Mar Mediterraneo conserva testimonianze e informazioni su molteplici aspetti della storia geologica del sistema Terra. Occupa, infatti, una posizione strategica tra i climi nord africani e quelli europei, quindi tra le condizioni aride subtropicali e quelle umide settentrionali che lo fanno essere una regione di spiccato interesse scientifico. Confrontandoli con altre regioni del mondo, inoltre, i fondali del Mar Mediterraneo sono caratterizzati da un'alta velocità di sedimentazione che permette indagini ad alta risoluzione. Non da ultimo, il Mare Nostrum è costellato di studi e testimonianze sulla sua storia archeologica e culturale che lo rendono un caso perfetto per investigare il potenziale ruolo del clima nelle civiltà.

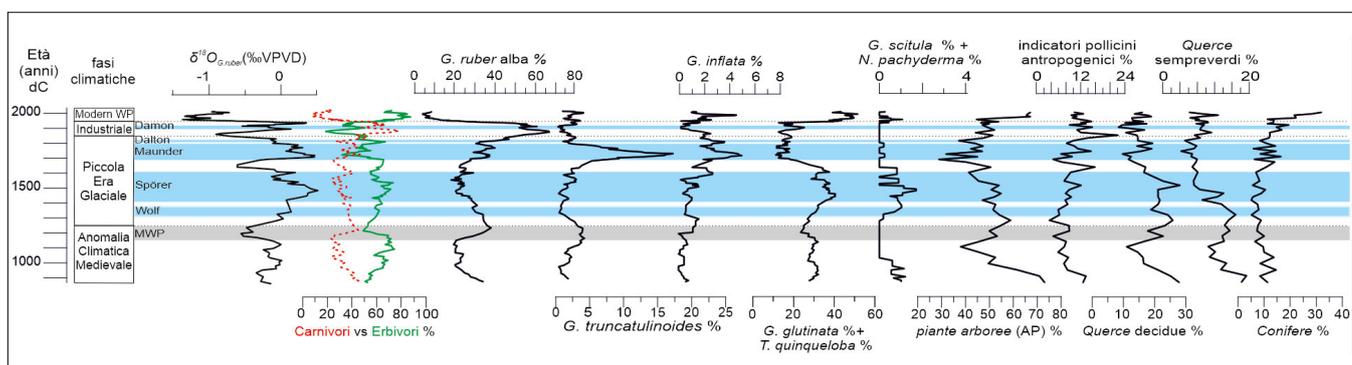


Fig.3 - Grafico in tempo della distribuzione delle specie più rappresentative di foraminiferi planctonici e pollini insieme ai dati isotopici ($\delta^{18}\text{O}_{\text{G.ruber}}$). Nella colonna di destra sono riportate le fasi climatiche (dall'Anomalia climatica medievale al Periodo caldo Moderno); la sigla MWP sta per Periodo Caldo Medioevale, le fasce azzurre raffigurano i minimi di attività solare.

pestilenze e carestie che sconvolsero l'Europa e il resto del mondo, con stime che valutano la popolazione dell'area del Mediterraneo ridotta ad un terzo. Persino i rimedi sanitari, certamente per lo più empirici e poco efficaci, devono essere valutati in relazione alle conoscenze dell'epoca, e comunque in alcuni casi furono efficaci (per esempio durante la prima ondata di peste del 1347, la Milano viscontea riuscì a reggere meglio l'urto del morbo mettendo in atto una strettissima quarantena). E se il recupero demografico fu indubbiamente lento, nondimeno la peste divenne endemica: sul lungo periodo la popolazione divenne più resistente, con un maggiore tasso di immunità, ovvero le epidemie furono mediamente caratterizzate da minori virulenza e tasso di mortalità (l'ultimo caso europeo si registrò a Marsiglia nel 1720). Se dunque la crisi fu sistemica, e in essa il clima poté giocare un ruolo non marginale (in questi anni sono anche registrate tempeste particolarmente violente, come quella che in seguito avrebbe distrutto una parte dell'Invincibile Armata spagnola nel 1588), nondimeno segnò un momento importante di riorganizzazione e di sperimentazione delle società e delle economie dell'Europa medievale, ponendo altresì le basi di quello che poi fu il grande slancio europeo a livello mondiale, a partire dal Quattrocento e nel corso dei secoli successivi (e.g. Campbell, 2016).

Uno studio multidisciplinare recente, che ha permesso di confrontare dati sui foraminiferi planctonici (ecosistema marino), pollini (ecosistema continentale) e geochimica isotopica provenienti da sedimenti marini recuperati nel Golfo di Gaeta (Mediterraneo centrale), ha suggerito che la transizione Anomalia Climatica Medievale - LIA è segnata da un importante cambiamento nella disponibilità di nutrienti nella colonna d'acqua (Margaritelli et al., 2016), documentato dal passaggio da specie di foraminiferi planctonici a dieta carnivora a specie erbivore-opportunistiche (Fig. 3). Inoltre, i dati isotopici misurati sui gusci carbonatici dei foraminiferi ($\delta^{18}\text{O}_{\text{G.ruber}}$) hanno permesso di identificare le quattro oscillazioni climatiche relative ai minimi all'attività solare documentati durante il LIA. Nello specifico, le fasi climatiche associate cronologicamente ai minimi dell'attività solare Wolf e Spörer sono caratterizzate da un graduale

passaggio a condizioni più fredde (valori del $\delta^{18}\text{O}_{\text{G.ruber}}$ positivi) suggerite dall'aumento delle specie planctoniche di acqua fredda (*Globorotalia inflata*, *G. truncatulinoides*, *G. scitula*, *Neogloboquadrina pachyderma*), da una diminuzione delle specie di acqua calda (*Globigerinoides ruber*) e da un aumento delle specie di acque superficiali ad alta produttività (*Globigerinita glutinata* - *Turborotalita quinqueloba*) (Fig. 3). Questo aumento di produttività superficiale delle acque nel Mediterraneo centrale prima del MM potrebbe indicare una maggiore estensione verso sud dei venti occidentali che potrebbero aver causato un aumento delle precipitazioni e quindi un maggiore deflusso dei fiumi durante questo periodo. L'inizio del MM è caratterizzato da un forte aumento di abbondanza di specie atlantiche fredde (*G. truncatulinoides* e *G. inflata*) e da una diminuzione della produttività primaria testimoniata dalla riduzione di *T. quinqueloba* e *G. glutinata* (Fig. 3). Durante questa fase di minimo solare, *G. truncatulinoides*, specie invernale che vive in ambiente marino profondo nel Mar Mediterraneo con un ciclo di vita caratterizzato da una migrazione verticale nella colonna d'acqua, mostra un significativo aumento di abbondanza. Alla luce di questo, si è supposto che le particolari condizioni climatiche del MM potrebbero essere responsabili di intensi fenomeni di rimescolamenti verticali delle acque profonde durante la stagione invernale, producendo le condizioni ecologiche ideali per la proliferazione di questa specie fredda (Margaritelli et al., 2020, 2022).

Il record pollinico prodotto dalle analisi della stessa sequenza sedimentaria mostra una significativa diminuzione della copertura forestale (Piante Arboree, Fig.3). Questo processo è iniziato a ca. 1300 d.C. e terminò a ca. 1850 d.C., sostanzialmente in accordo con i limiti cronologici della LIA. Il processo di deforestazione sembra aver colpito soprattutto le latifoglie, in particolar modo le querce decidue e sempreverdi, le cui curve mostrano frequenze molto basse tra il 1650 e il 1750 d.C., in corrispondenza con il MM (Fig.3). Il clima freddo associato a questo minimo di attività solare potrebbe aver influito sullo sviluppo di molti taxa arborei, ad eccezione delle conifere che fanno registrare un aumento moderato (Di Rita et al., 2018; 2019).



Fig.4 - Bruegel il Vecchio – Cacciatori nella neve (1565) (fonte immagine: [wikipedia.org](https://www.wikipedia.org)).

LE VARIAZIONI CLIMATICHE E LA STORIA DELL'UOMO

In aggiunta ai dati scientifici fino ad ora descritti, molteplici sono le testimonianze artistiche e letterarie che si sono tramandate fino ai giorni nostri e che raccontano questi freddi decenni. Proprio grazie a quello che ci è stato lasciato in eredità da chi è stato testimone di questo particolarissimo evento climatico, possiamo capire e raccontare come le condizioni climatiche abbiano condizionato e caratterizzato anche la vita sociale e umana durante la LIA.

Sono infatti questi gli anni in cui viene alla luce la “corrente” pittorica del paesaggio invernale che ha tra i maggiori esponenti Peter Bruegel il Vecchio la cui produzione si concentra sui paesaggi innevati del Nord Europa nella metà del XVI secolo (Fig.4).

L'inizio del 1600 fu segnato da inverni lunghissimi in Italia, in Veneto crollarono parecchi tetti delle case sotto il peso della neve, a Bologna i carri non potevano circolare poiché le strade e le vie erano immerse in accumuli di neve. A Venezia crollarono tetti sotto il peso della neve. La Cronaca del padovano Nicolò De' Rossi è un esempio di quale fosse la portata delle nevicate di quel periodo:

«In quest'anno molto calamitoso per le continue e grandissime neve che per due mesi e mezzo, che veramente mostrò un diluvio grande di neve che fu cosa inaudita il vedere una tanta quantità che per memoria di vecchi non si ricorda mai tanto naufragio che a pena si potevano vedere li huomini da una parte e l'altra delle strade, li coperti delle case non erano sicuri perché bisognavano che con forti travi



Fig.5 - Micco Spadaro– Largo Mercatello durante la peste a Napoli (1656) (fonte immagine: [wikipedia.org](https://www.wikipedia.org)).

fossero appuntellati, e continuamente ogni altro giorno farla gettare giù nelle strade con gran spesa» (Nicolò De' Rossi, Cronica di Padova dal 1562 al 1621, ms., 1621, Biblioteca Civica di Padova, B.P. 147, pag. 235).

Nel corso del XVII secolo, il Tamigi gelò completamente dodici volte fra il 1608 e il 1695. Ad Amsterdam i canali si trasformarono in piste di ghiaccio. Nel corso di questo secolo, i ghiacciai alpini raggiunsero la loro massima estensione e anche la Laguna di Venezia gelò. I villaggi della Savoia e del Tirolo furono travolti dall'avanzata delle lingue glaciali, e gli abitanti di questi territori furono costretti a spostarsi altrove. La Grande Peste che colpì l'Italia (in particolare Napoli e Genova) nel 1656-1657 causò un enorme numero di vittime, paragonabile a quelle di una grande guerra tanto che uccise nel giro di due anni il 70-75% della popolazione. Non tutti gli storici sono concordi, ma si può supporre che le fredde e persistenti condizioni climatiche della LIA, che causarono l'assenza di acqua corrente e la promiscuità tra uomini e animali in cerca di calore e riparo, possano essere annoverate tra le cause di questa immane tragedia (Fig.5). Prove

dell'impatto di questa calamità demografica sono riportate anche nel diagramma pollinico del Golfo di Gaeta, dove si assiste ad una drastica riduzione degli indicatori pollinici antropogenici di uso del suolo a partire da 1650 d.C., che suggerisce un rapido declino delle attività agro-pastorali conseguenti alla mancanza di manodopera.

Infine tra le varie testimonianze artistiche vogliamo riportare una delle più curiose ma anche delle meno scontate. Infatti, il famoso Arcimboldo e i suoi fioriti e fruttati ritratti, anche se non in maniera immediata, rappresentano un'importante testimonianza climatica della LIA. Giuseppe Arcimboldo, infatti, pittore manierista cinquecentesco, aveva l'abitudine di dipingere su committenza e, la maggior parte dei suoi dipinti, come il famoso Rodolfo II – Vertumno (Fig.6), nascondono un messaggio anche climatico tra le varie e più disparate interpretazioni. I committenti di Arcimboldo, infatti, molti dei quali proprietari terrieri, si rivolgevano a lui per poter avere un "amuleto" o un "ritratto portafortuna" che potesse accompagnarli nel ritrovare la fertilità delle loro terre distrutte ed impoverite dalle intemperie e dal freddo della LIA.



Fig.6 - Micco Spadaro– Largo Mercatello durante la peste a Napoli (1656) (fonte immagine: [wikipedia.org](https://www.wikipedia.org)).

INCISO: Il delta isotopico dell'ossigeno 18 ($\delta^{18}O$)

I gusci dei foraminiferi sono un componente comunissimo dei sedimenti marini e per questo sono fondamentali anche per le analisi geochimiche. Infatti, in geochimica, paleoclimatologia e paleoceanografia il $\delta^{18}O$ si usa comunemente come proxy della temperatura. I valori di $\delta^{18}O$ si misurano nel guscio carbonatico dei foraminiferi che si costruisce, tramite precipitazione di calcite, durante il ciclo vitale dell'organismo in equilibrio isotopico con l'acqua marina circostante; in questo modo, i rapporti isotopici misurati nei gusci sono

testimonianza dei rapporti isotopici dell'acqua marina nella quale l'organismo ha vissuto. I foraminiferi possono potenzialmente conservare il loro rapporto isotopico originale per molti milioni di anni, sebbene i processi diagenetici possono alterarne i rapporti. Il rapporto isotopico dell'ossigeno dei foraminiferi è ampiamente utilizzato nello studio dei cambiamenti climatici. L'unità di misura è in parti per mille (‰).

BIBLIOGRAFIA

Blewett D. T., Chabot N. L., Denevi B. W., Ernst C. M., Head J. W., Izenberg N. R. ... & Hurwitz D. M. (2011). *Hollows on Mercury: MESSENGER evidence for geologically recent volatile-related activity*. Science, 333(6051), 1856-1859. <https://doi.org/10.1126/science.1211681>

Campbell B.M.S. (2016). *The Great Transition. Climate, Disease and Society in the Late-Medieval World*. Oxford University Press, Oxford 2016.

Di Rita F., Lirer F., Bonomo S., Cascella A., Ferraro L., Florindo F., Insinga D.D., Lurcock P.C., Margaritelli G., Petrosino P., Rettori R., Vallefuoco M. & Magri D. (2018). *Late Holocene forest dynamics in the Gulf of Gaeta (central Mediterranean) in relation to NAO variability and human impact*. Quat. Sci. Rev. 179, 137-152.

Di Rita F., Lirer F., Margaritelli G., Michelangeli F. & Magri D. (2019). *Climate and Human Influence on the Vegetation of Tyrrhenian Italy during the Last 2000 Years: New Insights from Microcharcoal and Non-Pollen Palynomorphs*. Geogr. Fis. E Din. Quat, 42, 203-214

Luterbacher J., Xoplaki E., Casty C., Wanner H., Pauling A., Küttel M., Rutishauser T., Brönnimann S., Fischer E., Fleitmann D., Gonzalez-Rouco F.J., Garcia-Herrera R., Barriendos M., Rodrigo F., Gonzalez-Hidalgo J.G., Angel Saz M., Gimeno L., Ribera P. & Ley Roy Ladurie E. (2006). *Mediterranean climate variability over the last centuries: A review*. In: Lionello, P. (Ed.), *The Mediterranean Climate*. Elsevier, Amsterdam, 27-148.

Margaritelli G., Vallefuoco M., di Rita F., Capotondi L., Bellucci L.G., Insinga D.D., Petrosino P., Bonomo S., Cacho I., Cascella A., Ferraro L., Florindo F., Lubritto C., Lurcock P.C., Magri D., Pelosi N., Rettori R. & Lirer F. (2016). *Climate events from a shallow water marine record of the Central Tyrrhenian during the last four millennia*. Glob. Planet. Chang., 142, 53-72.

Margaritelli G., Cisneros M., Cacho I., Capotondi L., Vallefuoco M., Rettori R. & Lirer F. (2018). *Climatic variability over the last 3000 years in the central-western Mediterranean Sea (Menorca Basin) detected by planktonic foraminifera and stable isotope records*. Glob. Planet. Chang., 169, 179-187.

Margaritelli G., Lirer F., Schroeder K., Alberico I., Dentici M.P. & Caruso A. (2020). *Globorotalia truncatulinoides in Central-Western Mediterranean Sea during the Little Ice Age*. Mar. Micropaleontol., 161, 101921.

Margaritelli G., Lirer F., Schroeder K., Cloke-Hayes A., Caruso A., Capotondi L., Broggy T., Cacho I. & Sierro F.J. (2022). *Globorotalia truncatulinoides in the Mediterranean Basin during the Middle-Late Holocene: Bio-Chronological and Oceanographic Indicator*. Geosciences, 12, 244.

Mayewski P.A., Rohling E., Stager C., Karlén W., Maasch K.A., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R.R. & Steig E.J. (2004). *Holocene climate variability*. Quat. Res., 62, 243-255.

SPUNTI PER LA DIDATTICA

PEG

Susanna Occhipinti

La lettura dell'articolo rappresenta per il docente, senza la necessità di ulteriori chiarimenti o approfondimenti, un utilissimo *Spunto per la didattica*. Inoltre, è talmente ricco di possibili contributi, che ulteriori riflessioni sono state sviluppate sullo stesso tema.

Le variazioni climatiche, indipendentemente dalla loro causa, hanno, da sempre condizionato la storia della Terra, da quelle più rilevanti, come *Super Greenhouse* e *Snowball Earth* che hanno interessato quasi tutta la superficie terrestre, a quelle, sempre importanti, ma più localizzate, come le glaciazioni del Quaternario, fino alle Piccole ere glaciali, la PEGTA e la PEG, responsabili di trasformazioni geologiche e morfologiche, di crisi biologiche come le estinzioni, le 5 di massa e le numerosissime più circoscritte.

Le variazioni climatiche, ed in particolare quelle che si sono verificate in epoca storica, negli ultimi 2000 anni, dimostrano ancora una volta come le Geoscienze e le discipline che ad esse afferiscono costituiscono un nodo fondante del Sistema Terra, e ne condizionano le relazioni e le dinamiche determinando impatti, prevedibili ed imprevisi, diretti ed indiretti, sulla storia, l'economia, la società, la cultura.

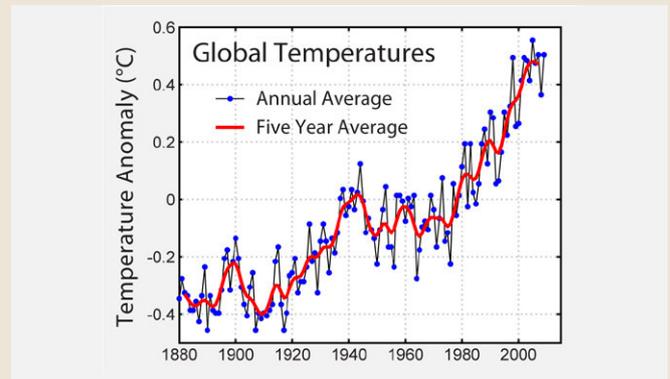
È necessario però, anche in considerazione degli eventi meteorologici straordinari che si stanno verificando con sempre maggiore frequenza e che vedono gravi siccità alternarsi a precipitazioni anomale per quantità e periodo, si vedano i recenti eventi che hanno colpito l'Emilia Romagna, ma anche le particolari condizioni del manto nevoso sulle catene montuose italiane, precisare tempi e velocità delle variazioni climatiche in atto, inquadrando i fenomeni in atto nel loro giusto contesto, ed evidenziando

- le responsabilità dell'uomo, come emerge chiaramente dai dati dell'IPCC: dal 1850 a oggi la temperatura media globale è salita di quasi un grado.
- la necessità di intervenire con urgenza, come evidenzia l'obiettivo 15 dei 17 SDGs dell'Agenda 2030.

Per approfondire

www.youtube.com/watch?v=eweTbEP6AE0

www.youtube.com/watch?v=5jJleSgyzsU (engl)



LA PEG e...

La storia

- L'Europa tra il 400 ed il 750, era stata interessata dalla PEGTA, la Piccola Età Glaciale Tardo Antica, che aveva visto il crollo dell'Impero Romano e le invasioni dei Barbari, fuggiti dalle loro terre alla ricerca di condizioni climatiche ed ambientali migliori,
- Quindi tra il 1050 ed il 1270, dall'Optimum Climatico Medioevale, caratterizzato da un clima temperato e stabile, con estati secche e calde, una temperatura media superiore di quasi un grado rispetto al XX secolo, che avevano favorito la prosperità agricola alla base della società medievale.
- Tale clima anomalo ebbe conseguenze socioeconomiche importanti, i Comuni e le Repubbliche Marinare ebbero il loro massimo sviluppo, i Vichinghi approfittarono del ritiro dei ghiacciai per colonizzare la Groenlandia, in Islanda si coltivava l'orzo e il clima mite consentì la coltivazione dell'uva fino in Gran Bretagna, che vi rimase fino all'inizio del PEG, che fece gelare tutti i vigneti, così che francesi e italiani rimasero i dominatori del mercato del vino.
- Nel 1450 hanno inizio le fluttuazioni climatiche che caratterizzeranno i successivi secoli fino al 1850, contraddistinti da inverni rigidi, poi seguiti da precipitazioni torrenziali in primavera e in estate inoltrata; altri, da inverni moderati; altri ancora, da estati torride e periodi di forte siccità. Alcuni cicli di freddo estremo si ebbero tra il 1590 e il 1610.

Le conseguenze sull'economia

La PEG ebbe importanti effetti sull'economia. La necessità di garantire la sopravvivenza in condizioni climatiche critiche richiese l'uso di pratiche agricole innovative, in particolare nei Paesi Bassi che, in seguito si diffusero in altri paesi, come l'Inghilterra. Fu avviata la rotazione delle colture, anche foraggiere, come erba medica, trifoglio e rapa, che fornivano ai terreni un importante apporto di azoto. In Inghilterra, i benefici economici ottenuti con la nuova agricoltura determinarono la privatizzazione delle antiche terre comunali,

e il sorgere di un panorama caratteristico, quello delle “enclosures”, o campi recintati; in Olanda, nel XVII secolo, si produssero nuovi spazi coltivabili, i “polders”, terreni sottratti al mare e prosciugati, attraverso l’uso dei mulini a vento, che drenavano l’acqua verso appositi canali. Dalla PEG nacque una diversa struttura economica, che diede vita all’Illuminismo e all’industrializzazione. Il flusso costante di oro dal Nuovo Mondo contribuì al passaggio rapido da un’economia di scambio a quella monetaria con la nascita della Banca d’Inghilterra e della prima banconota moderna nel 1695. Nel XVII l’Europa “scopri” il tulipano e la patata, causò la fine dell’aristocrazia terriera, spodestato dalla nuova classe di banchieri e mercanti, la cui ricchezza è meno legata ai disastri climatici, ma anche lo sfruttamento internazionale sotto forma di colonialismo e schiavitù.

Le conseguenze sulla società

Alcuni fenomeni naturali, come l’aurora boreale che venne avvistata nel 1560 sino in Svizzera, favorirono il diffondersi di teorie apocalittiche: il mondo stava per finire, i segnali erano ovunque secondo i predicatori più ferventi, sia cattolici che protestanti.

La lotta contro il peccato divenne una priorità assoluta, i crimini contro Dio (sodomia, usura, incesto etc) sembravano più diffusi rispetto al passato. Questo clima di follia ed esasperazione sfociò in episodi di violenza etnica: i pogrom, attacchi contro le comunità ebraiche europee: tra il 1330 ed il 1500 un’ondata di antisemitismo senza precedenti investì l’Europa. Gli Ebrei, da sempre guardati con sospetto, vennero ripetutamente accusati di diffondere le malattie, in particolare la lebbra che, a causa della malnutrizione e della povertà, colpiva duramente. Durante il Seicento la crisi economica e sociale si accentuò e in un solo anno, il 1648, si ebbero rivolte in Russia e in Francia, guerre civili in Ucraina, Scozia e Inghilterra, nell’impero ottomano il gran visir venne fatto a pezzi da una folla inferocita. Eppure, questo periodo storico è stato caratterizzato da cambiamenti epocali: la scoperta dell’America, l’avvento di grandi correnti di pensiero, il Rinascimento, l’Illuminismo, le svolte storiche ed economiche, le Rivoluzioni americana e francese, lo sviluppo di nuove teorie scientifiche.

Leonardo da Vinci e Galileo, Newton e Linneo vissero in questi secoli, senza peraltro che di questo evento siano rimaste tracce nei loro studi o nei loro scritti.

Le cause

A fianco della teoria che attribuisce la causa della Piccola era glaciale alla diminuzione della radiazione solare, altre teorie vengono proposte, in alternativa, o come concausa:

- **Le eruzioni vulcaniche**, in particolare nella fase iniziale del periodo freddo, che vede una insolita, intensa attività vulcanica tropicale iniziata tra il 1275 ed il 1300 e ripetutasi nel 1500, responsabili del raffreddamento della Terra per le emissioni di polveri che limitavano il passaggio dei raggi solari.

- **L’effetto dell’Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)**. Il flusso oceanico in cui l’acqua calda dei tropici scorre a nord lungo la costa del Nord Europa e quando raggiunge latitudini più elevate e incontra acque artiche più fredde, perde calore e diventa più densa, sprofondando sul fondo dell’oceano, scorrendo verso sud lungo la costa del Nord America e continuando a circolare in tutto il mondo. Ricercatori dell’Università del Massachusetts hanno notato un cambiamento tra la fine del 1300 e i primi anni del 1400, da condizioni molto calde, a condizioni fredde: le acque a sud della Groenlandia e dei mari nordici divennero molto più calde del solito, causando una rapida perdita di ghiaccio artico che raffreddò le acque del Nord Atlantico, ne diluì la salinità, determinando il raffreddamento delle coste del nord Europa.

La caccia alle streghe



Rogo di streghe del 1587, Jacob Truchsess (collezione Wickiana)

La caccia alle streghe si scatenò a partire dal 1560, quando il clima divenne sempre più sfavorevole e le persone, soprattutto donne e sole, furono accusate di nuocere ai raccolti e agli animali, i quali morivano in realtà a causa del maltempo. Le persecuzioni per stregoneria andarono a sovrapporsi alle crisi della fame verificatesi nel 1570 e nel 1580, quest’ultima durata un decennio. In Inghilterra e Francia, il numero degli accusati raggiunse l’apice nel 1587 e nel 1588, anni caratterizzati da un clima particolarmente avverso. Tra il 1580 e il 1620, nella città di Berna più di un migliaio di persone accusate di stregoneria furono mandate al rogo. Nel 1620, in Germania furono messe al rogo 900 donne, accusate di stregoneria e di causare epidemie di bestiame, responsabili dello scarso latte prodotto dalle mucche, delle gelate tardive e dell’insorgere di malattie prima sconosciute. Va ricordato che 1636 avvenne anche il processo delle Streghe di Salem, inquadrabile forse nello stesso contesto. Alcuni autori dell’epoca evidenziarono come i fenomeni anomali e le malattie non calassero dopo la morte delle streghe, ipotizzando, quindi, che due fattori fossero assolutamente indipendenti; ciò non fermò la caccia alle streghe.

E infine non si può dimenticare che anche i violini Stradivari devono la loro qualità musicale alle PEG, perché le particolari condizioni climatiche causarono la lenta crescita degli abeti rossi, accentuando la densità del legno e incrementando la naturale capacità di risonanza.



Violino Stradivari Le Brun, 1712