

DONATELLA D'ANGELA *

GLI ISOTOPI DELL'OSSIGENO COME INFORMATORI PALEOCLIMATICI Alcuni dati sperimentali**

RIASSUNTO - Studi precedenti hanno permesso di definire l'esistenza di una relazione diretta e quantitativa che lega la composizione isotopica dell'ossigeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) nel fosfato delle ossa di diverse specie di mammiferi con la temperatura media annua al suolo delle località di provenienza di tali animali. Potendo applicare tale relazione a campioni di mammiferi vissuti in età preistorica risulta evidente la possibilità di compiere studi di tipo paleoclimatico e paleoidrologico.

Si presentano i risultati ottenuti da campioni provenienti da alcuni siti preistorici della Pianura Padana e dal villaggio di Fossacesia Marina sulla costa Adriatica.

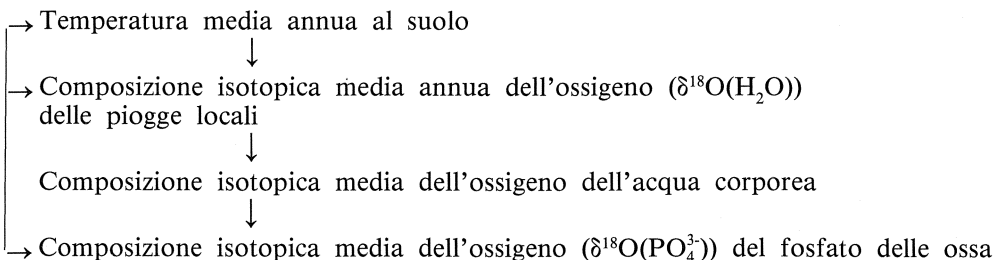
I dati isotopici si accordano bene con le informazioni sulla situazione climatica durante l'Atlantico ottenute con altre metodologie di studio; eventuali variazioni e fluttuazioni locali vengono discusse.

SUMMARY - *Oxygen isotopes as climatic indicators. Some experimental data.* Oxygen isotope composition ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) of bone phosphate from different mammal species coming from some prehistoric sites of the Po Valley and from the Neolithic village of Fossacesia Marina (CH) have been carried on. Previous studies have demonstrated the existence of a direct, quantitative relationship between oxygen isotopic composition of bone phosphate and mean annual temperature. The existence of such relationship allows to study the ancient environment and climate.

The trend of climate, during prehistoric periods, agrees well with the data obtained from other methodology of study; some fluctuations of climate in the studied sites are also discussed.

INTRODUZIONE

È stata ormai provata l'esistenza (LONGINELLI e NUTI, 1973; LONGINELLI e PERRETTI PALDAINO, 1980; LONGINELLI, 1984; LUZ e KOLODNY, 1985) in diverse specie di mammiferi viventi, di relazioni dirette e quantitative tra le seguenti variabili:



* Istituto di Mineralogia e Petrografia. Università degli Studi di Trieste.

** Lavoro eseguito col contributo del Museo Civico di Scienze Naturali di Brescia.

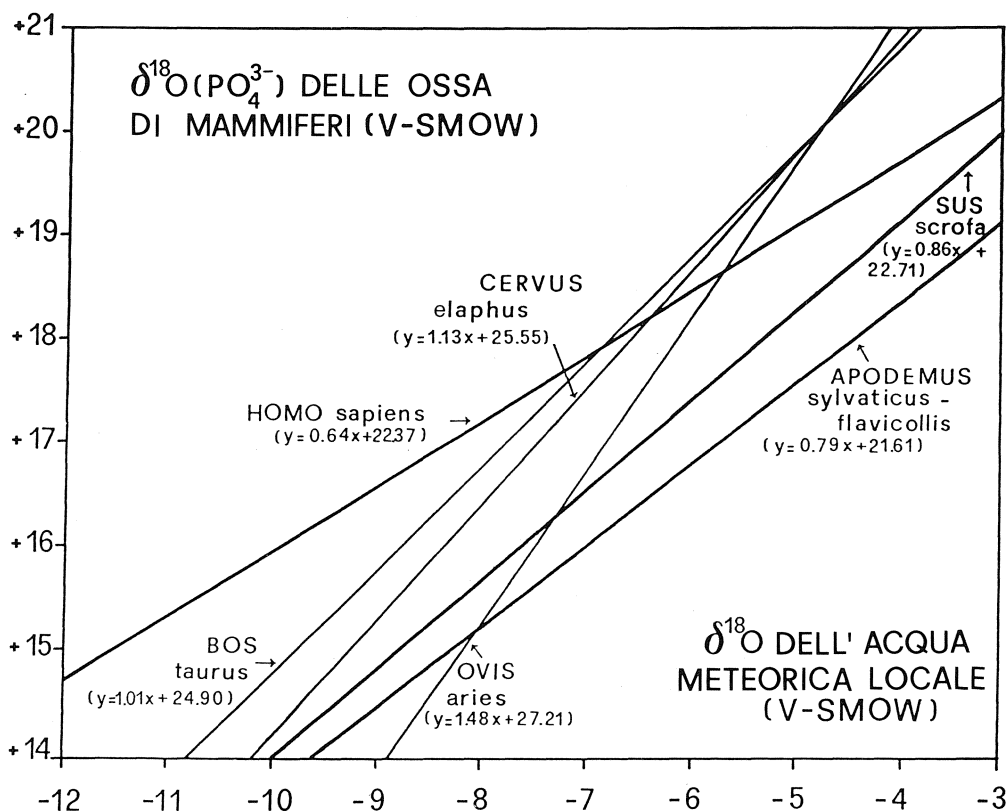


Fig. 1 - Sono riportate in forma grafica tutte le scale isotopiche fosfato/acqua fino ad ora messe a punto su specie attuali di mammiferi.

Come evidenziato dallo schema, le relazioni che più ci interessano ai fini di uno studio paleoclimatico sono quelle che vengono a legare la composizione isotopica dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$) del fosfato delle ossa con la composizione isotopica media annua dell'ossigeno delle piogge delle località di provenienza dei campioni, e di conseguenza, con la temperatura media annua al suolo. Una volta verificate su campioni fossili tali correlazioni, è possibile fare delle considerazioni di carattere paleoambientale utilizzando gli isotopi dell'ossigeno.

Fino ad oggi sono state messe a punto sei scale isotopiche su sei differenti specie di mammiferi viventi: *Homo sapiens*, *Bos taurus*, *Ovis aries*, *Cervus elaphus*, *Apodemus sylvaticus* e *flavicollis*, *Sus scrofa* (fig. 1). In queste scale si mette in relazione il $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua meteorica attuale delle località di provenienza dei campioni con il $\delta^{18}\text{O}(\text{PO}_4^{3-})$ delle ossa, ottenendo per ciascuna specie una caratteristica equazione del tipo: $y = a + bx$.

Sostituendo alla variabile y il valore del $\delta^{18}\text{O}(\text{PO}_4^{3-})$ ottenuto sperimentalmente, si ottiene il valore del $\delta^{18}\text{O}$ delle piogge del periodo in questione. Si calcola allora la differenza tra questo valore e quello attuale. Per tradurre il dato isotopico in un dato di temperatura bisogna tenere presente che la variazione del valore medio

del $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua per grado centigrado è di circa 0.3 unità delta per le aree litorali e isole e di circa 0.5 unità delta per le aree continentali.

Risulta evidente come in uno studio di tal genere, per comprendere il dato isotopico e quindi l'indicazione del valore di temperatura che ne deriva, è necessario studiare l'andamento del reticolo idrografico della zona in studio, la vicinanza o meno di catene montuose, la quota media del bacino di alimentazione del fiume in questione, possibili situazioni particolari delle correnti marine e loro effetti sulla distribuzione delle temperature medie atmosferiche e così via.

Risulta quindi evidente la necessità di disporre di buone conoscenze del quadro ambientale nei suoi molteplici aspetti, attingendo, ove possibile, informazioni da altre fonti utilizzando metodi di studio diversi.

In particolare si deve tenere presente l'effetto dell'altitudine, della continentalità e della latitudine sul valore di composizione isotopica dell'ossigeno nelle piogge.

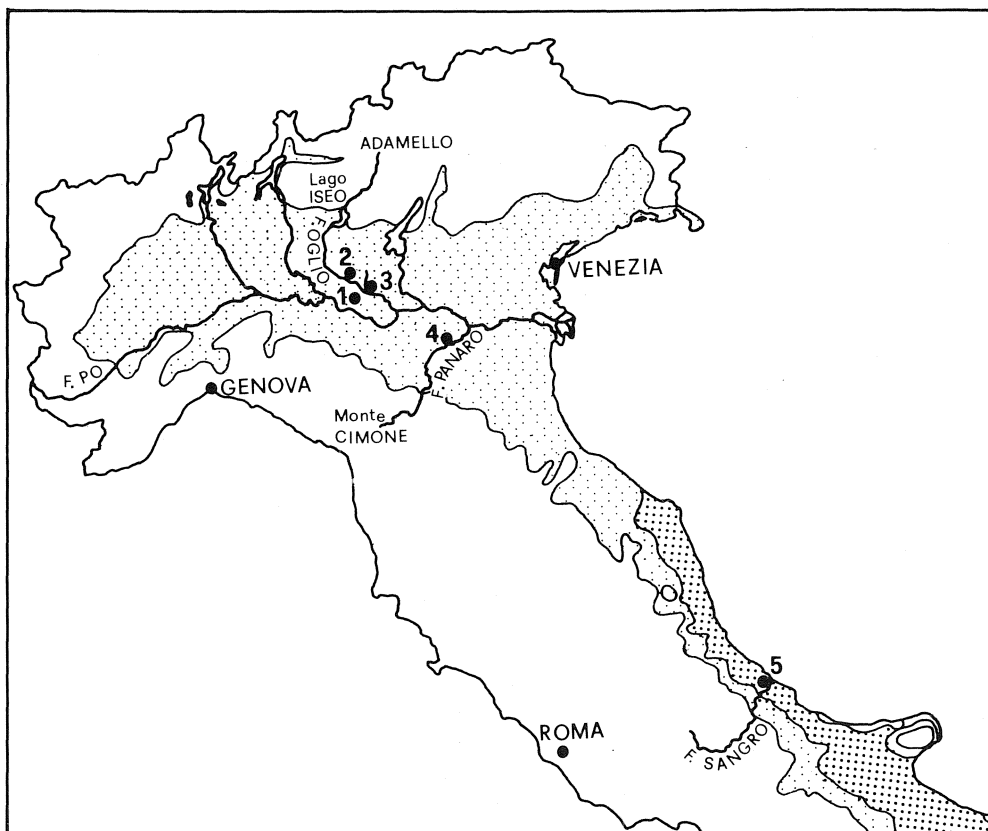


Fig. 2 - Localizzazione dei siti studiati: 1) Rivarolo Mantovano, 2) Ostiano S. Salvatore e Dugali Alti, 3) Casatico di Marcaria, 4) Spilamberto, 5) Fossacesia Marina. Tutta l'area indicata a punti piccoli ha una temperatura media annua attuale compresa tra i 12°-14°C; l'area a punti più grossi ha una temperatura media annua attuale oscillante tra i 14°-16°C.

Per qualsiasi zona in studio e qualsiasi situazione climatica, ad un aumento della temperatura media annua al suolo corrisponde infatti una positivizzazione del $\delta^{18}\text{O}$ medio delle precipitazioni atmosferiche e, viceversa, per una diminuzione di temperatura.

Oltre alla variazione del $\delta^{18}\text{O}$ delle piogge per grado centigrado, esiste anche una correlazione tra $\delta^{18}\text{O}$ delle piogge e altitudine con una conseguente variazione di 0.25-0.30 unità delta in meno ogni 100 metri di quota. Si riassumono qui i primi dati ottenuti su materiale di diversi periodi preistorici dai siti della Pianura Padana di Casatico di Marcaria, Rivarolo Mantovano, Ostiano (Dugali Alti e S. Salvatore) e Spilamberto; e dal villaggio Neolitico di Fossacesia Marina sulla costa Adriatica (fig. 2).

CAMPIONATURA E TECNICHE DI MISURA

Sono state utilizzate ossa di individui sia di sesso maschile che femminile senza alcuna selezione riguardo alle varie parti dello scheletro. Sono stati analizzati quindi, indifferentemente, sia reperti di ossa lunghe, che frammenti di cranio, bacino, scapole, costole, vertebre.

Si è concluso che non esiste alcuna differenza di composizione isotopica dell'ossigeno del fosfato fra le varie parti dello scheletro, con alcune riserve, allo stato attuale delle conoscenze, per il fosfato dei denti, per i quali non si è ancora in possesso di un numero statisticamente significativo di dati.

Ciascun campione d'osso, del peso di circa 100-120 mg, viene accuratamente pulito, lavato ed asciugato; quindi, tramite una lunga e complessa procedura chimica (LONGINELLI, 1965, 1966), si separa da esso il fosfato sotto forma di fosfato di bismuto. Quest'ultimo viene fatto reagire sotto vuoto spinto con pentafluoruro di bromo; dalla reazione si libera ossigeno che, convertito ad anidride carbonica, viene infine analizzato allo spettrometro di massa. Lo strumento fornisce direttamente, per ciascun campione, i valori della composizione isotopica dell'ossigeno indicata con la lettera δ , dove δ sta a significare la differenza tra la composizione isotopica dell'ossigeno in un campione rispetto a quella di uno standard internazionale:

$$\delta = \frac{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{camp.}} - {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{stand.}}}{{}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{stand.}}} \times 1000$$

Per l'ossigeno lo standard internazionale comunemente usato è V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water) (GONFIANTINI, 1978).

DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

I siti della Pianura Padana

I siti analizzati si trovano nei pressi del corso di due fiumi entrambi affluenti del Po (fiume Oglio e Panaro) oltre che di altri piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio.

Casatico di Marcaria, Rivarolo Mantovano, Ostiano S. Salvatore e Dugali Alti, sono situati in vicinanza del fiume Oglio; Spilamberto, del fiume Panaro. Il fiume

Oglio è emissario del lago d'Iseo che a sua volta raccoglie acqua dal gruppo dell'Adamello. La sua acqua è stata campionata in più punti: a Sarnico (BG), all'uscita dal lago d'Iseo, ha fornito un valore di composizione isotopica dell'ossigeno uguale a -9.4 ; in pianura, dopo la confluenza del fiume Mella, a Canneto sull'Oglio (MN), l'acqua si positivizza a -9.2 ; dopo la confluenza del fiume Chiese, tra Casalmoro (MN) e Remedello (BS), il valore del $\delta^{18}\text{O}$ rimane inalterato (-9.2); a Marcaria (MN) si positivizza ulteriormente fino a -9.1 .

Lo scavo di Casatico di Marcaria è situato però nei pressi del torrente Tartaro che raccoglie acqua piovana o comunque acqua superficiale della zona (ed ha infatti una composizione isotopica di -7.7). Gli animali di Casatico quindi, tenendo conto delle loro possibili aree di spostamento, hanno interagito, nel corso della loro vita, sia con acqua proveniente dal torrente e quindi con piogge locali, che con acqua proveniente dal fiume e quindi anche con piogge di altre località. La composizione isotopica del fosfato rifletterà di conseguenza questa situazione.

I campioni di Casatico del periodo Neolitico hanno fornito un valore di $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua meteorica pari a -9.1 che è più o meno il valore di oggi, ad indicare pertanto un'analogia situazione climatica senza sensibili differenze di temperatura. Per i campioni dell'età del Rame si è ottenuto un valore più negativo, di -9.4 , ciò indicherebbe un'oscillazione verso una situazione climatica più fredda di circa $1.5^{\circ}\text{-}2^{\circ}\text{C}$.

A Ostiano Dugali Alti il valore trovato è esattamente uguale all'attuale (-9.2) e analoga ad oggi, presumibilmente, doveva essere la situazione climatica media annua. A Ostiano S. Salvatore i campioni della Cultura di Polada ci forniscono un valore medio di -8.7 : il clima doveva essere migliore dell'attuale con valori medi annui di temperatura superiori di $1^{\circ}\text{-}1.5^{\circ}$.

Rivarolo Mantovano, che è il sito più lontano dal fiume Oglio, è ubicato fra rigagnoli e fiumiciattoli che drenano essenzialmente acqua piovana, isotopicamente molto positiva. La composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua ottenuta dai campioni Neolitici è infatti più positiva (-8.6 / -8.7) rispetto a quella di Casatico e corrisponde praticamente al valore dell'acqua attuale locale. Anche a Rivarolo, quindi, la situazione climatica, durante il periodo Neolitico, non doveva essere molto diversa da quella di oggi.

I dati isotopici (tab. I) sembrano pertanto concordare con ciò che già si sa sull'andamento del clima durante l'Atlantico. Infatti durante il Neolitico antico e il pieno Neolitico anche in quest'area circoscritta si ritrova il clima caldo che ha caratterizzato l'Atlantico, soprattutto nella sua fase finale. Con i campioni dell'età del Rame di Casatico di Marcaria si viene a riconfermare quel peggioramento climatico che ha inizio con il Subboreale; andamento, questo, che, invece, non sembra essere presentato dai campioni di Ostiano S. Salvatore indicanti uno *shift* verso temperature superiori.

Dall'altra parte del Po, sul fiume Panaro, gli uomini dell'età del Rame di Spilamberto (tab. I) hanno fornito un valore di composizione isotopica dell'ossigeno molto negativa (-11).

La differenza fra questo valore e quello attuale (-8.9 / -9.0 media ponderata di un anno) indicherebbe così una differenza di temperatura di circa $3^{\circ}\text{-}4^{\circ}\text{C}$ in meno rispetto ai $18\text{-}14^{\circ}\text{C}$ medi annui che si registrano oggi nell'area Padana. Questa differenza, pur in accordo con una fase di generale peggioramento climatico Subboreale, è pur sempre una differenza notevole, giustificabile solo se si ritiene che i dati rappresentino una situazione climatica in quota e non in pianura.

Il fiume Panaro, infatti, nasce nella zona del monte Cimone e il suo bacino idrografico ha una quota media di 700 m s.l.m. Inoltre non esistono qui, come

Tab. I - Si riportano le località di provenienza dei campioni, le specie analizzate con il numero (fra parentesi) degli individui analizzati per ciascuna specie, il valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ del fosfato, il valore del $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua meteorica locale ricavata dal valore medio del fosfato.

Località	Specie	Valore Medio del $\delta^{18}\text{O}$ (PO_4^{3-})	$\delta^{18}\text{O}$ (H_2O) locale
Ostiano S. Salvatore (CR) Cultura di Polada Bln-2974: $3480 \pm 60\text{BP}$ 1889-1739 Cal. BC	<i>Cervus elaphus</i> (5) <i>Bos taurus</i> (7)	+ 15.9 + 16.0	-8.6 -8.8
Casatico di Marcaria (MN) Età del Rame	<i>Bos taurus</i> (3)	+ 15.4	-9.4
Rivarolo Mantovano (MN) Cultura dei vasi a bocca quadrata	<i>Bos taurus</i> (6) <i>Ovis aries</i> (2)	+ 15.8 + 14.9	-8.9 -8.4
Casatico di Marcaria (MN) Cultura dei vasi a bocca quadrata	<i>Cervus elaphus</i> (3) <i>Bos taurus</i> (7)	+ 15.3 + 15.7	-9.1 -9.1
Ostiano Dugali Alti Gruppo del Vho' Bln-2795: $6090 \pm 100\text{BP}$ 5210-4901 Cal. BC	<i>Cervus elaphus</i> (1)	+ 15.0	-9.2
Spilamberto (MO) Età del Rame I-11816: $4195 \pm 95\text{BP}$ 2917-2629 Cal. BC	<i>Homo sapiens</i> (10)	+ 15.0	-11.0
Fossacesia Marina (CH) Cultura di Ripoli	<i>Cervus elaphus</i> (1) <i>Bos taurus</i> (4) <i>Sus scrofa</i> (5) <i>Ovis aries</i> (2)	+ 15.6 + 16.0 + 15.7 + 14.5	-8.8 -8.8 -8.1 -8.5

nella zona alpina, dei laghi che fungano da bacini miscelatori di acque isotopicamente diverse e quindi tutte le variazioni del $\delta^{18}\text{O}$ in quota non potranno che ripercuotersi rapidamente in pianura.

Il sito di Fossacesia Marina (CH)

Questo sito si trova sulle paleosponde del fiume Sangro che nasce dai monti della Meta, in Abruzzo, con una quota media del bacino di alimentazione di circa 1200 m s.l.m.

L'acqua attuale del fiume, campionata a Fossacesia, ha fornito un valore di $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ di -9.4, mentre con i campioni neolitici si è ottenuto un valore più positivo, circa -8.5 (tab. I).

Una tale differenza ci porta a supporre che il clima doveva essere decisamente più caldo di circa 3°C rispetto ad oggi in pieno accordo con le caratteristiche climatiche generali riscontrate per l'Atlantico.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti con questo primo *set* di dati appaiono nel complesso del tutto incoraggianti a proseguire con uno studio di tal genere. L'integrazione di un tale tipo di informazioni, specifiche per i singoli siti, permetterebbe di tracciare delle vere e proprie mappe paleoclimatiche.

Bisogna tuttavia tenere presente la complessità idrologica e geografica della zona in esame quando si hanno di fronte dei risultati a prima vista poco plausibili. Variazioni rispetto al quadro generale si potrebbero infatti interpretare come oscillazioni indicanti possibili microclimi locali.

Certamente siti, anche pluristratificati, che afferiscono ad un reticolo idrografico geograficamente molto localizzato avrebbero rappresentato minori difficoltà di interpretazione, come nel caso di Fossacesia. L'abbondanza di resti faunistici ha comunque permesso un controllo intra e inter specifico per i siti con diverse fasi di occupazione così come tra siti diversi.

BIBLIOGRAFIA

- GONFIANTINI R., 1978 - *Standards for stable isotope measurements in natural compounds*. Nature, 271: 534-536.
- LONGINELLI A., 1965 - *Oxygen isotopic composition of orthophosphate from shells of living marine organisms*. Nature, 207: 716-719.
- LONGINELLI A., 1966 - *Oxygen isotopic composition of phosphate from shells of some living crustaceans*. Nature, 211: 727-728.
- LONGINELLI A., 1984 - *Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: a new tool for paleohydrological and paleoclimatological research?* Geochemistry Cosmochemical Acta, 48: 385-390.
- LONGINELLI A. and NUTI S., 1973 - *Revised phosphate-water isotopic temperature scale*. Earth and Planetary Science Letters, 19: 373-376.
- LONGINELLI A. and PERETTI PADALINO A., 1980 - *Oxygen isotopic composition of water from mammal blood: first results*. European Journal of mass Spectrometry in Biochemical Medicine and Environmental Research, 1: 135-139.
- LUZ B. and KOLODNY Y., 1985 - *Oxygen isotope variations in phosphate of biogenic apatites, IV. Mammal teeth and bones*. Earth and Planetary Science Letters, 75: 29-36.

Indirizzo dell'Autore:

DONATELLA D'ANGELA, Istituto di Mineralogia e Petrografia, Laboratorio di Geochimica Isotopica, Università di Trieste, Riva Ottaviano Augusto 9 - 34100 TRIESTE

