

IL CONTRIBUTO DELLE SCIENZE GEOLOGICHE PER LA VALUTAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI (*)

PARTE 1 – GEOLOGIA E PALEONTOLOGIA

*Uberto Crescenti (**)*

Nel 1785 James Hutton (*Theory of the Earth*) fondava le premesse di uno dei principi basilari della geologia storica, in particolare del principio dell'Attualismo, sintetizzando il concetto con la frase storica: "The present is the key to the past". In verità già nel 1775 Giovanni Arduino, nel saggio fisico mineralogico di Lytognonia e Orognosia, aveva anticipato tale concetto sia pure in forma meno incisiva. Si deve a Carlo Lyell (*Principles of Geology*), la codificazione del principio dell'Attualismo (Fabiani, 1952, pag. 244).

La Geologia storica prende così forma e si vivifica con tale principio: l'osservazione dei fenomeni attuali, degli ambienti deposizionali, è essenziale per ricostruire la storia del nostro Pianeta, le sue evoluzioni morfologiche ed ambientali. Da qui la fioritura di studi degli ambienti attuali per le ricostruzioni paleogeografiche: se un certo tipo di deposito è oggi osservabile in un determinato ambiente, gli analoghi depositi fossili documentano la presenza di quell'ambiente durante l'epoca della loro formazione.

Tra i geologi, come noto, il principio dell'Attualismo è in fondo, come la tavola pitagorica per il calcolo matematico, è cioè un concetto da tempo elementare. L'abbiamo voluto ricordare perchè riteniamo che nel caso dei cambiamenti climatici tale principio possa essere utilizzato all'incontrario: lo studio del passato per prevedere il futuro.

(*) Questo articolo è in buona parte tratto da Crescenti (2008)

(**) Dipartimento di Geologia e Ingegneria – Università G. d'Annunzio Chieti-Pescara. ucrescenti@alice.it

Riteniamo cioè, che la storia climatica del nostro Pianeta possa essere utile per tentare previsioni future.

In generale riteniamo che tutte le scienze storiche, non solo la geologia, ma anche le scienze agrarie, forestali, sociali, ecc., possono darci informazioni sul clima del passato, costituendo un patrimonio irrinunciabile per fare proiezioni future. La storia del comportamento climatico passato del nostro Pianeta è sicuramente assai più incisiva ed attendibile per le previsioni, rispetto ai risultati ottenibili con le modellazioni matematiche che non riescono a tenere conto dei numerosi e complessi meccanismi naturali fra loro intimamente interconnessi, che regolano il clima del nostro Pianeta.

Inoltre, non riteniamo che limitarsi ad osservare le variazioni di temperatura globale in una serie di meno 150 anni possa essere scientificamente corretto ed attendibile per un fenomeno assai complesso che tuttora la scienza del clima non conosce a fondo. Ecco allora che la scienza storica può fornire elementi assai utili per un tema attualmente tanto dibattuto, come quello dei cambiamenti climatici.

Le scienze geologiche, ed in particolare la Geologia, la Paleontologia, e la Geomorfologia, sono scienze che consentono di indagare sulla storia del nostro Pianeta. Consentono cioè di ricostruire la geografia del passato, le sue modificazioni, la sua evoluzione, permettendo così di conoscere abbastanza nei dettagli “l’Organismo-Terra” su cui viviamo. Tutto questo è possibile dalla lettura della immensa biblioteca che la Natura mette a nostra disposizione, in cui la Terra ha scritto la propria storia in un libro grandioso. Questo libro è costituito dalle immense successioni di rocce stratificate; ogni strato è una pagina del grande libro della Natura, un vero e proprio grandioso archivio naturale. I geologi hanno fatto fatica a comprendere la scrittura della Natura, a leggere e ricostruire la storia della Terra. Tuttora, pur avendo le scienze geologiche fatto innumerevoli progressi per capire i “geroglifici” tramandati dalla Natura, ci sono in atto ricerche molto sofisticate per capire ogni dettaglio della storia del passato.

Questa capacità di lettura ha spinto i geologi, sin dal secolo 1800, a tentare di avere informazioni anche sulle eventuali modificazioni climatiche avvenute nel nostro Pianeta.

Il mezzo di lettura, all'inizio di questa ricostruzione storica, era basato principalmente sulle caratteristiche litologiche (cioè il tipo di roccia) delle pagine del libro della Natura, cui ben presto si associarono le indagini paleontologiche, ossia le indagini sui fossili contenuti nelle rocce stesse.

Fu così che nella prima metà del 1800 fu perfezionata la Teoria Glaciale, secondo la quale nel passato si sono succeduti vari periodi freddi con ghiacciai molto più estesi rispetto ad oggi, intercalati a periodi caldi. Furono così individuate più "ere glaciali" all'interno delle quali si sono succeduti ciclicamente periodi glaciali e interglaciali. L'ultima era glaciale è il Quaternario, iniziato circa 1,810 milioni di anni fa.

A questi risultati si era pervenuto soprattutto con lo studio dei "prodotti" litologici dei ghiacciai, in particolare delle morene e delle varve, e delle morfologie legate alle attività dei ghiacciai stessi. Le morene corrispondono all'accumulo dei detriti (da frammenti a massi), trasportati dai ghiacciai ed accumulati sul fronte degli stessi. Le varve invece si depositano nei bacini dei laghi alimentati dalle acque di scioglimento.

Un deposito di varve ha una particolare caratteristica, è costituito da straterelli centimetrici bianchi e neri; il sedimento bianco corrisponde al deposito estivo, quello nero a quello invernale. Lo spessore delle varve è in relazione al clima dell'anno in cui si sono formate; annate calde spessore maggiore, annate fredde spessore minore.

È evidente che una coppia bianco-nera corrisponde al deposito di un anno. In questo modo, contando le coppie, si può risalire agli anni di attività di un ghiacciaio ed avere informazioni precise sulla loro età. Con queste metodologie furono ottenuti risultati interessanti, come è sintetizzato nelle figure 1 e 2.

Lo studio delle variazioni dei ghiacciai in Italia è da tempo oggetto di importanti ricerche ad opera di molti autori. Tra i più recenti ricordiamo G. Orombelli, C. Smiraglia, C. Baroni, A.V. Cerutti. Si dimostrano così le intense variazioni climatiche avvenute nel recente passato.

Una sintesi delle variazioni climatiche in Valle d'Aosta dedotte dallo studio dei ghiacciai è riportato nell'articolo di A.V. Cerutti



Fig. 1 – *Una sezione attraverso un deposito di argille a varve nei dintorni di Uppsala. Ogni varva consta di uno straterello nel quale il colore, più chiaro alla base, sfuma verso l'alto diventando sempre più scuro. Il passaggio alla varva successiva è invece marcato da un ritorno improvviso del colore chiaro. La sezione è alta 1.50 m e vi si contano 70 varve, di spessore decrescente dal basso all'alto. (da Trevisan e Tongiorgi, 1958)*

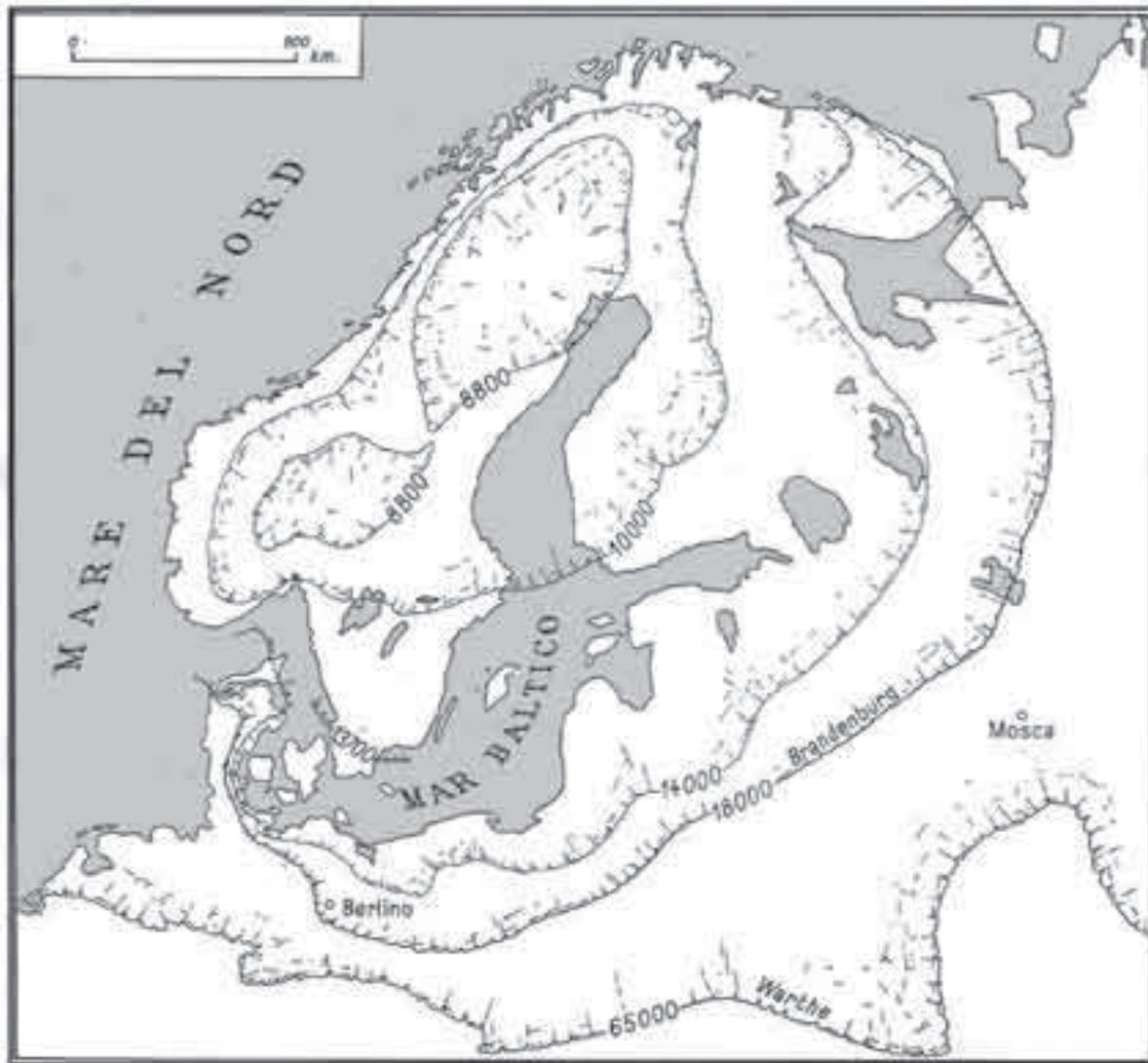


Fig. 2 – *Le principali fasi del ritiro della calotta glaciale dell'Europa settentrionale, con le datazioni assolute ottenute col metodo delle "varve".*
(da Trevisan e Tongiorgi, 1958)

(2012). Così sono documentate numerose variazioni della estensione dei ghiacciai valdostani negli ultimi 4000 anni legate ovviamente alle variazioni del clima. Molto interessanti sono le considerazioni che l'Autrice riporta in merito alle affermazioni sulle variazioni climatiche dell'ultimo millennio da parte dell'IPCC, ispirate come noto alla famosa mazza da hockey di Mann, Bradley e Huges. L'Autrice ricorda in merito quanto affermato da Sergio Pinna (2006): "Questa ricostruzione, dovuta alle teorie di Mann, Bradley e Hughes costituisce un totale capovolgimento di tutti i risultati raggiunti dalla climatologia sto-

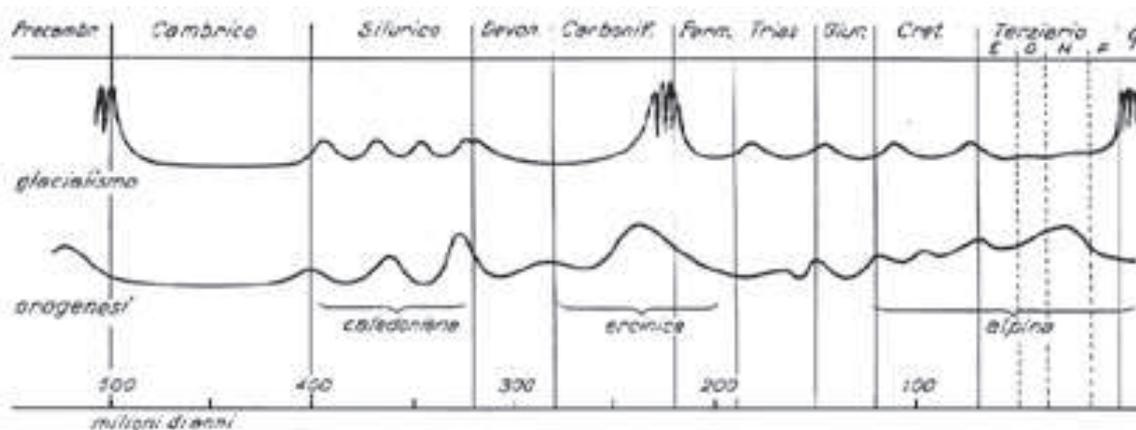


Fig. 3 – La curva che in questo grafico rappresenta il glacialismo mostra tre maggiori picchi dentellati che esprimono le epoche glaciali dal Cambrico ad oggi, composte ciascuna di varie espansioni distinte. Essa presenta inoltre altri picchi minori, che, secondo Umgrove, indicano oscillazioni climatiche minori che hanno determinato in qualche regione il formarsi di ghiacciai montani, senza grandi espansioni a calotta.
(da Trevisan e Tongiorgi, 1958).

rica, indicanti appunto un alternarsi di fasi sensibilmente diverse tra loro.” A.V.Cerutti continua: “Le affermazioni dell’IPCC... sono del tutto discordanti dalle testimonianze raccolte sul territorio valdostano relative agli *optimi climatici* delle ere pre-industriali. L’uomo non era in grado di produrre anidride carbonica nel Neolitico, quando le torbe del Rutor, quelle di Crotte Basse, quelle del Piccolo San Bernardo e i pollini in esse contenuti ci indicano una temperatura media annua di almeno 4°C superiore all’attuale. Non lo era neppure in epoca romana ed in epoca medioevale quando valichi in alta quota, oggi innevati per la maggior parte dell’anno, erano per lunghi mesi regolarmente frequentati dalle carovane mercantili.

Il colle del Teodulo (m 3300), fra Cervinia e Zermatt, oggi è il centro di uno di più prestigiosi comprensori turistici d’Europa, attivo anche in estate; nel Medioevo era un importantissimo ganglio di vie commerciali transalpine. È quindi evidente che il clima attuale, il quale ne determina l’inevamento persistente, è più freddo di quello medioevale che permetteva il passaggio delle carovane somegiate!

Abbiamo concrete prove che periodi di clima caldo come e più dell’attuale si sono verificati più volte ben prima della rivoluzione in-

dustriale, in epoche in cui non erano possibili emissioni derivanti da combustibili fossili”.

Importanti fasi glaciali interessarono la Valle d’Aosta nel Quaternario come dimostrano accumuli imponenti di morene. Ricordiamo solo l’Anfiteatro Morenico di Ivrea (AMI) che rappresenta la più evidente testimonianza della grande estensione raggiunta dal glacialismo della Valle d’Aosta, che nel corso del Quaternario fu interessata da una decina di glaciazioni. Tale accumulo di spessore superiore ai 300-400 metri è situato a oltre 120 km dal fronte dei ghiacciai attuali del Monte Bianco. L’AMI ha una superficie di 505 km², è il terzo anfiteatro morenico delle Alpi dopo quelli del Garda e del Verbano. Presenta una forma circa pentagonale di 27 km di lunghezza in direzione Nord-Sud ed ampiezza massima di 31 km in direzione trasversale. Numerose sono le pubblicazioni relative all’AMI; si ricorda la tesi di dottorato di Franco Gianotti (su internet). In questo lavoro l’Autore ricorda anche a pag. 89 che “un geomorfologo tedesco scrisse, come introduzione al suo lavoro sull’AMI, che chi ha attraversato le Alpi, giunge per la prima volta nella zona di Ivrea, pensa di non avere mai visto delle vere morene prima” di certo alludendo alla grandiosità dell’AMI rispetto ad altri apparati morenici alpini.

È interessante ricordare alcuni passi dello studio di G. Orombelli (2007, pag. 9) relativo ai ghiacciai alpini: “Anche nella seconda metà dell’Olocene sono noti periodi nei quali i ghiacciai erano molto ridotti (anche più di ora, come nel caso dell’Aletsch intorno ai 3200-3400 anni fa e intorno a 2200-1900 anni fa). Chiaramente i ghiacciai alpini sono stati più volte anche più ridotti di quanto non siano attualmente, nei passati 10 mila anni, in condizioni naturali o, comunque pre-industriali...” Tutto ciò sbugiarda le affermazioni contenute nel libretto curato dal Ministero dell’Ambiente e Tutela del Territorio e dalla Società Meteorologica Italiana ove a pag. 13, nel paragrafo “Ghiacciai: in ritiro ovunque” si dice che i ghiacciai “mai sono stati ridotti come oggi da almeno 5000 anni”.

Accanto allo studio su base litologica sono stati condotti anche indagini paleontologiche, utilizzando i fossili contenuti nelle rocce, sia come “orologi” del tempo geologico per ricavare l’età delle rocce stesse, sia come indicatori climatici.

Così, ad esempio, l'inizio del Quaternario nelle successioni marine del bacino del Mediterraneo, oggi affioranti nelle nostre colline ai margini della catena appenninica, veniva riconosciuto sulla base della comparsa dei cosiddetti ospiti nordici, ossia di quelle forme marine migrate dall'Atlantico nel Mediterraneo a seguito del raffreddamento climatico.

Assai utili per la ricostruzione delle variazioni climatiche del passato sono i foraminiferi (organismi microscopici unicellulari), sia planctonici che bentonici contenuti nelle rocce, soprattutto argillose. Qualche esempio. Nel 1966 (Crescenti, 1966) pubblicò una nota sulle paleotemperature durante il Miocene nell'Appennino centro-meridionale. Sulla base della presenza o meno di *Globigerinoides gomitulus*, di Globorotalie non carenate (*Globorotalia premenardii*) o carenate (*Globorotalia menardii*), *Sphaeroidinella dehiscens* e altre forme, si mise in evidenza l'aumento di temperatura durante il Miocene medio e superiore. Infatti il *Globigerinoides gomitulus* presente in abbondanza nel Serravalliano è indicativo di acque fredde (Emiliani, Mayeda e Selli, 1961), la *Globorotalia premenardii* è indicativa di acque con temperature tra i 9 e i 17 °C, la *Globorotalia menardii* di acque tra i

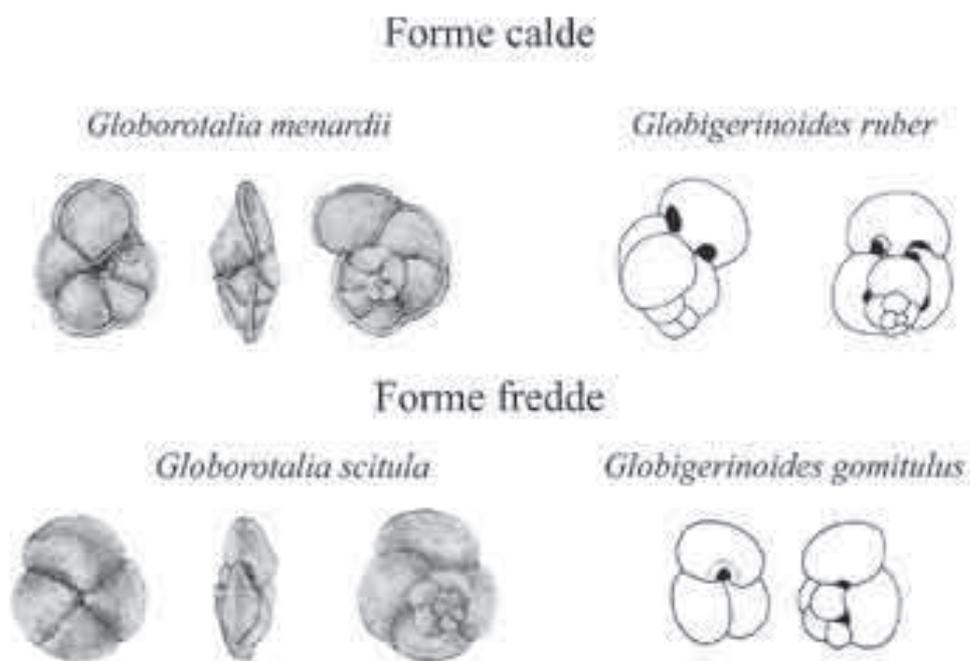


Fig. 4 – Alcune specie di foraminiferi planctonici indicatori di temperatura delle acque marine.

17 e 23 °C (Bandy, 1964). Infine la *Sphaerodinella debiscens* non vive al disotto di 23 °C (Bandy, 1964).

Più di recente Caruso et alii (2013) riferiscono sulla ricostruzione paleoclimatica degli ultimi 11.200 anni tramite lo studio di una carota prelevata nell'off-shore del golfo di Palermo della lunghezza di 196 cm. Gli Autori evidenziano il Periodo Caldo Medioevale e la Piccola Era Glaciale tramite la presenza di *Globigerinoides ruber* e *Globigerinoides quadrilobatus*, forme calde, e di *Globoquadrina pachyderma* e *Globorotalia scitula*, forme fredde.

Interessanti sono anche i risultati degli studi condotti sul contenuto in pollini di successioni lacustri continentali, come può osservarsi in fig. 5.

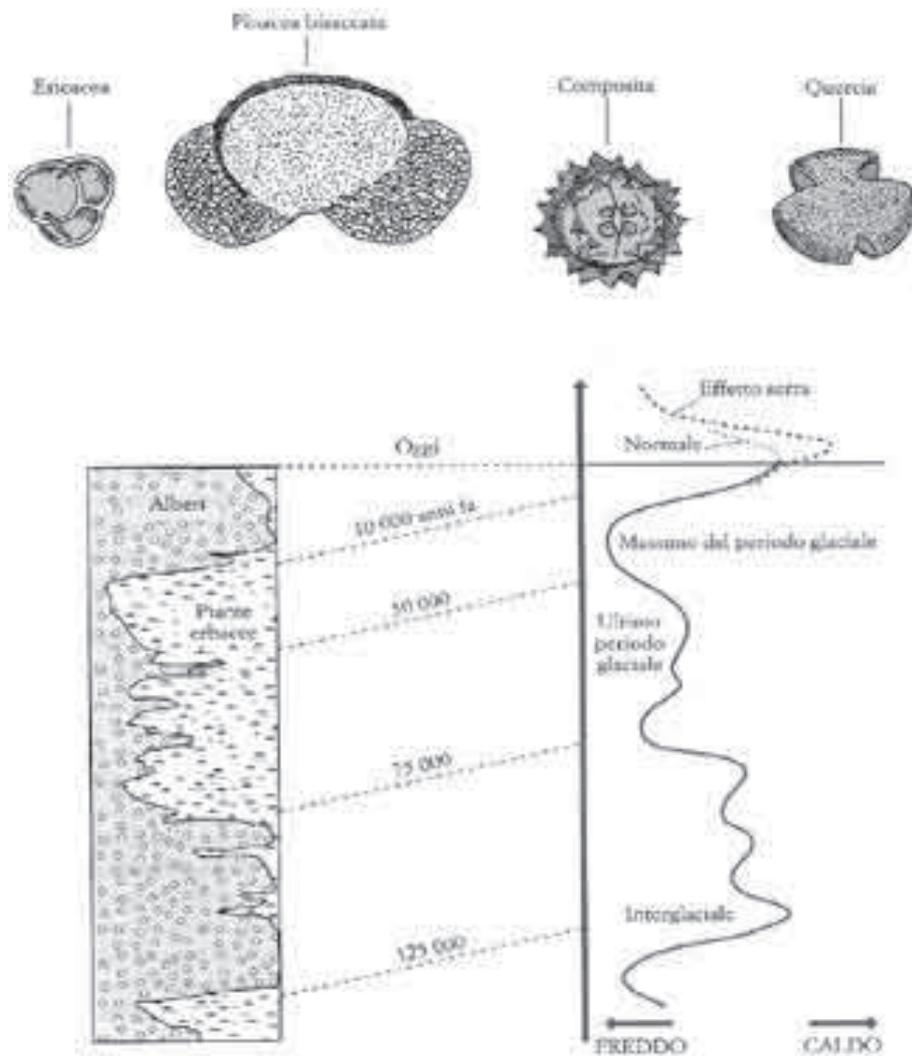


Fig. 5 – Una curva pollinica che registra le variazioni del clima sulla base della frequenza statistica dei vari tipi di vegetazione. (da Ricci-Lucchi, 1996)

In campo paleontologico, infine, desideriamo ricordare il contributo dello studio dei macrofossili, soprattutto mammiferi. Tra i numerosissimi studi ricordiamo la nota di Maria Rita Palumbo (2007). L'Autrice riferisce sui cambiamenti climatici verificatisi dal Pliocene medio al Pleistocene sulla base del rinvenimento di Mammiferi nei depositi argillosi del Villafranchiano dell'Italia centrale, con lo scopo di indagare sul "passato per capire il presente ed intuire il futuro".

Da pochi decenni, l'analisi litologica di particolari successioni di rocce, caratterizzate dalla alternanza di litologie differenti, ha fatto sviluppare la ciclostratigrafia, che consente di avere informazioni sulle variazioni climatiche del passato e del periodo durante il quale tali modificazioni si sono realizzate. Così, ad esempio, una successione costituita dall'alternanza ciclica di marne e argille con arenarie o calcari, è significativa di variazioni climatiche. Lo studio di questi cicli ha permesso di verificare che tali successioni sono controllate e quindi correlabili con i cicli di Milankovitch (fig. 6), e pertanto utilizzabili per riconoscere le variazioni climatiche.

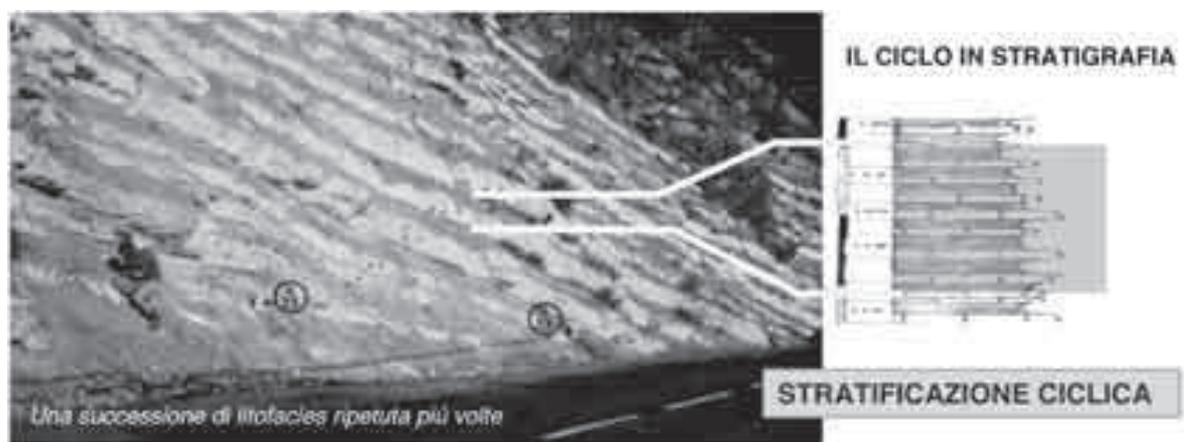


Fig. 6 – Sulla base della cronologia disponibile i cicli litostratigrafici osservati possono essere datati. Così è possibile verificare se i cicli sono compatibili con le ciclicità orbitali Ka migliaia di anni, che sono:

- cicli di eccentricità (400-100 Ka)
- cicli di obliquità (41 Ka) = cicli di Milankovitch
- ciclo di precessione (21 Ka)

I cicli orbitali condizionano e quindi controllano le variazioni climatiche; pertanto i cicli litostratigrafici possono essere correlati con il clima, e quindi utilizzati per avere informazioni sulle variazioni climatiche.

Anche le analisi mineralogiche delle sabbie sono state utilizzate per ricostruire le variazioni climatiche del passato. Un esempio è rappresentato dall'analisi di sabbie depositate nel litorale veneziano negli ultimi 30 mila anni.

La prevalenza dei silicati è indicativa di fasi fredde, quella dei carbonati di fasi calde (fig. 7).

Sul finire della prima metà del secolo scorso, la lettura delle rocce si è arricchita di una nuova metodologia che ha dato via via risultati sempre più brillanti. Si tratta delle analisi geochimiche degli isotopi, soprattutto ossigeno e carbonio, contenuti nelle rocce e nei gusci dei fossili (soprattutto microfossili) presenti nelle successioni sedimenta-

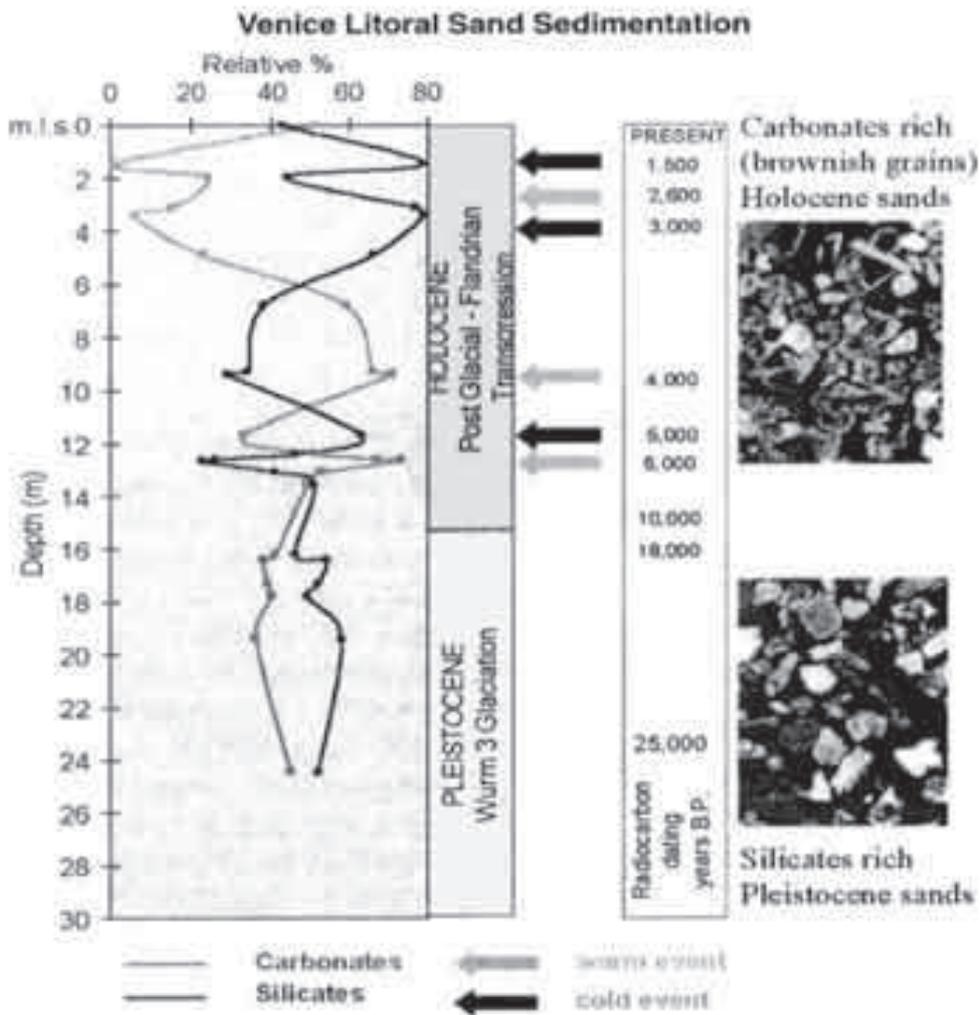


Fig. 7 – *Il litorale veneziano: variazione delle percentuali dei silicati e dei carbonati nei livelli di sabbia in relazione alle fluttuazioni paleoclimatiche.*
(da Bonardi e Tosi, 1999)

rie di origine marina. Il concetto alla base di questo metodo è che gli organismi utilizzano gli isotopi a disposizione durante la loro esistenza; così, ad es. possono utilizzare l' O_{18} o l' O_{16} a seconda della loro disponibilità. Poiché l' O_{18} è prevalente sull' O_{16} durante i periodi freddi e viceversa l' O_{16} prevale in quelli caldi, il rapporto O_{18}/O_{16} (indicato con $\delta^{18}O\%$) è indicativo delle variazioni di temperatura e quindi di quelle climatiche.

In fig. 8 è riportata la variazione del rapporto isotopico dell'ossigeno ricavata dallo studio di successioni marine depostesi in aree oceaniche negli ultimi 70 milioni di anni. Si può notare che dopo il massimo termico al passaggio Paleocene-Eocene (PETM), la temperatura è andata gradualmente diminuendo fino ai valori attuali. Il PETM è uno degli episodi di riscaldamento globale più intenso nella storia della Terra, avvenuto circa 55 milioni di anni fa. Durante tale episodio le temperature delle acque oceaniche sono aumentate ai Tropici di circa $5^{\circ}C$, e di circa $9^{\circ}C$ alle alte latitudini.

Dallo studio della variazione della composizione isotopica dell'Ossigeno contenuto nei gusci di microfossili (Foraminiferi bentonici) di sedimenti oceanici, sono state ricavate le variazioni climatiche a partire da 5 milioni di anni fa (fig. 9a) e da 2 milioni di anni fa (fig. 9b).

Lo studio condotto mediante perforazioni nelle calotte glaciali ha consentito di avere informazioni su intervalli di tempo più recenti. Nei ghiacciai sono conservati particelle di atmosfera imprigionata dalla neve e quindi dal ghiacciaio. Si tratta di veri e propri campioni di atmosfera fossile, su cui si eseguono le usuali analisi isotopiche.

La perforazione più profonda è quella effettuata nel ghiacciaio di Vostok (profondità raggiunta 2.632 m).

In fig. 10 è riportata la variazione delle temperature che si sono avute negli ultimi 900 mila anni. È interessante notare la notevole corrispondenza tra i risultati ottenuti con le analisi degli isotopi dell'ossigeno in sedimenti marini e quelli con gli isotopi dell'idrogeno contenuti nei ghiacciai antartici.

Il passaggio dagli stadi interglaciali (più caldi) ai minimi di temperatura avviene attraverso oscillazioni climatiche, mentre al contrario il passaggio dai minimi di temperatura a quelli massimi è più rapido e diretto, senza oscillazioni intermedie.

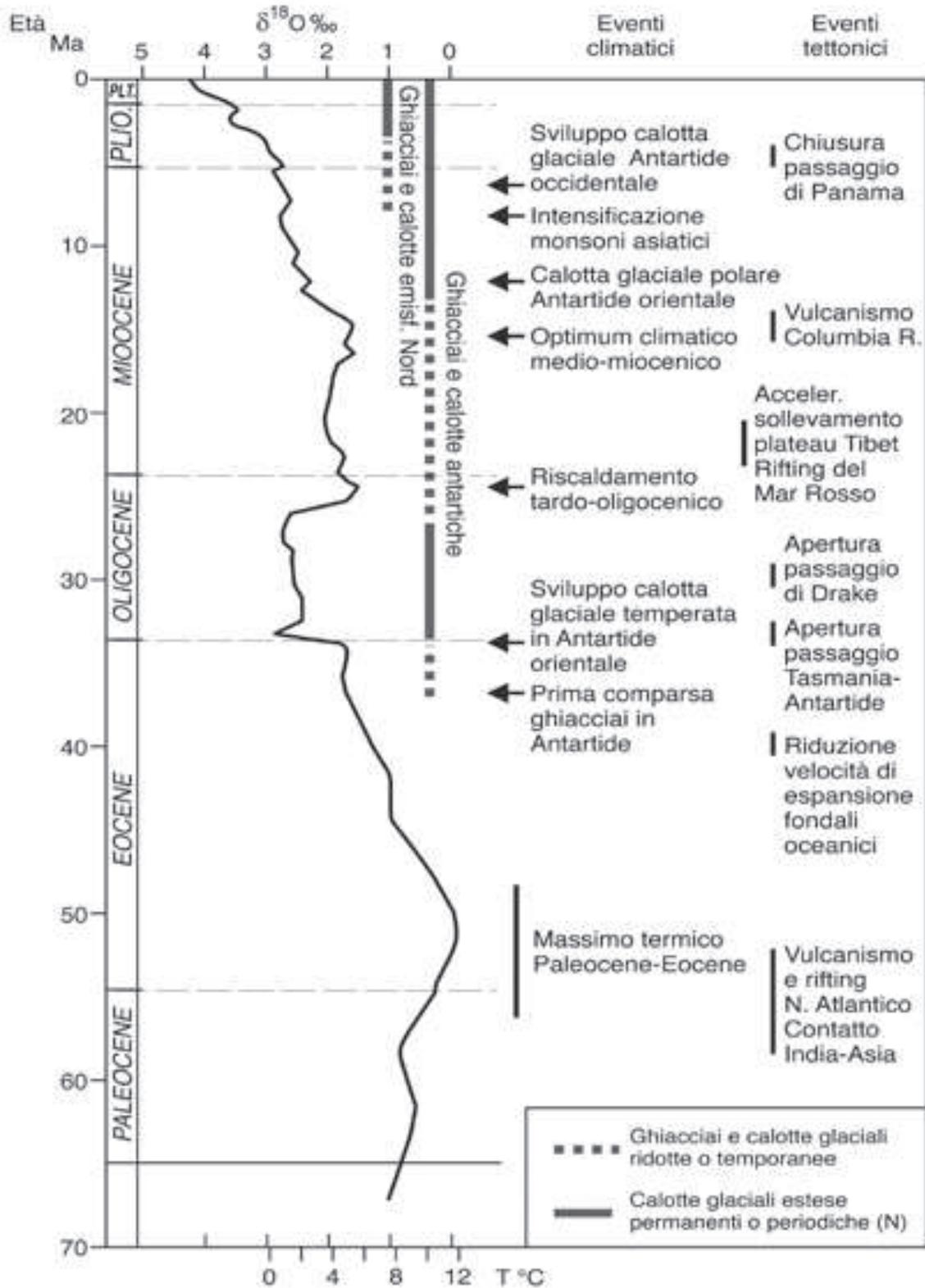


Fig. 8 – Variazione della composizione isotopica $\delta_{18}\text{O}$ delle acque oceaniche profonde negli ultimi 70 milioni di anni. (Zachos et alii 2001, in Orombelli 2005)

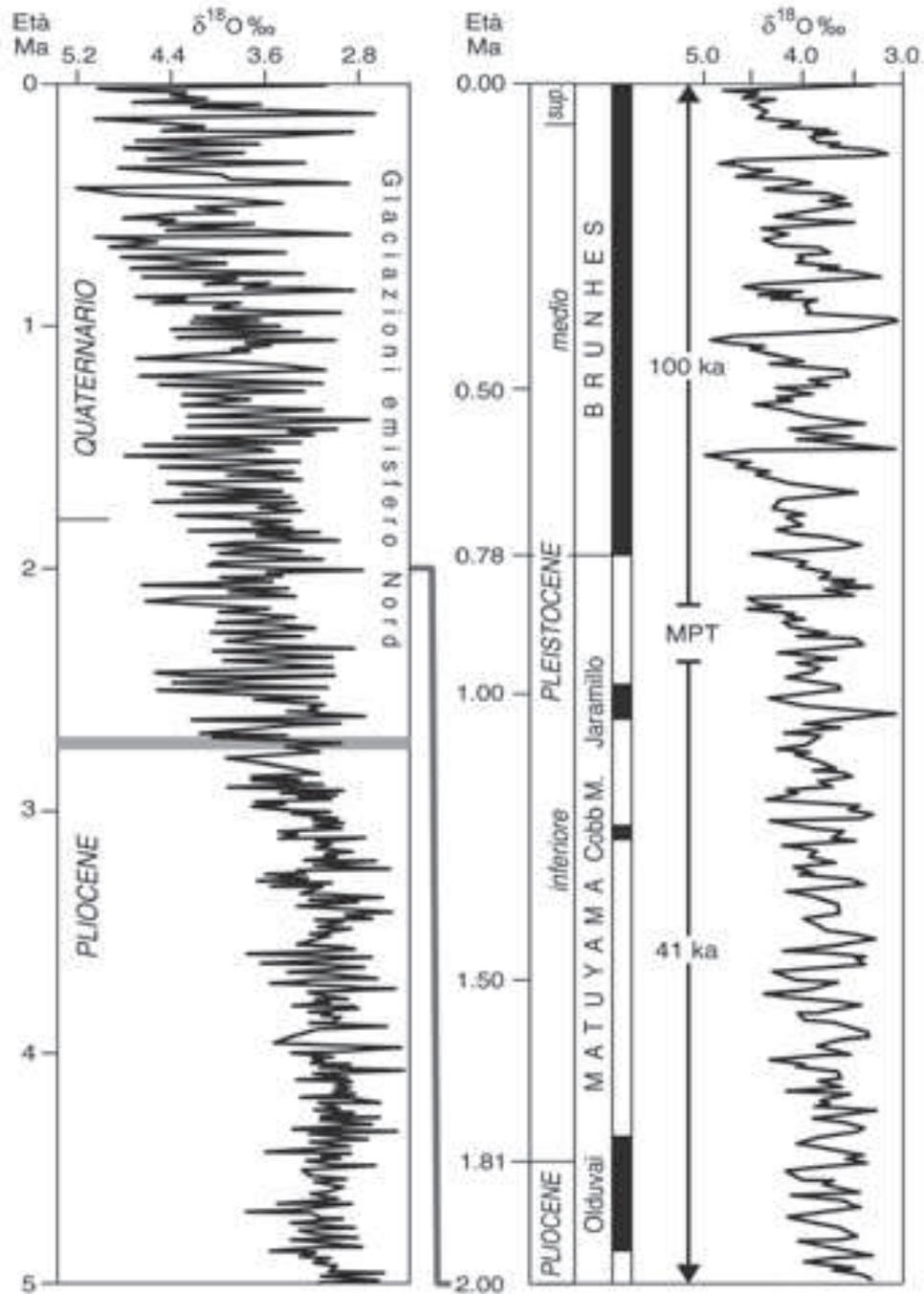


Fig. 9 – *Variazione della composizione isotopica dell'ossigeno nei Foraminiferi bentonici dei sedimenti oceanici (a - Atlantico equatoriale, b - Pacifico equatoriale), espressione delle variazioni del volume totale dei ghiacciai e, di converso, delle variazioni glacio-eustatiche del livello del mare. (da Orombelli, 2005). (a) – Il cambiamento che si osserva intorno ai 2.7 Milioni di anni è attribuito allo sviluppo delle glaciazioni nell'emisfero Nord. (b) – Da una ciclicità di 41 mila anni si passa, intorno intorno a 900 mila anni (MPT) ad una ciclicità di 100 mila anni.*

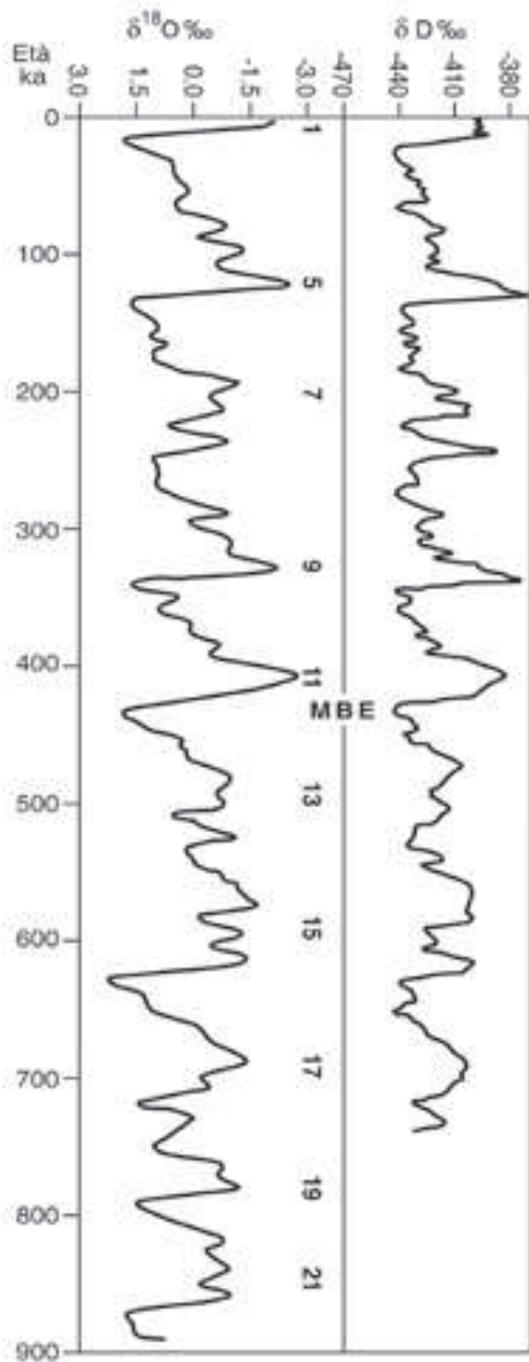


Fig. 10 – *Variazione della composizione isotopica dell'idrogeno δD ottenuta dalla perforazione profonda nei ghiacciai antartici EPICA Dome C, a confronto con la curva isotopica marina dell'ossigeno $\delta^{18}O$ ‰ relativa all'Oceano Meridionale. Sono numerati i picchi degli stadi isotopici interglaciali. (da Orombelli, 2005)*

La fig. 11, desunta dalle analisi sui ghiacci della perforazione di Vostok, mostra le curve paleoclimatiche e paleoatmosferiche degli ultimi 400 mila anni. Notare la buona corrispondenza dei risultati ottenuti con l'analisi del metano, dell'anidride carbonica e dell'ossigeno. Le fasi calde sono di durata minore, circa 10-12 mila anni, rispetto a quelle fredde di durata pari a circa 90 mila anni.

Le variazioni climatiche per periodi più vicini a noi, sono riportate nella fig. 12. In fig. 12a si può osservare l'inizio dell'Olocene, a partire

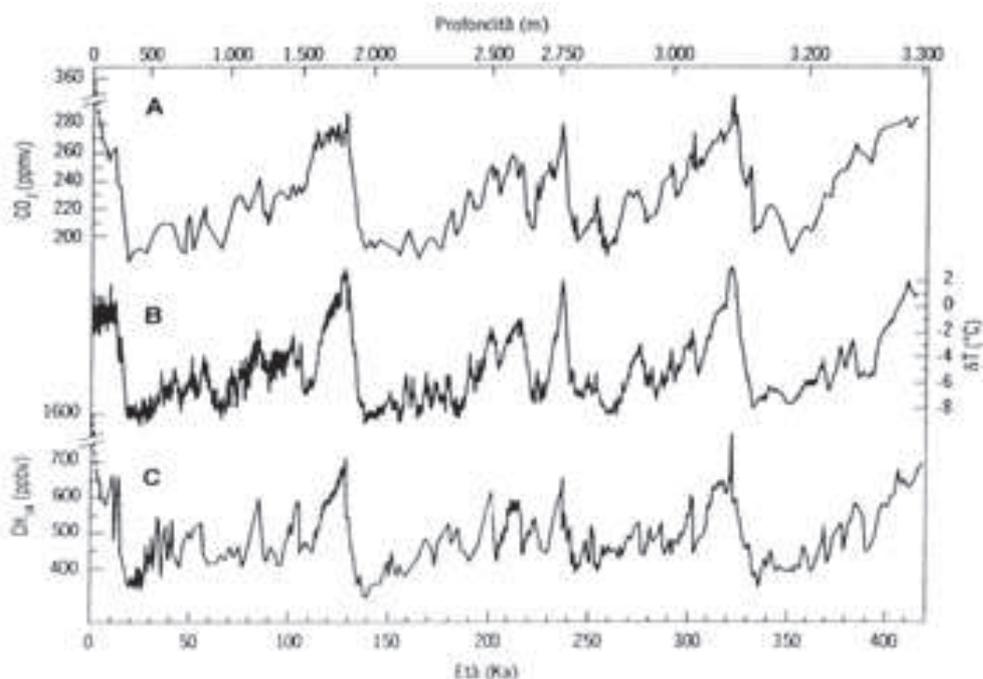


Fig. 11 – Curve paleoclimatiche e paleoatmosferiche ottenute dalla perforazione del ghiacciaio di Vostok, Antartide, fino alla profondità di 2.632 m, che rappresenta la massima profondità finora raggiunta. (da Orombelli, 2000)

da circa 11.500 anni fa ad oggi, che viene a corrispondere alla più recente fase calda dopo i circa 90 mila anni di temperatura più fredda. Se il nostro Pianeta si dovesse comportare come negli ultimi 400 mila anni, dopo la fase calda olocenica in via di conclusione, si dovrebbe passare ad una nuova fase fredda.

In tal caso, il cosiddetto effetto-serra potrebbe mitigare gli inconvenienti di un raffreddamento globale del nostro Pianeta (Camuffo, 1995 pag. 171, Ricci Lucchi 1996, pag. 254).

La fig. 12b ci mostra la variazione climatica durante l'Olocene. Dopo condizioni circa stabili tra 9.000 e 6 – 5.000 anni fa, si ha un graduale declino della temperatura fino al presente.

Tra le notizie di maggiore impatto sulla popolazione, l'aumento del livello del mare è certamente la più preoccupante. Si sostiene, infatti, che a causa dello scioglimento delle calotte glaciali e dei ghiacciai dovuto all'aumento della temperatura globale, il livello del mare crescerà in maniera distruttiva, con scenari di catastrofismo che generano emotivamente preoccupazioni. Anche in questo caso dobbiamo constatare che non si tiene conto della storia del nostro Pianeta.

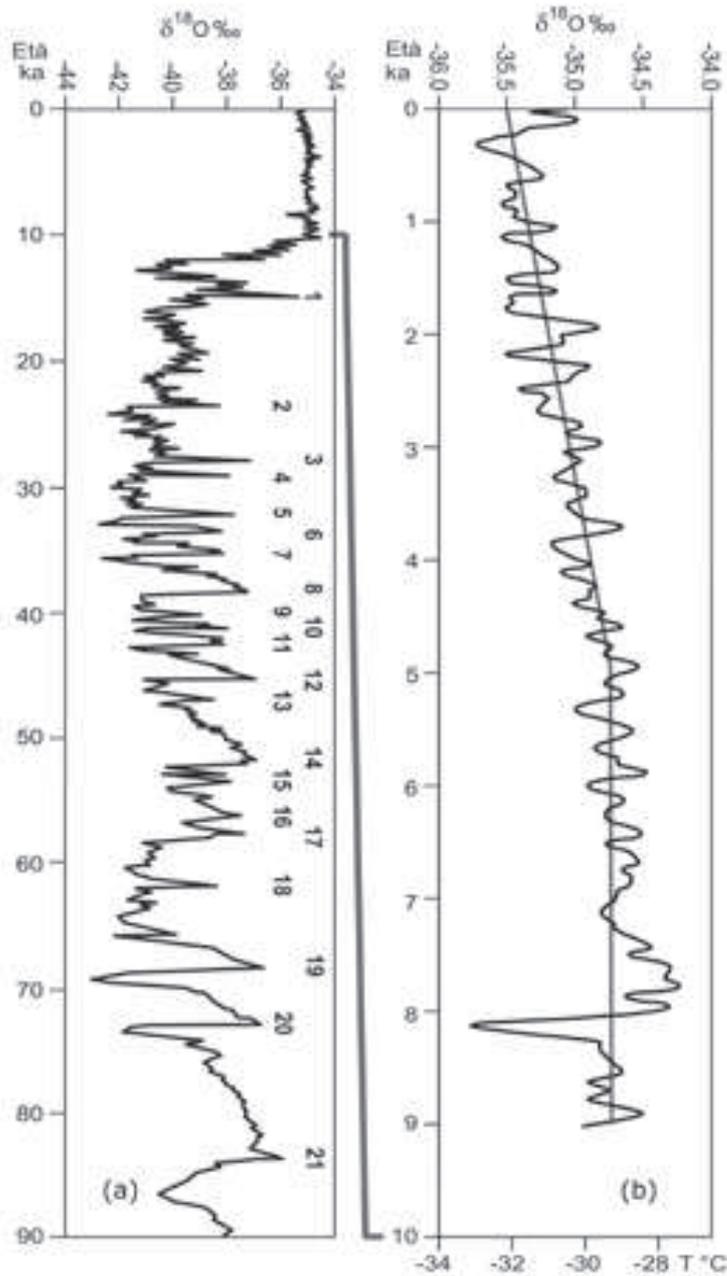


Fig. 12 – *Variazione delle curve isotopiche dell'ossigeno $\delta^{18}\text{O}$ ottenute dalle perforazioni in ghiaccio (GISP2) in Groenlandia, per gli ultimi 90.000 anni, in ghiacciaio North GRIP, per gli ultimi 9.000 anni. (da Orombelli, 2005)*

*Notare: a) La variabilità climatica ad elevata frequenza particolarmente accentuata tra 75 e 25 mila anni fa; le escursioni termiche hanno un'ampiezza stimata in 12-15 °C, durata da uno a pochi millenni, delimitate da transizioni rapide che si realizzano in pochi secoli/decenni
b) Il breve periodo freddo a 8200 anni fa, le condizioni termiche circa stabili tra 8500 e 5000 anni fa, il graduale declino della temperatura da 5000 anni al presente, la maggiore ampiezza delle variazioni negli ultimi 2500 anni*

Circa 200 mila anni fa (Blanc 1942, Vai e Cantelli 2004) il livello del Mediterraneo centrale era circa 120-140 metri più basso dell'attuale. Tra 20 mila e 10 mila anni fa il mare risalì di circa 100 metri per portarsi durante i successivi 5-6 mila anni circa al livello attuale, rimasto successivamente più o meno stabile. La maggiore risalita del livello marino, tra 20 e 10 mila anni fa, è avvenuta principalmente in piena fase fredda che ha preceduto il caldo olocenico. Questo dimostra che

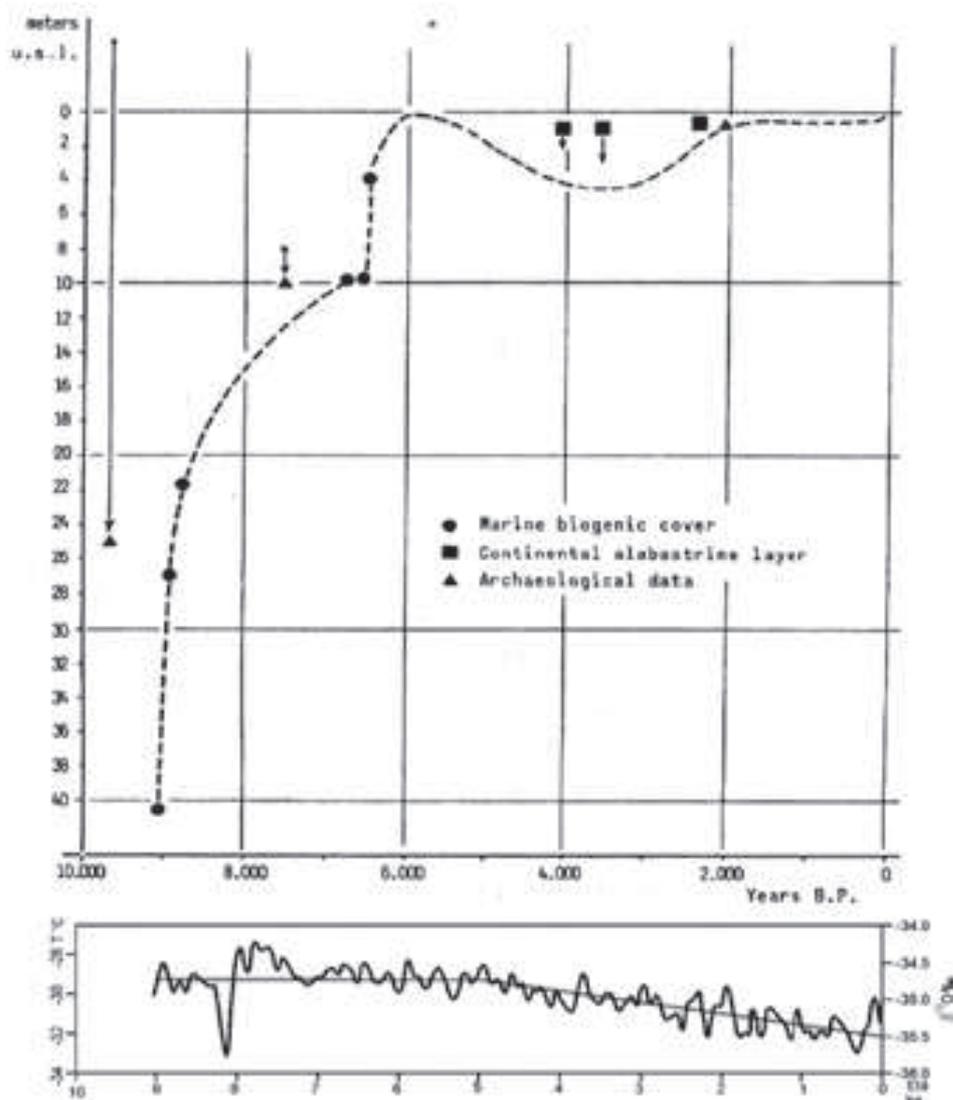


Fig. 13 – Curva di risalita del livello del mare da 9.000 anni BP ad oggi da Alessio et alii, 1994. Nella figura vengono comparati dati provenienti da: reperti archeologici sommersi, datazioni su concrezioni marine, datazioni su speleotemi. Le frecce sotto il dato proveniente dalla datazione della punta di speleotemi, indicano l'effettivo livello del mare (almeno un paio di metri al di sotto di tempeste e maree. (da Antonioli e Ferranti, 1996)

la variazione del livello marino dipende anche da cause di difficile individuazione come, ad esempio, le possibili modifiche della litosfera (parte più superficiale del nostro Pianeta dello spessore variabile da alcuni a circa 10 km) che si trova in condizioni di galleggiamento sulla sottostante astenosfera.

Le figg. 13-14 si riferiscono invece alle variazioni eustatiche del mare Adriatico. Si può notare che fino a circa 6.000 anni fa il tasso di risalita del mare è stato di circa 1,5 mm/anno (circa 15 cm per secolo). Ammesso che tale risalita dovesse continuare nei prossimi anni, appare del tutto fantasioso ipotizzare il mare in Piazza Duomo a Milano nei prossimi 50 anni. Anche se tale risalita dovesse invece essere pari a quella del periodo precedente ai 6.000 anni è molto difficile confermare tali previsioni catastrofiche, dannose ma emotivamente affascinanti. Tra l'altro, le previsioni di un significativo innalzamento del livello marino non trovano conferma nei dati mareografici, che evidenziano al contrario la sostanziale stabilità a partire dagli anni '70. Anche se negli ultimi anni si sono moltiplicati gli allarmi sulla possibilità che dopo il 2000 gran parte del territorio costiero da Ravenna a

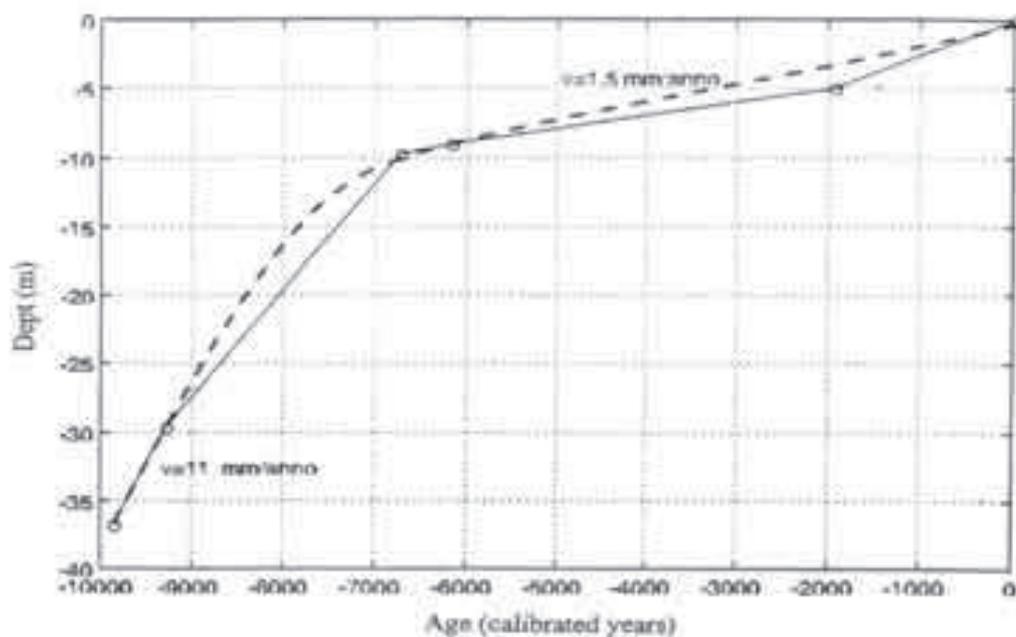


Fig. 14 – *Curva di risalita del livello del mare negli ultimi 10000 anni nell'area padano-adriatica. La curva è stata ottenuta a partire dalle date calibrate di due campioni di torba prelevati in Adriatico, ed un guscio di Cerastoderma prelevato a Conselice (da Preti, 1999).*

Venezia finisca sott'acqua, si può ragionevolmente affermare che questi allarmismi sono in buona misura esagerati (Preti, 1999).

Negli ultimi decenni, la variazione dei cambiamenti climatici si è arricchita di una nuova metodologia; si tratta di analisi stratigrafiche di successioni molto recenti depostesi in aree archeologiche. Si è così affermata la geo-archeologia che ha consentito di avere informazioni relative agli ultimi 2.500 – 3.000 anni.

Depositi di origine alluvionale che seppelliscono reperti archeologici sono significativi di periodi freddo-umidi; depositi di sabbie eoliche al contrario sono indicativi di periodi caldi. Così, ad es. la fig. 15 illustra la stratigrafia del sito archeologico di Velia, nel Cilento (Salerno). Si rilevano reperti archeologici databili storicamente, sia al di sotto di depositi alluvionali, sia di depositi sabbiosi. Ciò è testimonianza dell'alternanza di periodi freddi e periodi caldi.

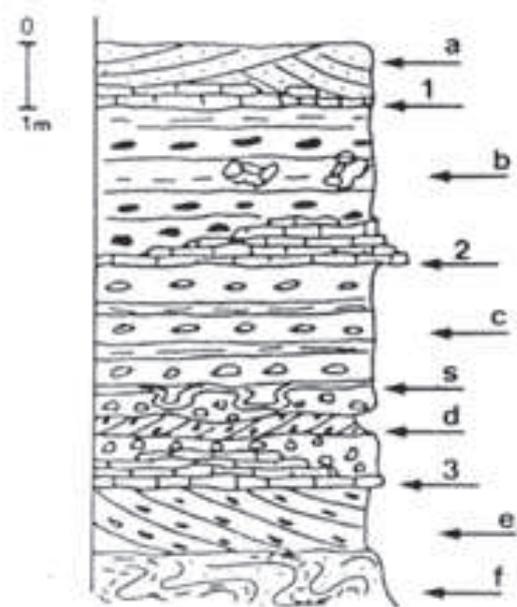


Fig. 15 – *Colonna stratigrafica geoarcheologica di Velia, nel Cilento.*
(da Ortolani e Pagliuca, 1995)

a = sabbie dunari della crisi ambientale dell'XI-XIV sec. d.C.; **1** = manufatti di epoca bizantina; **b** = sedimenti alluvionali della crisi ambientale del V-VII sec. d.C.; **2** = manufatti del IV sec. a.C.; **c** = sedimenti alluvionali accumulatisi in 130 anni durante la crisi ambientale del VI-IV sec. a.C. includenti sismiti (**s**) e sabbie di tempesta (**d**); **3** = manufatti del VI sec. a.C.; **e** = sabbie di spiaggia emersa-duna pre-insediamento greco; **h** = argille, marne, arenarie del substrato.

Ad analoghi risultati Ortolani e Pagliuca (1995) sono pervenuti analizzando la stratigrafia archeologica di Selinunte (fig. 16), e di numerose altre località costiere del bacino del Mediterraneo (fig. 17). Sulla base dei risultati ottenuti sono stati riconosciuti i periodi freddo-umidi e caldo-aridi riportati in tabella 1.

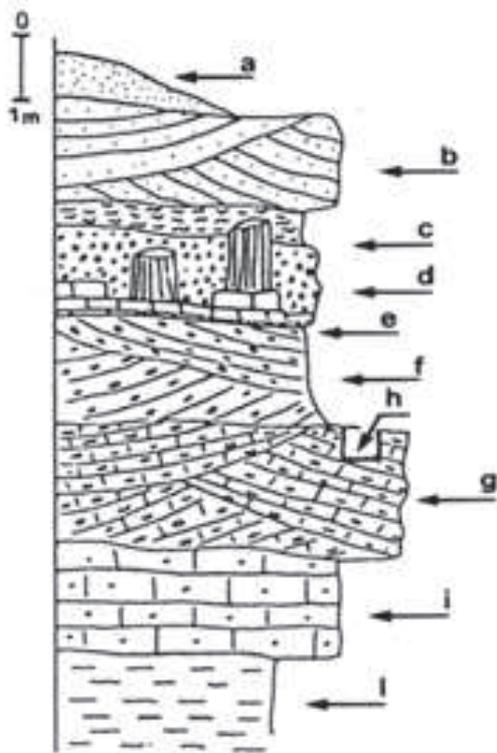


Fig. 16 – Colonna stratigrafica geoarcheologica di Selinunte. (da Ortolani e Pagliuca, 1995)

- a** = sabbie dunari attuali; **b** = sabbie dunari medievali dell'XI-XIV sec. d.C.;
- c** = paleosuolo includente manufatti "arabi";
- d** = sabbie dunari del II-IV sec. d.C.;
- e** = manufatti del III sec. a.C.;
- f** = sabbie dunari pre-VII sec. d.C.;
- g** = sabbie dunari cementate oloceniche;
- h** = necropoli di Timpone Nero;
- i** = calcareniti del Pleistocene inferiore;
- l** = argille del Pleistocene inferiore.

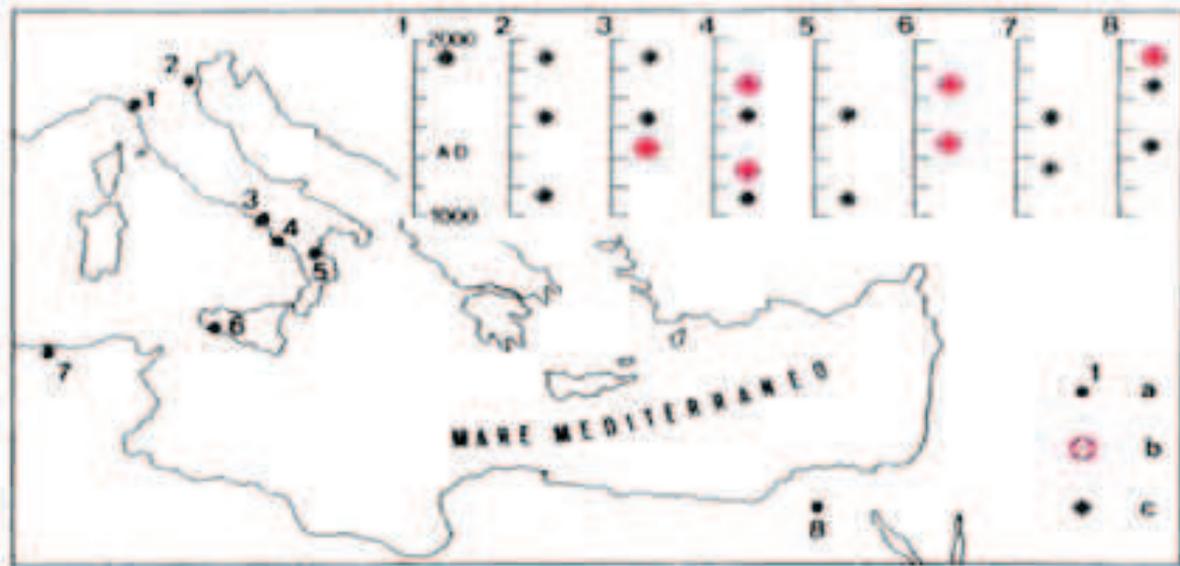


Fig. 17 – Ubicazione sezioni geoarcheologiche nel bacino del Mediterraneo tra i 30° e 45° di latitudine N, tra aree desertiche a sud ed aree con ghiacciai a nord (da Ortolani e Pagliuca, 1994); sono indicate le crisi ambientali registrate negli ultimi 2500 anni.

In legenda: **a** = ubicazione dei siti (1=foce del F. Arno; 2=Pianura Padana; 3=Piana Campana; 4=Velia; 5=Sibari; 6=Selinunte; 7=Nord Africa; 8=Valle del F. Nilo); **b** = crisi caldo-arida; **c** = crisi freddo-umida

TABELLA 1 - Durante i periodi freddo-umidi nelle vaste pianure costiere si è avuto ripetutamente un improvviso e consistente accumulo di sedimenti alluvionali che hanno spesso ricoperto insediamenti urbani. Durante i periodi caldo-aridi si ha la desertificazione di aree costiere del Mediterraneo, e l'accumulo di notevoli volumi di sabbie eoliche.

PERIODI FREDDO-UMIDI	
1500 - 1850 circa	PICCOLA ETA' GLACIALE
500 - 700 d.C. circa	PICCOLA ETA' GLACIALE ALTO MEDIEVALE
520 – 350 a.C. circa	PICCOLA ETA' GLACIALE ARCAICA
PERIODI CALDO-ARIDI	
1100 – 1270 circa	MEDIOEVO (Periodo caldo medievale) EFFETTO SERRA MEDIEVALE
100 (150) – 350 d.C. circa	ETA' ROMANA EFFETTO SERRA ROMANO

Nella fig. 18 è riportata la correlazione stratigrafica di successioni geo-archeologiche studiate nel nostro Paese.

Le variazioni climatiche così documentate hanno inciso sullo sviluppo socio-economico dei popoli vissuti lungo le fasce di confine tra zone climatiche diverse, ove si sono instaurate condizioni ambientali che a volte erano migliori e a volte peggiori rispetto a quelle stabilitesi in precedenza.

Interessante è la ricostruzione delle variazioni climatiche documentate da Ortolani e PAgliuca (2001) nell'area mediterranea (fig. 19). Si può così notare il succedersi ciclico di periodi freddi a periodi caldi e viceversa; il passaggio da un periodo all'altro avviene attraverso una fase di transizione della durata di circa 100-150 anni. Attualmente, dopo la piccola età glaciale conclusasi attorno al 1850, siamo alla fine del periodo di transizione che naturalmente evolve verso un

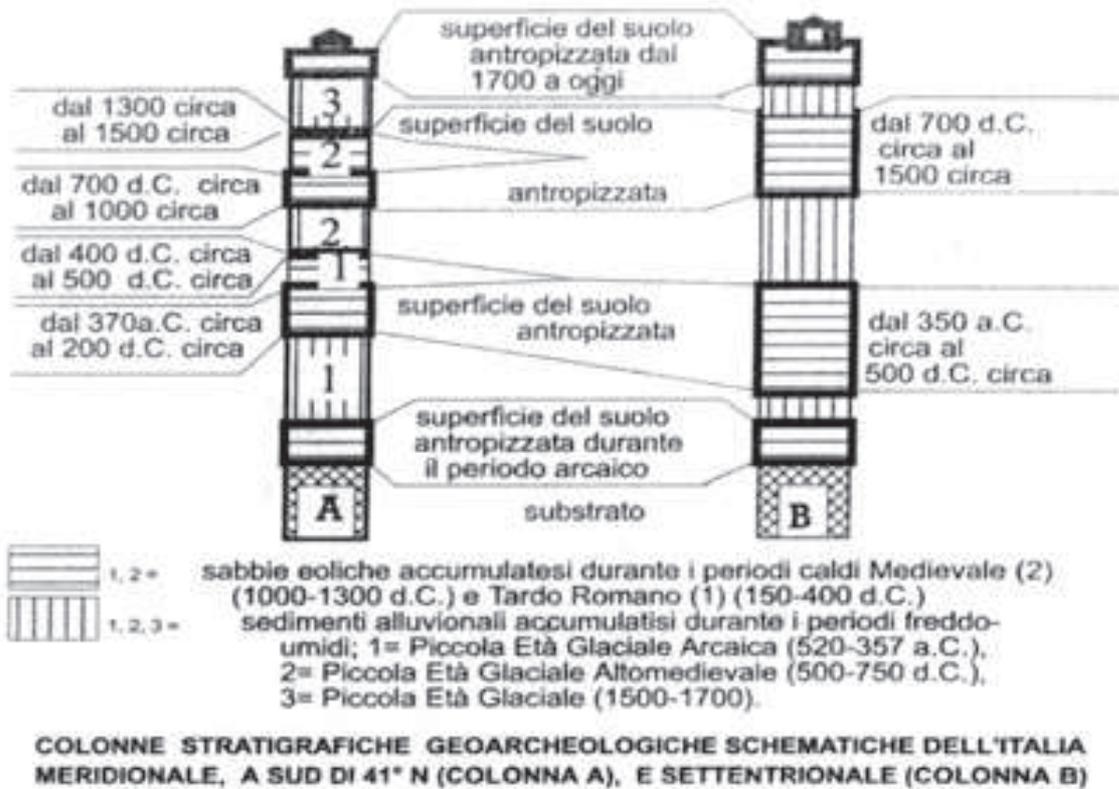


Fig. 18 – *Correlazione delle colonne stratigrafiche relative ai sedimenti degli ultimi 2500 anni della parte meridionale e settentrionale dell'Italia.*
(da Ortolani e Pagliuca 2001)

Si può osservare che le fasi caldo-aride e quelle freddo-umide si sono alternate ciclicamente con durata di circa 150-200 anni.

periodo caldo (prossimo effetto serra). È importante notare la parola “naturalmente” perché il cosiddetto effetto serra attuale deve essere interpretato e correttamente attribuito a cause naturali e non solo antropiche.

Le ricostruzioni paleoclimatiche ottenute per gli ultimi 3.000 anni con la geo-archeologia sono state confrontate (Ortolani e Pagliuca, 1994) con l'attività dei ghiacciai, con la curva del rapporto isotopico dell'Ossigeno O_{18}/O_{16} , con le fonti letterarie. Si sono ottenute buone corrispondenze dei risultati conseguiti con le differenti metodologie.

Un esempio di tale affermazione può ricavarsi dalla fig. 20.

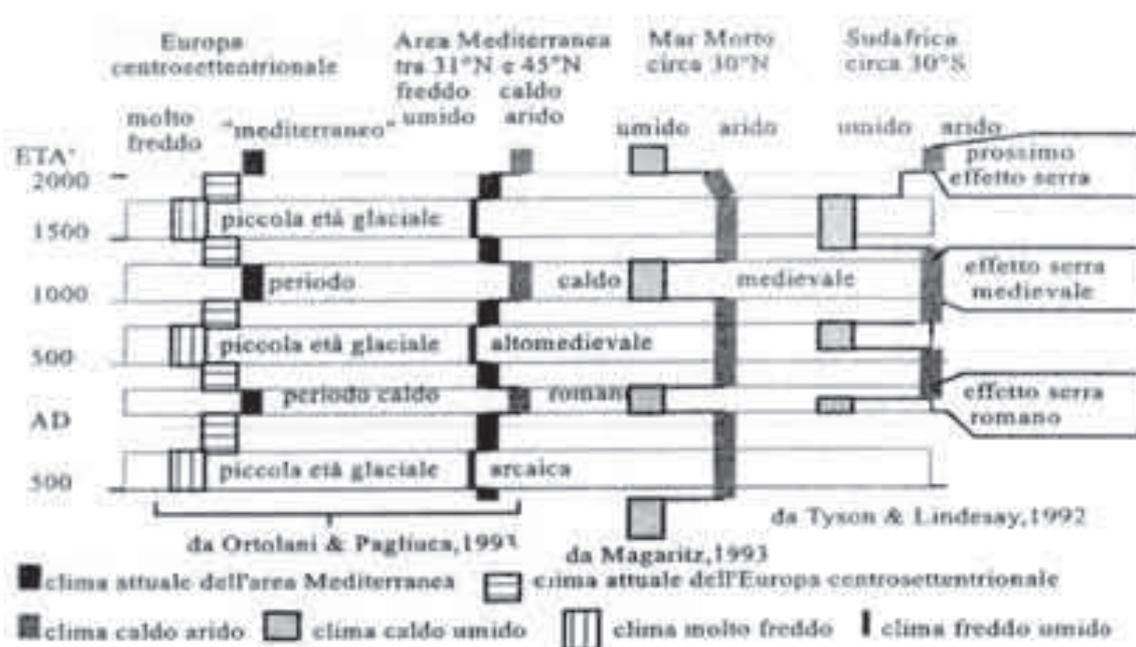


Fig. 19 – *Variazioni climatiche ambientali del periodo storico e previsione per il futuro lungo il transetto EUROPA SETTENTRIONALE – AREA MEDITERRANEA – SUDAFRICA (Ortolani e Pagliuca, 2001)*

Conclusioni

La storia del nostro Pianeta a partire dalla sua “nascita” (4.5 – 5 miliardi di anni fa) è registrata nell’immenso archivio naturale costituito dalle successioni rocciose.

La lettura di questa storia ci documenta che il clima è sempre modificato; le variazioni climatiche sono avvenute ciclicamente, con il succedersi di periodi caldi e periodi freddi. I cicli non hanno avuto durata ed ampiezza omogenea.

Le variazioni climatiche sono state documentate dall’analisi stratigrafica delle successioni rocciose, del loro contenuto in fossili, della CO₂ e degli isotopi dell’Ossigeno contenuti nelle rocce stesse e nelle calotte glaciali, della geoarcheologia.

I risultati conseguiti con le varie metodologie sono tra loro coerenti e pertanto si confermano a vicenda.

Le variazioni di temperatura nel corso dei tempi geologici sono state sempre accompagnate dalle variazioni del tenore di metano e di

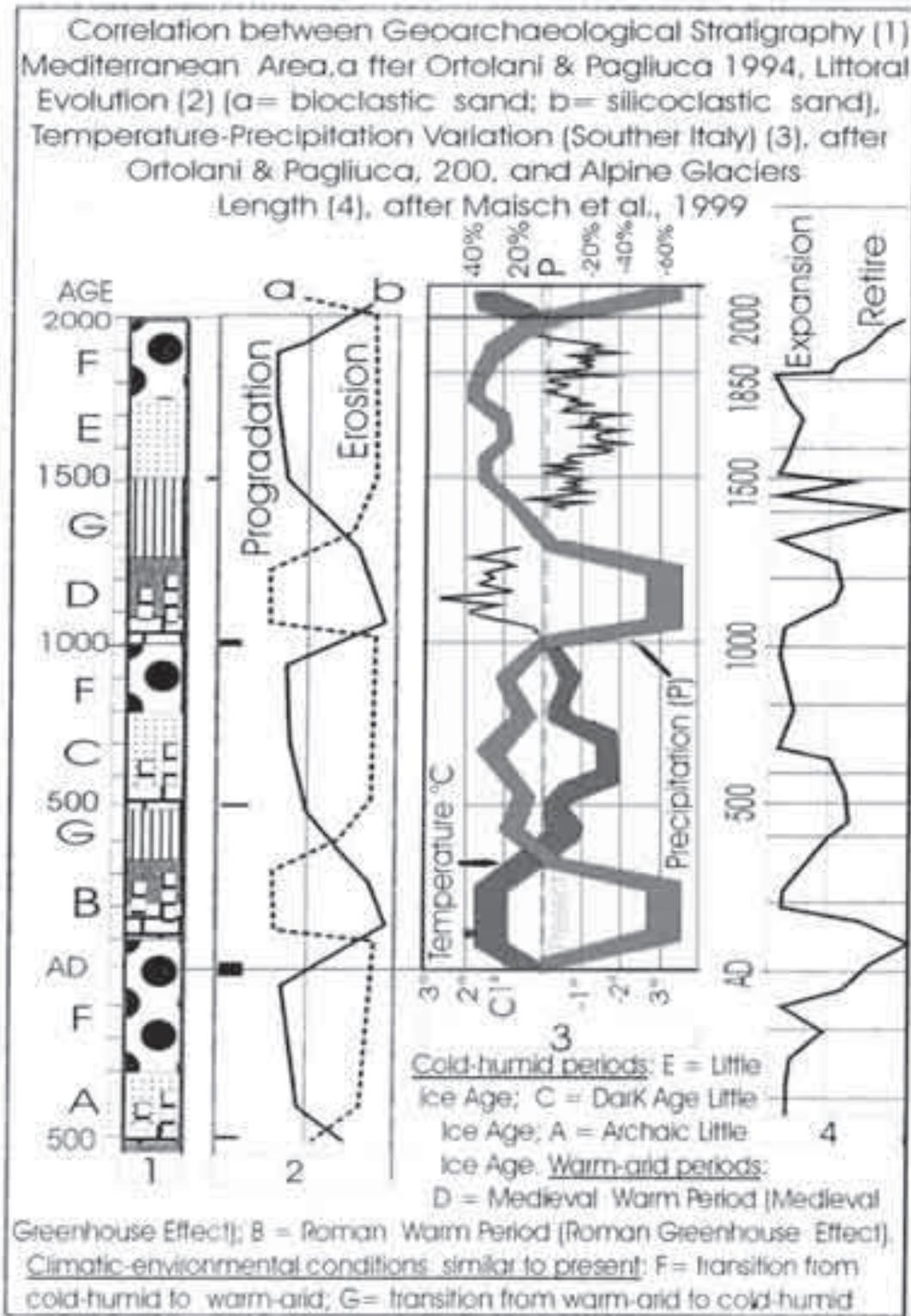


Fig. 20 – Correlazione tra l'evoluzione paleoambientale (stratigrafia geoarcheologica, temperature e precipitazioni) e le modificazioni dei litorali con sabbia silicoclastica e bioclastica e i ghiacciai alpini della Svizzera. (da Ortolani e Pagliuca, 2004)

CO₂ nell'atmosfera che hanno probabilmente amplificato gli effetti prodotti dalle cause astronomiche.

Nel Quaternario (da 1.81 milioni di anni fa) i periodi freddi sono stati di durata nettamente maggiore di quelli caldi. In particolare, negli ultimi 400 mila anni le fasi fredde hanno avuto una durata di circa 90'000 anni, quelle calde di circa 10'000 anni. Attualmente, con l'Olocene (fase calda iniziata da circa 11.5 mila anni) si dovrebbe andare verso una fase fredda. In questo caso l'effetto serra potrebbe mitigare il raffreddamento.

La risalita del livello marino durante l'Olocene è avvenuta senza apprezzabili variazioni della temperatura. Il tasso di risalita (almeno nei mari italiani) è variato da 1.3 a 1 cm/anno nella fase di massima risalita (fino a circa 6'000 anni) poi molto minore da 1 a 1.5 mm/anno o addirittura nullo.

Durante l'Olocene sono state messe in evidenza variazioni climatiche a elevata frequenza. Le fluttuazioni glaciali hanno messo in evidenza fasi di espansione e di contrazione più volte ripetutesi, di durata da plurisecolare a pluridecennale. Tra le fasi di avanzata è particolarmente conosciuta la Piccola Età Glaciale che ha interessato i due emisferi tra il 16° e il 19° secolo.

Eventi climatici grandiosi durante l'Olocene sono stati, ad esempio, la desertificazione del Sahara, ed anche le crisi di siccità circoscritte, nel tempo e nello spazio, o fasi fredde ed umide che hanno interferito con la storia delle società umane, anche in modo grave.

Le modificazioni climatico-ambientali documentate negli ultimi 2'500 anni si sono succedute ciclicamente. Così, le modificazioni tipo "Effetto Serra" si sono già verificate con durata di circa 150-200 anni, *"determinando differenti condizioni ambientali, favorevoli o sfavorevoli alle attività antropiche, in relazione alle latitudini. Il periodo attuale rappresenterebbe la transizione climatica tra la Piccola Età Glaciale ed il prossimo Effetto Serra che ciclicamente e naturalmente si sarebbe instaurato anche senza produzione di gas antropogenici ... La limitazione del dibattito istituzionale internazionale alla sola possibilità di ridurre l'immissione di gas nell'atmosfera, individuando in tale prospettiva ... la unica possibilità di "salvare" il pianeta dagli effetti nocivi della modificazione climatica, appare scarsamente sostenuta scientificamente"* (Ortolani e Pagliuca, 2001)

Ogni previsione sull'andamento futuro del clima del nostro Pianeta è del tutto aleatoria: non si può valutare in quale misura l'attività antropica possa incidere sulle variazioni climatiche future del nostro pianeta.

Opere citate

Antonioli F., Ferranti L., 1996 – *La risalita del livello del mare Tirrenico nel corso dell'Olocene. Cinquanta anni di ricerche*. Mem. Soc. Geol. It., v. 51, fasc. 1, pp. 93-99, 2 Figg., 1 tab.

Bandy O.L., 1964 – *Cenozoic foraminiferal zonation*. Micropaleontology, vol 10, n-1, New York.

Biserni G., Berendsen J.A., Sandrelli F., 2005 – *Holocene evolution of the Ombrone alluvial plain (Tuscany, Central Italy)*. Boll. Soc. Geol., v. 124(2), pp 465-474, 6 Figg., 3 tabb.

Bonardi M., Tosi L., 1999 – *Cicli sedimentari e variazioni paleoclimatiche in ambienti costieri*. Le Pianure, atti convegno Ferrara 8-11 novembre 1999.

Camuffo D., 1990- *Clima e uomo*. Ed. Garzanti.

Caruso A., Bonfadeci A., Cosentino C., Scopelliti G., Sulli A., 2013 – *Ricostruzione paleoclimatica degli ultimi 11200 anni tramite lo studio di una carota di sedimento prelevata nell'offshore del Golfo di Palermo (Tirreno meridionale. Atti Convegno Aiqua 3013.)*

Crescenti U., 1966 – *Osservazioni sulle paleotemperature mioceniche nell'Appennino centro-meridionale mediante i foraminiferi planctonici*. Bollettino Società dei Naturalisti in Napoli, vol. LXXV, pp.1-7.

Crescenti U., 2008 – *Il riscaldamento globale del pianeta terra: riflessioni di un geologo*. In U. Crescenti-L. Mariani: *Cambiamenti climatici e conoscenza scientifica*. 21mo Secolo

Cerutti A.V., 2012 – *Storia del clima in valle D'Aosta*. Atti Convegno "Clima, quale futuro?", Chieti 12 giugno 2012, 21 Secolo ed., pp. 27-52.

- Emiliani C., Mayeda T., Selli R., 1961 – *Paleotemperature Analysis of the Plio-Pleistocene Section at Le Castella, Calabria, Southern Italy*. Geological Society of American Bulletin, vol. 72(5), pp. 679-688, 2 figg., Miami
- Gianotti F., 2007 – *L'Anfiteatro morenico di Ivrea*. Internet., pp.142.
- Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K., 1999 – *Northen Hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations*. Geophysical Research Letters 26, pp. 759-762.
- Orombelli G., 2000 – *Le Scienze della Terra: una chiave di lettura nel mondo in cui viviamo*. Ist. Lombardo di Scienze e Lettere, pp. 135-150, 3 figg.
- Orombelli G., 2005 – *Cambiamenti climatici*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. Suppl. VII (2005), pp 35-44, 3 figg
- Orombelli G., 2007 – *Le variazioni dei ghiacciai alpini negli ultimi 10 mila anni*. Quaderni di Geologia della Società Geologia Italiana, n.1, marzo 2007, pp. 5-12.
- Ortolani F., Pagliuca S., 1994 – *Variazioni climatiche e crisi dell'ambiente antropizzato*. Il Quaternario, v. 7(1), pp. 351-356, 6 figg.
- Ortolani F., Pagliuca S., 1995 – *Climatic variations and crises in the anthropized environment in the Mediterranean region*. Proc. Geosciences & Archaeology Seminar, Special Publication n. 70, pp 113-126, 10 figg.
- Ortolani F., Pagliuca S., 2000 – *Modificazioni geoambientali cicliche verificate negli ultimi millenni nell'Area Mediterranea e previsione dell'impatto sull'ambiente antropizzato del prossimo "effetto serra"*. IGBP 2000, CNR, Atti Workshop su Global Change.
- Ortolani F., Pagliuca S., 2001 – *Le variazioni climatiche storiche e la prevedibilità delle Modificazioni relative all'effetto serra*. Atti Giornata di studio AIN 2001, Roma 12 marzo 2001.
- Ortolani F., Pagliuca S., 2004 – *Il clima mediterraneo: modificazioni cicliche degli ultimi millenni e previsioni per il prossimo futuro*. Atti Convegni Lincei 204, pp. 215-225, 8 figg
- Palumbo M.R., 2007 – *Cambiamenti climatici e rinnovi faunistici dal Pliocene medio al Pleistocene superiore: il passato per capire il presente e intuire il futuro*. Atti Convegno 5 novembre 2007, L'uomo, l'Ambiente ed il Clima, Perugia Oraatorio Santa Cecilia, pp. 5-22.

Pinna S., 2006 – *La falsa teoria del clima impazzito*. Felici ed., 158 pp.

Preti M., 1999 – *Trasgressione olocenica ed equilibri tra terra e mare nella Pianura Padana*. Atti Convegno “Le Pianure”, Ferrara 8-11, pp. 114-118, 4 figg.

Ricci Lucchi F., 1996 – *La Scienza di Gaia: ambienti e sistemi naturali visti da un geologo*. Ed. Zanichelli.

Società Geologica Italiana, 2017 – *Itinerari glaciologici sulle montagne italiane*. Guide Geologiche Regionali (a cura del Comitato Glaciologico Italiano)

Trevisan L., Tongiorgi E., 1958 – *La Terra*. Utet, Torino.