

SILVANO PIROTTA

IL BOS PRIMIGENIUS DI GROPPELLO D'ADDA
UN REPERTO PALEONTOLOGICO DI TRENTAMILA ANNI FA

2011

IL RITROVAMENTO

Durante gli anni Ottanta del secolo scorso alcuni giovani studenti, soci del Gruppo Archeologico dell'Est Milanese, erano particolarmente attivi e dedicavano molto del loro tempo libero alle ricognizioni sul territorio. Anche i soci meno giovani, pur non avendo a disposizione la stessa quantità di tempo libero a causa degli impegni di lavoro e di quelli familiari, rimanevano contagiati dall'entusiasmo giovanile e, di riflesso, la loro attenzione era sempre pronta nel raccogliere ogni minima segnalazione che avesse qualche attinenza con la storia locale, o che fosse relativa ad eventuali reperti archeologici rinvenuti sul nostro territorio.

Nella Primavera del 1986, presso la cava della ditta Colombo di Gropello d'Adda – situata al confine tra il territorio di Gropello, quello di Cassano d'Adda e quello di Inzago – l'operatore addetto alla macchina scavatrice segnalò al nostro socio Felice Motta, anch'egli occupato presso la ditta Colombo in qualità di impiegato tecnico, la presenza di non meglio precisati resti di ossa. Il nostro socio si recò subito nel punto esatto che gli era stato segnalato dall'addetto alla scavatrice e il suo occhio esperto capì immediatamente che doveva trattarsi di qualcosa di interessante: la profondità in cui si trovavano i reperti era di circa sette metri rispetto al piano coltivo circostante, inglobate nello strato alluvionale di sabbia fine che aveva colmato un canale in cui, in epoche remote, scorreva l'acqua. La differenza di granulometria tra la sabbia fine e gli strati con ghiaia più grossolana (in dialetto milanese *"la gera"*) posti ai lati del canale evidenziava in modo abbastanza netto quelle che, da un punto di vista geologico, vengono definite *barre di meandro*.

Buona parte del sottosuolo della nostra pianura è solcato da paleoalvei ormai insabbiati a profondità diverse in funzione della loro antichità, che si possono notare¹ ovunque vengano effettuati scavi di notevoli dimensioni, sia in ampiezza sia in profondità, come nel caso tipico delle cave estrattive di sabbia e di ghiaia per uso edile. Questi paleocanali, naturalmente, vengono trovati anche a notevole distanza dagli attuali alvei dove scorrono i fiumi al giorno d'oggi, mentre il regime delle loro acque e la loro portata – che non sono mai state, ovviamente, regolate dall'intervento umano – erano estremamente variabili nei millenni passati, in funzione dei cambiamenti climatici.

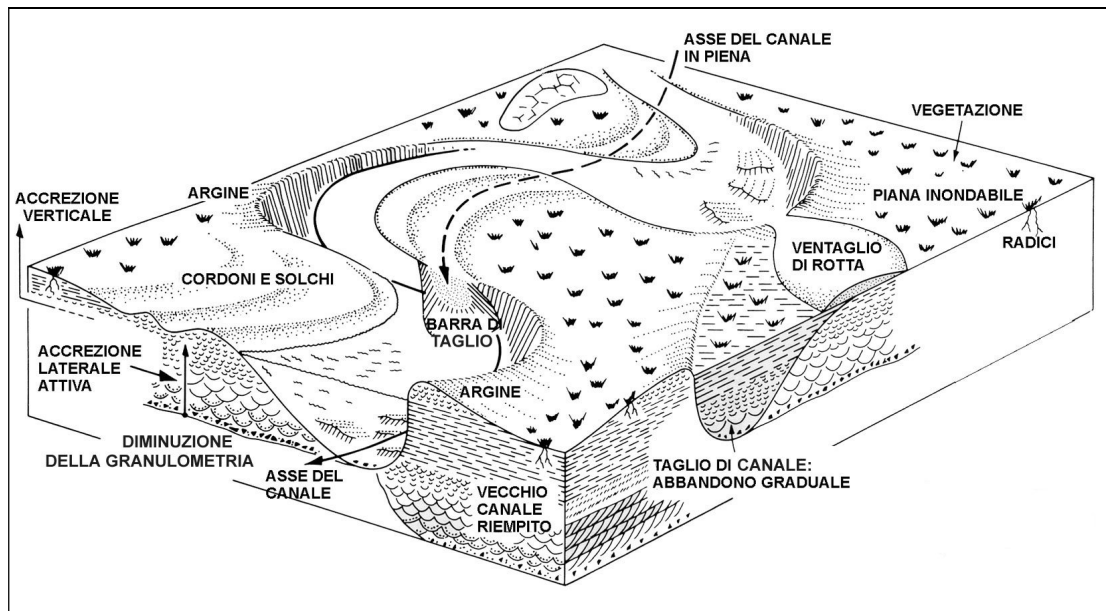


Fig. 1. L'aspetto irregolare (meandriforme) e variabile di un fiume che scorre in una bassa pianura, quando non è sottoposto a interventi da parte dell'uomo (immagine tratta dal Manuale di Geoarcheologia)

¹ La visibilità di questi paleoalvei è massima appena dopo lo scavo, quando la sabbia è ancora umida. Una volta che la sabbia si sia asciugata, il contrasto tra la sedimentazione fine del canale e gli antichi argini diminuisce notevolmente.

Le cave, assieme alle rive dei fiumi, continuano a restituire una notevole varietà di reperti paleontologici, basterebbe avere un po' di attenzione e un po' di pazienza per recuperarli e valorizzarli, purtroppo però, nella maggior parte dei casi, l'incuria e la totale mancanza di sensibilità nei confronti di questi oggetti che testimoniano la vita in altri momenti della lunga storia del nostro pianeta, fanno sì che essi vadano completamente distrutti o dispersi.

Così, le ruspe e le draghe continuano a scavare e a recuperare la ghiaia e la sabbia, trasportata e depositata dai fiumi nelle lontane epoche passate, incuranti delle interessanti tracce di vita che sono state custodite gelosamente dal terreno per migliaia e migliaia di anni.



*Fig. 2. Si procede all'ispezione del fronte di avanzamento della cava in prossimità del punto dove sono stati trovati i reperti paleontologici, per verificare che non ve ne siano altri
(Documenti Archivio GAEM)*

I reperti trovati nella cava della ditta Colombo di Gropello d'Adda, totalmente impregnati di umidità e la cui consistenza tenera indicava uno stato di conservazione ormai critico, vennero immediatamente recuperati, avvolti in panni e lasciati asciugare lentamente, per un mese circa. Una volta asciutti e liberati dalla terra si riuscì, finalmente, a capire di cosa si trattasse: il frammento osseo di maggiori dimensioni costituiva la parte superiore della fronte, con l'attaccatura delle corna. Il corno destro, di dimensioni ragguardevoli, era completo, anche se consumato nella parte finale. Vi erano, poi, altri pezzi di dimensioni differenti, relativi alla tempia, alla mandibola e al collo. Come si può vedere dalla Fig. 3, si trattava, indubbiamente, dei resti ossei del muso di un ruminante adulto di epoca preistorica.



Fig. 3. I resti del *Bos primigenius* una volta asciutti e parzialmente ricomposti (Documenti Archivio GAEM)

A un primo esame si poteva pensare a un *Bos primigenius* (chiamato, solitamente, Uro) oppure a un *Bison bonasus*, il bisonte europeo diretto discendente del *Bison priscus*. Questi ruminanti erano molto diffusi sul territorio italiano, avendo pascolato nella pianura padana a partire dal Galeriano medio (circa 600 mila anni fa) fino ai secoli scorsi², come si può vedere nella tabella qui sotto.

ETA' A MAMMIFERI >	GALERIANO				AURELIANO					
	1,1 Ma	780 Ka	550 Ka	350 Ka	127 Ka	10 Ka				
	INF.	MEDIO		SUP.	INF.	MEDIO	SUP.			
UNITA' FAUNISTICHE >	Colle Curti	Slivia	Isermia	Fontana Ranuccio	Torre in Pietra	Vitinia	OIS 5	OIS 4	OIS 3	OIS 2
ARTIODATTILI										
<i>Leptobos etruscus</i>										
<i>Leptobos stenometopon</i>										
<i>Leptobos vallisarni</i>										
<i>Bos galerianus</i>										
<i>Bos primigenius</i>										
<i>Bison (Eobison) degiuli</i>										
<i>Bison schoetensacki</i>										
<i>Bison priscus</i>										
<i>Ovis ammon</i>										
<i>Praeovibos sp.</i>										
<i>Galloral meneghini</i>										
<i>Hemitragus bonali</i>										
<i>Capra ibex</i>										
<i>Rupicapra rupicapra</i>										

Fig. 4. Il *Bos primigenius* e il *Bison priscus* e l'epoca della loro diffusione sul territorio italiano. Estratto di tabella dalle dispense delle lezioni di: Evoluzione degli insiemi faunistici del Quaternario, relative al corso di laurea specialistica in Scienze Preistoriche dell'Università di Ferrara

² L'ultimo esemplare di *Bos primigenius* fu ucciso, sembra, in Polonia nel 1627, mentre il Bisonte europeo, diretto discendente del *Bison priscus*, dopo essersi estinto come specie selvatica agli inizi del Novecento, è stato reintrodotta a partire da alcune coppie che erano sopravvissute allo stato semidomestico in alcuni giardini zoologici.

LA DATAZIONE DEL BOS

L'incertezza su quante migliaia d'anni potesse avere questo bovide primitivo nostrano, ha sempre rappresentato un limite fastidioso al suo pieno apprezzamento come reperto paleontologico. Non è facile, infatti, stimare l'età di uno dei mammiferi più tipici della fauna che ha pascolato sui nostri territori nelle ultime centinaia di migliaia di anni. Molti resti abbastanza completi di *Bos primigenius* sono stati ritrovati vicino ai corsi d'acqua della Pianura Padana, dove la corrente erode continuamente le sponde. In alcuni casi, sono stati rinvenuti mescolati a zanne di *Mammuthus primigenius* (Mammuto lanoso) o a resti di *Coelodonta antiquitatis* (Rinoceronte lanoso) e le loro datazioni oscillano in un *range* piuttosto ampio: si parte da qualche migliaio, fino ad arrivare a mezzo milione di anni. Nel nostro caso, il *Bos* si trovava a sette metri di profondità e a un chilometro e mezzo di distanza, circa, dall'attuale letto del fiume, difficile fare delle stime. In quale epoca le acque dell'Adda divagavano fino a dove si trova l'attuale cava della ditta Colombo?

Un aiuto arrivò dai paleontologi dell'Università di Ferrara, i quali possiedono dei bellissimi esemplari di *Bos primigenius* e di *Bison priscus* nel loro Museo universitario³ situato nel palazzo Turchi di Bagno, proprio di fronte al celebre Palazzo dei Diamanti. Siamo così venuti a conoscenza dell'attività svolta dal LABEC (Laboratorio per i Beni Culturali) dell'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) dell'Università di Firenze, nel campo della datazione dei reperti archeologici / paleontologici con la tecnica del radiocarbonio. Al LABEC di Firenze, quindi, ci siamo rivolti direttamente, visto che, purtroppo, la sezione dell'INFN dell'Università di Milano non è in grado di effettuare tali misure perché si occupa di tutt'altre problematiche scientifiche e non possiede le apparecchiature specifiche necessarie per questo genere di attività.

Il centro toscano, invece, ha iniziato la sua attività nel 2002 ed è dotato di una modernissima e sofisticatissima apparecchiatura nucleare⁴ che permette di effettuare, oltre all'analisi del radiocarbonio, molte altre misure nel campo della fisica atomica e nucleare. Così, alla fine del mese di Luglio del 2007, ci siamo recati a Firenze⁵ e abbiamo portato i reperti del nostro *Bos* per sottoporli al test del radiocarbonio, operazione che ci ha permesso, finalmente, di ottenere una sua datazione abbastanza precisa.



Fig. 5. Il blocco centrale dell'acceleratore di particelle all'interno del laboratorio del LABEC
(Immagine tratta dal sito: <http://labec.fi.infn.it/>)

³ Nel museo paleontologico e preistorico "Piero Leonardi" dell'Università di Ferrara in via Ercole I d'Este, 32, è possibile ammirare degli splendidi esemplari di fauna preistorica, dal *Deinotherium* europeo fino agli elefanti nani della Sicilia e ai più diffusi *Ursus speleus* delle nostre montagne.

⁴ Il "cuore" del sistema è rappresentato da un acceleratore con spettrometro di massa (AMS) che ha sostituito il precedente acceleratore di particelle che era costituito da un generatore di *Van de Graaff*.

⁵ Il LABEC, in realtà, è situato a pochi chilometri dalla città di Firenze, nel comune di Sesto Fiorentino.

LA TECNICA DEL RADIOCARBONIO

La tecnica del radiocarbonio si basa sul principio del decadimento radioattivo dell'isotopo⁶ Carbonio14⁷ e, a livello teorico, non presenta grandi difficoltà di comprensione, tanto che può essere descritta in brevi, seppur semplificati, passaggi:

- Nell'atmosfera, esiste un rapporto costante tra gli isotopi Carbonio12 e 13 (stabili) e Carbonio14 (radioattivo, infatti, si trasforma in Azoto14 col tempo), perché tanto Carbonio14 decade, tanto ne viene riformato nell'alta atmosfera a causa del bombardamento dei raggi cosmici a cui è sottoposta e mantenendo inalterato, in questo modo, il suo equilibrio.

PINCIPALI ISOTOPI DEL CARBONIO		
carbonio - 12	carbonio - 13	carbonio - 14
<i>stabile</i>	<i>stabile</i>	radioattivo
98.9%	1.1%	$1.2 \cdot 10^{-12}$
^{12}C	^{13}C	^{14}C
6 protoni 6 neutroni	6 protoni 7 neutroni	6 protoni 8 neutroni

Fig. 6. Le percentuali degli isotopi del Carbonio presenti nell'atmosfera (Si noti l'estrema scarsità in percentuale del Carbonio14 radioattivo rispetto agli isotopi stabili Carbonio12 e Carbonio13. Questo vuol dire che nell'atmosfera troveremo mediamente un solo atomo di Carbonio14 radioattivo ogni mille miliardi di atomi di Carbonio12 e Carbonio13 stabili).

Immagine tratta dalle dispense delle lezioni di: *Metodi radiometrici di datazione, relative al corso di laurea specialistica in Scienze Preistoriche dell'Università di Ferrara*

- L'ipotesi di W. F. Libby⁸ – lo scopritore di questa tecnica di datazione assoluta – era che le concentrazioni di Carbonio12 e di Carbonio14 presente nell'atmosfera si fossero sempre mantenute costanti nel tempo. Ciò è vero solo in prima approssimazione perché, in realtà, vi sono state delle leggere fluttuazioni che, però, possono essere corrette facendo un confronto con i dati ottenuti tramite altre tecniche di datazione assoluta, in particolare con la dendrocronologia, che prevede il conteggio degli anelli di accrescimento annuali nei tronchi degli alberi. Usando tronchi dello stesso territorio, ma di età diversa e con gli anelli di accrescimento parzialmente sovrapponibili tra di loro, si riesce a risalire nel tempo per migliaia di anni.

⁶ Gli isotopi di un elemento hanno lo stesso numero di protoni, ma hanno un diverso numero di neutroni nel loro nucleo, in linguaggio tecnico: hanno lo stesso numero atomico (che coincide con il numero dei suoi protoni) ma un diverso numero di massa (che è dato dalla somma dei protoni più i neutroni).

⁷ Data la natura non tecnica dell'articolo e per una più facile comprensione usiamo la scrittura Carbonio12, Carbonio14, ecc., invece della scrittura scientifica che prevede l'uso dei simboli: ^{12}C , ^{14}C , ecc. Lo stesso varrà per i pochi altri elementi naturali che verranno citati nella parte successiva dell'articolo.

⁸ W. F. Libby è lo scienziato americano che, subito dopo la Seconda Guerra Mondiale, ha applicato la tecnica del decadimento radioattivo del Carbonio14 ai reperti archeologici e all'archeologia in generale. Questa scoperta gli è valsa il Premio Nobel per la Chimica nel 1960.

- Anche gli organismi viventi contengono, tra i vari elementi che compongono il loro corpo e le loro ossa, le stesse percentuali di isotopi di Carbonio12 e 14, a causa della continua interazione che essi hanno con l'atmosfera durante il loro ciclo vitale (fotosintesi, respirazione, nutrizione, ecc., si veda la Fig. 7).

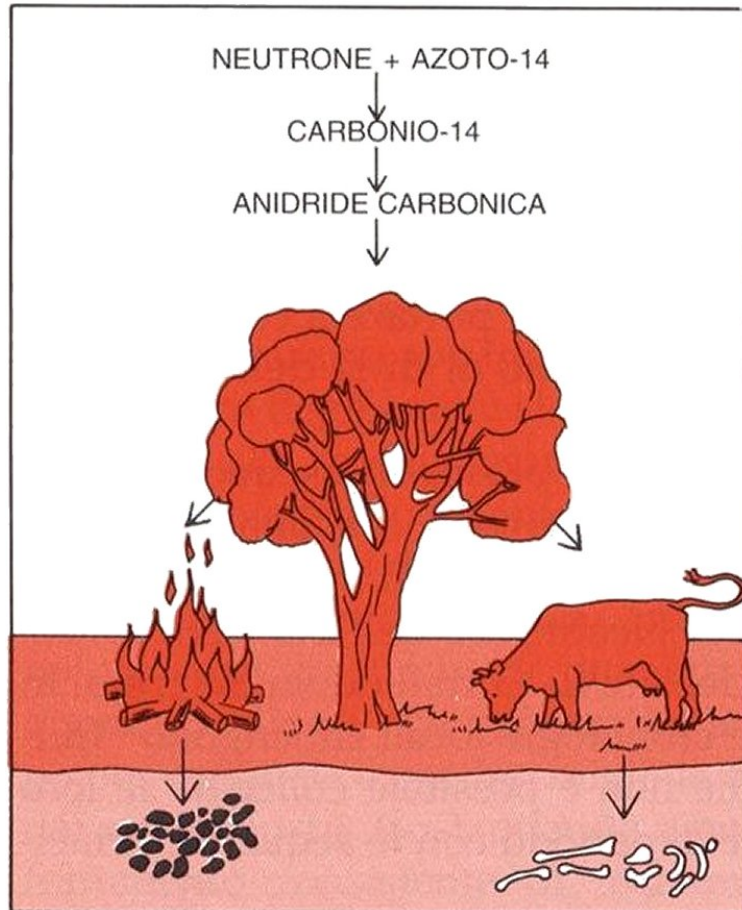


Fig. 7. *La materia vivente interagisce continuamente con l'atmosfera.
Immagine tratta dalle dispense delle lezioni di:
Metodi radiometrici di datazione, relative al corso di laurea specialistica
In Scienze Preistoriche dell'Università di Ferrara*

- Nel momento in cui un organismo muore però, cessano le sue interazioni vitali con l'atmosfera; quindi il Carbonio14 che decade non potrà più essere rimpiazzato. Da questo istante inizia la sua lenta ma inesorabile diminuzione che modifica, anno dopo anno, il rapporto tra i due isotopi, poiché la quantità di Carbonio12 continua a mantenersi costante, mentre la quantità di Carbonio14 diminuisce sempre di più.
- Se si è in grado di misurare il rapporto percentuale tra i due isotopi di Carbonio12 e di Carbonio14 di un qualsivoglia reperto organico che è stato rinvenuto e del quale non conosciamo la data di morte, allora saremo in grado di determinarla, perché è noto che una quantità generica di Carbonio14 dopo 5730 anni si sarà dimezzata e, dopo altri 5730 anni, si sarà ulteriormente dimezzata (ridotta ad un quarto) e così via, riducendosi, con passi successivi, a 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, ecc. rispetto alla quantità presente in origine (si veda la Fig. 8).

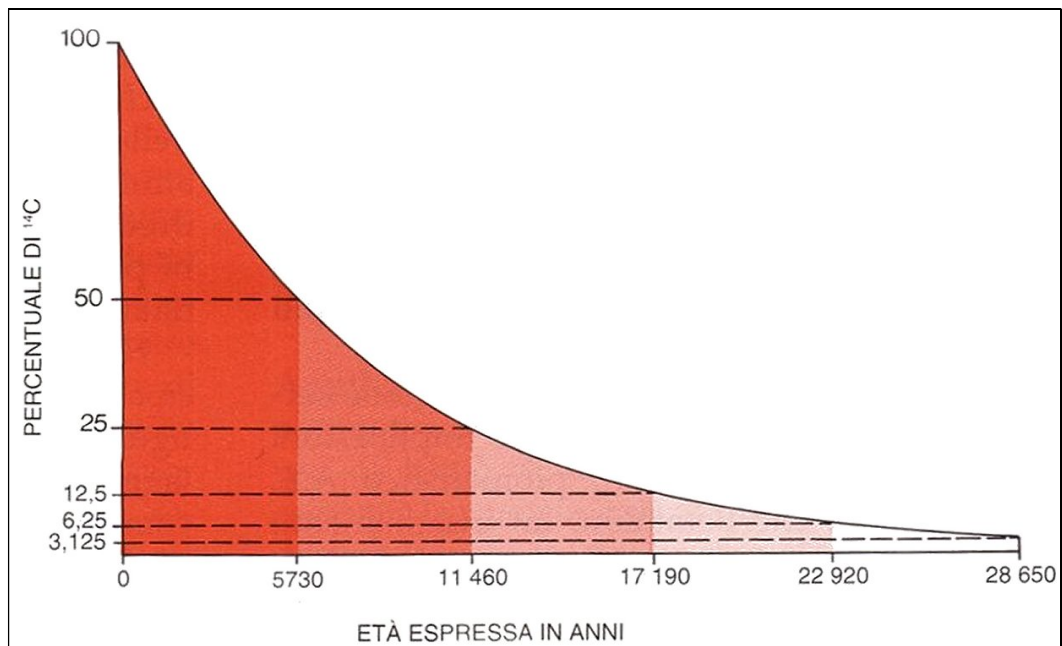


Fig. 8. La curva esponenziale del decadimento radioattivo del Carbonio14 in funzione del tempo. Immagine tratta dalle dispense delle lezioni di: Metodi radiometrici di datazione, relative al corso di laurea specialistica in Scienze Preistoriche dell'Università di Ferrara

L'applicazione pratica di questa tecnica, però, non è così semplice come potrebbe sembrare dopo queste brevi considerazioni e richiede di superare difficoltà e problemi tecnici notevoli, basti ricordare che la presenza nell'atmosfera del Carbonio14 radioattivo, come si è detto sopra, è una frazione infinitesima rispetto al Carbonio12 stabile (mediamente un atomo di Carbonio radioattivo ogni mille miliardi di atomi di Carbonio stabile), quindi servono apparecchiature particolarmente sensibili e sofisticate, oltre che costose, per effettuare questo tipo di misure.

Già dopo 5 dimezzamenti (ossia dopo 28650 anni) il Carbonio14 si è ridotto drasticamente, tanto che un piccolo errore di misura della sua percentuale residua sull'asse delle ordinate, si traduce in un considerevole errore di tempo sull'asse delle ascisse (si veda, di nuovo, la Fig. 8). Dopo 10 dimezzamenti, il Carbonio14 si sarà ridotto di mille volte (per la precisione di 2^{10} , ossia di 1024 volte) questo significa che, in pratica, non vi sarà più traccia dell'isotopo in questione e non sarà più possibile fare delle misure che abbiano significato. La datazione dei reperti archeologici con l'utilizzo di questa tecnica, quindi, permette – nei casi più favorevoli – di risalire indietro nel tempo fino a un massimo di circa 10 dimezzamenti, ossia fino a 50 / 60 mila anni rispetto alla data attuale, oltre non è proprio possibile andare e ciò, purtroppo, rappresenta il grande limite di questa tecnica di datazione assoluta.

Nel nostro caso, ci auguravamo che la data di morte del *Bos* rientrasse in questo ordine di grandezza: meglio conoscere con relativa sicurezza una data che immaginavamo potesse oscillare tra i 5 e i 50 mila anni, piuttosto che sentirci dire che il *Bos* aveva, sì, più di 60 mila anni, ma si trattava di una data impossibile da determinare, quindi destinata a rimanere sconosciuta. Con questa speranza, attendevamo con impazienza i risultati, che, come ci era stato anticipato dai tecnici del LABEC, non sarebbe stato comunque possibile conoscere prima del mese di Novembre, dal momento che il laboratorio era saturo di richieste: dalla datazione precisa del saio di San Francesco⁹, all'analisi degli inchiostri di alcuni manoscritti di Leonardo da Vinci per individuarne la

⁹ Analisi effettuata per stabilire se il vero saio di San Francesco fosse quello conservato presso la chiesa di Santa Croce a Firenze oppure quello conservato nella chiesa di San Francesco a Cortona. I risultati del LABEC hanno permesso di stabilire che il vero saio di San Francesco è quello conservato a Cortona, perché quello di Firenze risulta essere stato tessuto dopo la data di morte del Santo.

loro provenienza e altre misure da effettuare su importanti sculture lignee e su famosi quadri medievali con fondati dubbi e sospetti, però, riguardo la loro autenticità. Nella prima metà del mese di Novembre, finalmente, ci vennero comunicati ufficialmente i risultati delle analisi effettuate dal LABEC.

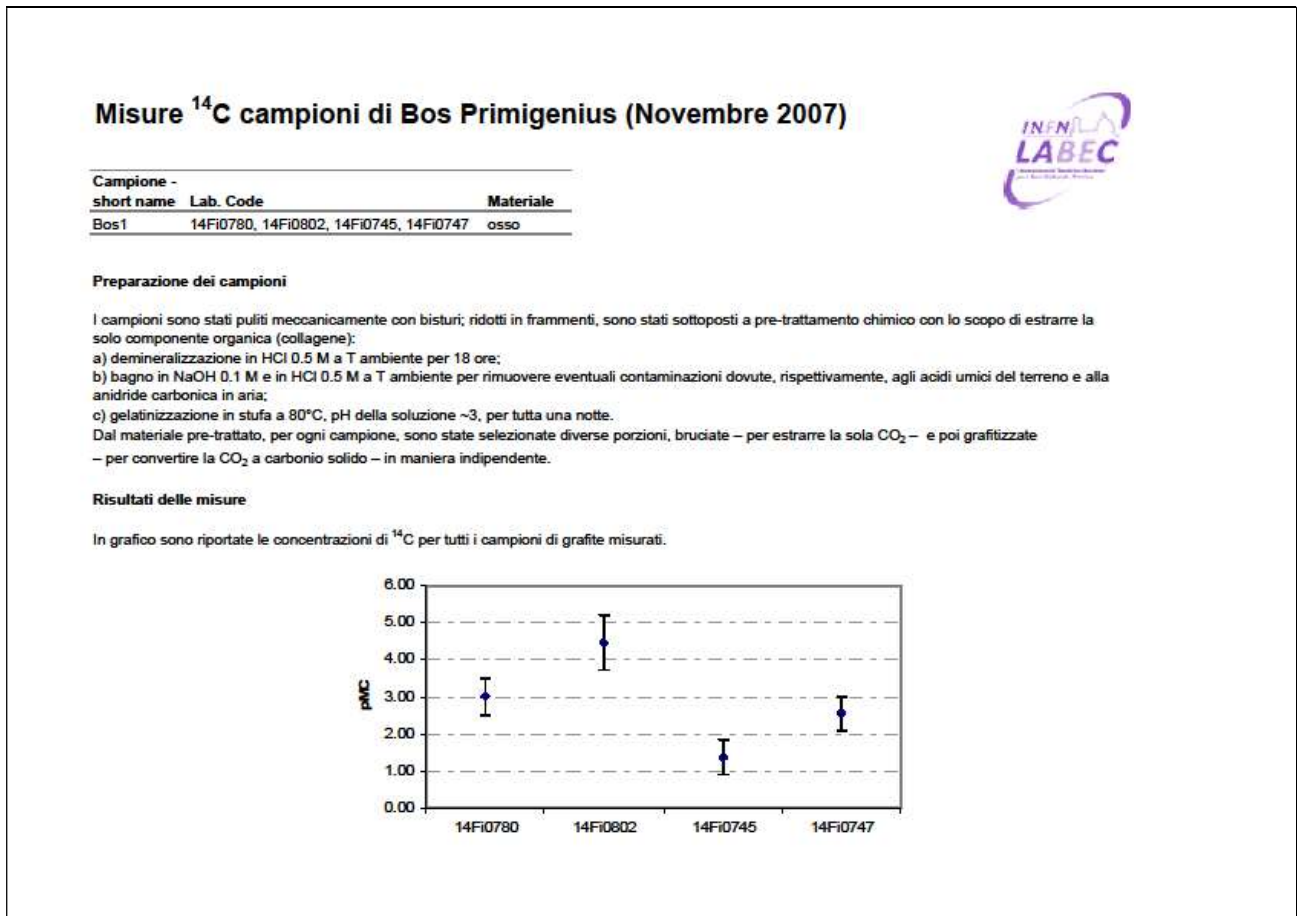


Fig. 9. Il primo foglio con i risultati delle misure effettuate dal LABEC sui 4 campioni prelevati (Documenti Archivio GAEM)

Le date ottenute con questa tecnica vengono definite *date non calibrate ottenute con il radiocarbonio*¹⁰, per ottenere la data di calendario reale bisognerà inserire questi primi dati in un apposito grafico, per mezzo del quale è possibile ottenere la corrispondente data calendariale, con i relativi intervalli di tolleranza, rispetto al valore medio calcolato.

Nella pagina successiva è possibile vedere, dunque, la data calibrata, dal momento che la curva con i dati "grezzi" ottenuti con l'acceleratore di particelle del LABEC è stata inserita nell'apposito grafico con la curva di calibrazione. Come si può leggere agevolmente sul grafico, a fronte della data strumentale non calibrata il cui valore medio si attesta attorno ai 28600 anni B.P. (*Before Present*), sull'asse delle X è possibile leggere la data di calendario, il cui valore medio si assesta sul 31000 a.C. (ossia 33 mila anni fa).

¹⁰ Le date non calibrate negli articoli tecnici vengono indicate con la sigla B.P. (*Before Present*), dove il presente è, convenzionalmente, l'anno 1950.

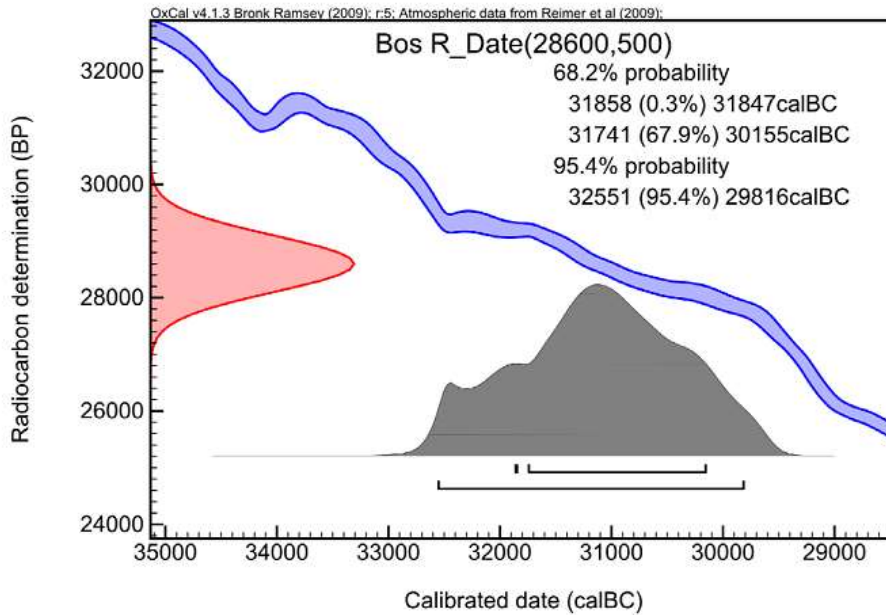
Campione di *Bos Primigenius*: 28600 ± 500 years BP

(misure Novembre 2007,

miglior stima dalla media dei catodi – codice laboratorio – 14Fi0780, 14Fi0802, 14Fi0745, 14Fi0747)

Per la calibrazione è utilizzato il software OxCal v.4ⁱ, con riferimento alla curva di calibrazione IntCal09ⁱⁱ.

In grafico è riportato il risultato della calibrazione: in rosso è rappresentato il risultato della misura, ovvero l'età convenzionale di radiocarbonio, come una variabile a distribuzione gaussiana, la cui larghezza è data dall'errore sperimentale; in blu è rappresentata la porzione di curva di calibrazione; in nero è rappresentata la distribuzione di probabilità dell'età calibrata; sono indicati anche gli intervalli di età probabili corrispondenti, rispettivamente, al 68% e al 95% di probabilità.



Riassumendo quindi, al 95% di probabilità, l'età calibrata corrisponde all'intervallo:

	Età calibrata (BC)
<i>Bos Primigenius</i>	32550 - 29800

Fig. 10. Curva di calibrazione delle date ottenute con il radiocarbonio (INTCALC09), nella quale si evince che la data calibrata per il *Bos primigenius* si attesta attorno al 31000 a.C., ossia attorno a 33mila anni fa. (Documenti archivio GAEM)

Ora sappiamo che il *Bos primigenius* pascolava sul nostro territorio in un'epoca attorno a 33 mila anni fa. Molto più semplice, invece, potrebbe essere immaginare come sia morto. Probabilmente deve essere scivolato in acqua mentre cercava di abbeverarsi e, dopo essere stato trascinato dalla corrente per un tratto più o meno lungo, potrebbe essere stato ricoperto dal materiale trasportato e depositato dall'acqua, rimanendo completamente sepolto; quest'ultimo fattore avrebbe permesso che le sue ossa si conservassero per migliaia e migliaia di anni in un ambiente sabbioso e umido, che non è certamente il posto ideale per la conservazione dei reperti organici.

LE GLACIAZIONI DEL QUATERNARIO

Prima di parlare della situazione climatica di trentamila anni fa, conviene dare un quadro complessivo di come si siano ciclicamente ripetute le oscillazioni di temperatura che hanno caratterizzato il Quaternario¹¹ e che vanno sotto il nome di glaciazioni, limitandoci soltanto a quelle che si sono succedute nell'ultimo milione di anni. Non verranno prese in considerazione le epoche precedenti, le cui glaciazioni sono ancora più problematiche da definire sia come cronologia, sia come cause che hanno innescato il fenomeno.

Fino a pochi decenni fa, si pensava che vi fossero state quattro grandi glaciazioni i cui nomi, mutuati da quelli di quattro affluenti del fiume Danubio, sulle cui morene avevano lavorato e studiato generazioni di geologi alpini, si imparavano a memoria a scuola: Günz, Mindell, Riss, Würm, rispettivamente dalla più antica alla più recente. Le date che indicavano i loro limiti cronologici, però, non sono mai state ben definite, tanto che basta consultare le enciclopedie pubblicate attorno alla metà del secolo scorso per rendersi conto di quanta variabilità vi fosse nello stabilire gli intervalli di tempo in cui venivano suddivisi i vari periodi glaciali e quelli interglaciali, soprattutto quando ci si riferiva alle fasi più antiche. Alcuni autori inserivano altre due glaciazioni precedenti: la Biber e la Donau e, saggiamente, si limitavano a dare delle descrizioni molto generiche di questi fenomeni, evitando di specificare i loro limiti cronologici, tanto più che, oltre all'impossibilità di determinare una cronologia precisa, non era (e non lo è ancora oggi) del tutto chiaro il meccanismo che innescava (e che, probabilmente, innescherà in un futuro più o meno lontano) queste singolari oscillazioni che mettevano (e metteranno) in moto le lentissime variazioni della temperatura media del nostro pianeta con l'alternanza di fasi di freddo, più o meno rigido e più o meno secco, ad altre fasi decisamente più umide e più temperate. Le ipotesi avanzate per giustificare le glaciazioni possono essere associate a tre distinti fenomeni geofisici, che sono ritenuti le probabili cause delle variazioni climatiche:

- Ipotesi astronomica: la causa è dovuta alle variazioni periodiche dei principali parametri orbitali della Terra;
- Ipotesi atmosferica: la causa è dovuta alle variazioni della percentuale di anidride carbonica (CO₂) presente nell'aria che può dipendere, ad esempio, dalle emissioni vulcaniche, ecc.;
- Ipotesi continentale: la causa è dovuta agli spostamenti tettonici (deriva dei continenti) che, modificando i percorsi delle correnti oceaniche, alterano, di conseguenza, tutto il clima del pianeta.

Attualmente, vi è una leggera propensione per la prima ipotesi, quella astronomica, basata sugli studi effettuati nella prima metà del Novecento (1924) dallo scienziato serbo M. Milankovitch che, oltre a chiamare in causa i fenomeni legati ai parametri orbitali della Terra (variazione dell'eccentricità dell'orbita e della precessione degli equinozi) prende in considerazione anche le variazioni dell'attività solare. Sovrapponendo opportunamente i fenomeni astronomici citati sopra con le loro ciclicità, come si può vedere nelle curve del grafico sottoriportato, è possibile notare una certa corrispondenza con la curva tracciata più in basso, che riporta i picchi glaciali e quelli interglaciali. Si tratta però di una corrispondenza approssimativa, con alcune incertezze, infatti, ci sono dei picchi che sono solo parzialmente sincronizzati e non del tutto sovrapponibili ai fenomeni astronomici.

¹¹ Il Quaternario parte da 2,6 milioni di anni fa e arriva fino ai nostri giorni. Nel 2009 la Commissione Internazionale di Stratigrafia ne ha ampliato i limiti cronologici con le relative sottodivisioni (la parte finale del Pliocene, il Pleistocene e l'Olocene), dopo che negli anni '90 del secolo scorso erano state sollevate non poche critiche da parte dei vari comitati scientifici, relative alle precedenti definizioni di Quaternario.

A questo va aggiunto che, se è vero che i parametri orbitali terrestri possono essere calcolati in anticipo, nessuna ipotesi può essere fatta sulle fluttuazioni dell'attività solare futura, con la conseguente impossibilità di poter fare delle previsioni attendibili per i millenni a venire¹².

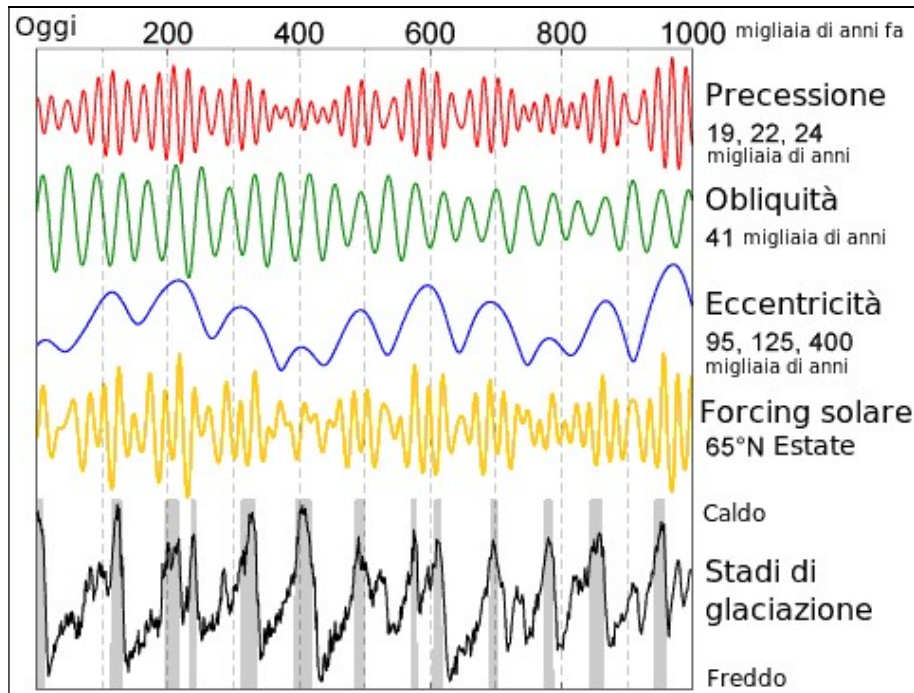


Fig. 11. Correlazione tra fenomeni astronomici e periodi glaciali / interglaciali nell'ultimo milione di anni. (Documenti e disegni UNIFE)

Quello che importa notare, tuttavia, è che i picchi di freddo alternati ai periodi temperati che si sono succeduti nell'ultimo milione di anni, sono molti di più di quanto si pensasse fino a qualche decennio fa; infatti si possono contare almeno una dozzina di stadi glaciali e circa altrettanti stadi interglaciali, anche se non tutti sono della stessa entità. Naturalmente è stato possibile arrivare a una simile precisione perché sono stati scoperti altri fenomeni fisici che permettono di definire, in modo decisamente più dettagliato, queste singolari oscillazioni della temperatura media della Terra. Neanche a farlo apposta, il principio su cui si basano le nuove tecniche utilizzate per evidenziare le variazioni della temperatura media globale del nostro pianeta, sfrutta – ancora una volta – la distribuzione percentuale degli isotopi di un elemento che è molto diffuso nelle acque che ricoprono più dei due terzi della superficie terrestre, e che è, quindi, presente anche nelle calotte polari di ghiaccio: l'Ossigeno¹³.

¹⁶ O	99,762%	stabile con 8 neutroni
¹⁷ O	0,038%	stabile con 9 neutroni
¹⁸ O	0,2%	stabile con 10 neutroni

Fig. 12. Gli isotopi stabili dell'Ossigeno, con le relative percentuali di distribuzione (Documenti e disegni UNIFE)

¹² Oggigiorno, oltretutto, dobbiamo considerare una variabile in più rispetto al passato: l'attività antropica e le sue conseguenze il cui peso, però, non è valutato in maniera univoca dai vari comitati scientifici internazionali.

¹³ L'Ossigeno è presente in abbondanza anche nell'atmosfera sottoforma di gas, tuttavia ora ci interessa quella parte di Ossigeno che, legato all'Idrogeno, forma le molecole dell'acqua allo stato liquido e quelle di ghiaccio allo stato solido.

Anche le molecole di acqua e di ghiaccio sono formate, ovviamente, con le stesse percentuali di isotopi dell'Ossigeno, dove ogni atomo di quest'ultimo risulta legato a due atomi di Idrogeno. Da un punto di vista chimico, gli isotopi di un elemento non sono separabili, perché presentano esattamente le stesse caratteristiche elettro-chimiche, ma da un punto di vista fisico il loro peso leggermente diverso, dovuto a un maggior o minor numero di neutroni contenuti nel nucleo, determina una piccola differenza di massa che ne permette la loro separazione.

Il principio su cui si basano le moderne misure cronotermologiche è la distribuzione del rapporto percentuale dei due isotopi stabili dell'Ossigeno che formano le molecole delle acque dei mari e degli oceani e che va soggetto a delle fluttuazioni nel tempo e queste fluttuazioni possono essere messe in relazione con le variazioni delle temperature medie globali terrestri. Le molecole di acqua che contengono Ossigeno16, essendo più leggere rispetto a quelle formate con Ossigeno18 hanno la tendenza ad evaporare con maggiore facilità quindi, durante i periodi freddi, la neve che cade e che rimane imprigionata sotto forma di ghiaccio nelle calotte polari presenterà una maggiore percentuale di Ossigeno16 (perché era acqua di origine marina, dovuta all'evaporazione) e – per lo stesso motivo – le acque oceaniche, invece, si trovano arricchite di Ossigeno18 pesante, perché i ghiacciai, trattenendo per lungo tempo l'acqua evaporata, ne impediscono il pronto ritorno agli oceani al fine di ripristinare l'equilibrio isotopico originale. Le oscillazioni climatiche dovute alle glaciazioni, in definitiva, hanno alterato ciclicamente i rapporti percentuali degli isotopi dell'Ossigeno che componevano le molecole dell'acqua presenti negli oceani e nei mari della Terra, così come hanno alterato il rapporto di quelle presenti nel ghiaccio delle calotte polari.

Si tratta, dunque, di trovare le “registrazioni” di queste variazioni nelle quali sia possibile evidenziare le fluttuazioni percentuali degli isotopi dell'Ossigeno nelle varie epoche, con la condizione aggiuntiva che queste registrazioni dovranno essere leggibili e interpretabili tramite opportuni procedimenti e apparecchiature specifiche. Come nel caso visto precedentemente per la datazione assoluta con il Carbonio14, anche questa volta dovranno essere utilizzate tecniche e misure particolarmente complesse e sofisticate, che vengono effettuate mediante opportune operazioni di carotaggio del fondo oceanico e delle calotte polari. Nel caso delle carote oceaniche si andranno a misurare le variazioni delle percentuali di Ossigeno16 e 18 presenti nei gusci dei coralli, dei foraminiferi, ecc. che si sono depositate e accumulate stratigraficamente sul fondo oceanico¹⁴. Nel secondo caso, invece, si misureranno le stesse percentuali isotopiche depositate e accumulate (sempre stratigraficamente) nelle molecole di ghiaccio delle calotte polari. In entrambe i casi, ovviamente, tanto più lunga sarà la carota estratta, tanto più indietro si risalirà nel tempo. I risultati finali di queste operazioni sono visualizzati per mezzo di grafici simili a quello soprariportato in cui, oltre a poter contare la quantità di picchi degli stadi glaciali / interglaciali, si può notare anche lo strano andamento a dente di sega della curva: il processo che porta al massimo glaciale è sempre piuttosto lento e oscillatorio, mentre la risalita verso la fase interglaciale temperata è sempre piuttosto brusca e repentina.

¹⁴ I gusci di questi organismi marini sono essenzialmente costituiti da CaCO_3 , il carbonato di calcio che contiene, come indica chiaramente la formula, tre atomi di Ossigeno.

IL CLIMA DI TRENTAMILA ANNI FA

Dopo aver visto il fenomeno delle glaciazioni in generale, ora dobbiamo fermare l'attenzione all'incirca tra trenta e trentacinquemila anni fa, il periodo che maggiormente ci interessa, perché è proprio questa l'epoca in cui visse il *Bos primigenius* del quale abbiamo trovato i resti. Come si può notare nel grafico di Fig. 13, la temperatura non si era ancora significativamente rialzata dal picco del Würm medio (datato a circa 60 mila anni fa) e già ci si incamminava verso il successivo picco di freddo del Würm recente (datato a circa 20 mila anni fa), il più intenso che si sia verificato negli ultimi 150 mila anni. I ghiacciai, con il loro peso, scavavano e abradavano il suolo della pianura, sollevandolo lungo il loro fronte di avanzamento e creando i cordoni delle colline moreniche, assai evidenti nel caso dei laghi lombardi.

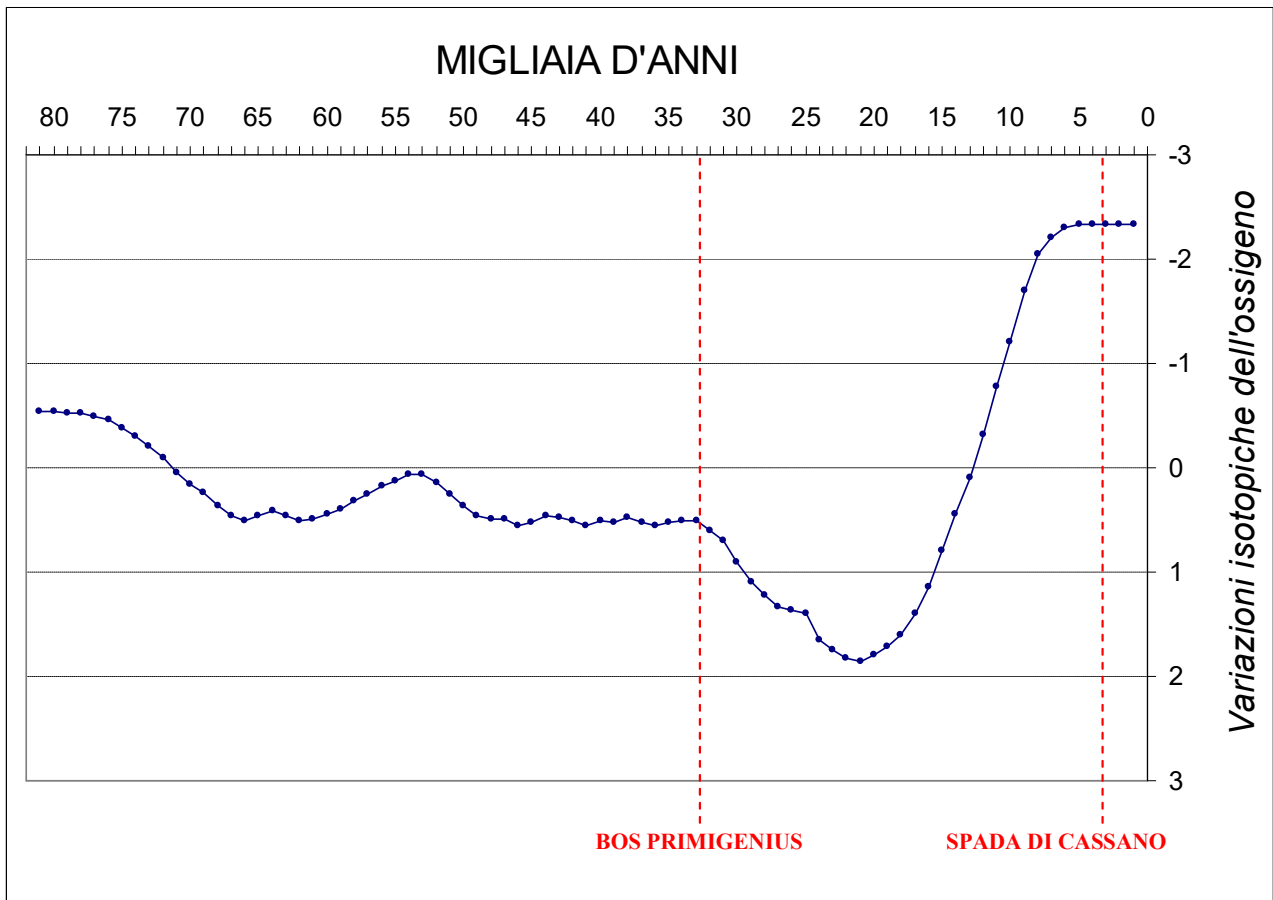


Fig. 13. *Le variazioni isotopiche dell'Ossigeno legate alle variazioni climatiche degli ultimi 80 mila anni (Documenti Archivio GAEM)*

In concomitanza con i picchi glaciali vi erano effetti collaterali molto importanti che, spesso però, passano in secondo piano, o vengono addirittura trascurati. Quello più spettacolare era sicuramente l'abbassamento del livello dei mari e degli oceani che, secondo gli studi e le evidenze geologiche, poteva essere anche di 120 metri al di sotto del livello attuale, nei periodi di freddo più intenso. Questo significa che molte isole, allora, erano collegate ai continenti e costituivano delle semplici penisole, così come la grande estensione dei ghiacciai creava dei ponti di collegamento oggi non più esistenti: basti pensare allo stretto di Bering che rendeva possibile il transito di animali, ma anche di uomini, dall'Asia all'America del Nord. L'attuale mare Adriatico era praticamente una pianura asciutta fino all'altezza di Ancona e il letto del fiume Po, così come quello dell'Adige (che, allora a

differenza di oggi, era un suo affluente) hanno inciso in profondità l'attuale fondo marino dell'Adriatico. L'Adda, il Ticino e tutti gli altri fiumi che solcano la Pianura Padana scavavano il loro alveo molto più efficacemente di quanto non lo facciano oggi, perché i territori dove ora sorgono i nostri paesi allora si trovavano a circa 250 metri sopra il livello del mare, rispetto agli attuali 130 metri circa, di conseguenza la corrente fluviale possedeva molta più energia.

In compenso le vallate alpine erano colme di ghiaccio e questo significa che le Alpi costituivano una barriera assolutamente insuperabile. I collegamenti con le regioni transalpine si riducevano a delle strettissime lingue di terra, in pratica le fasce costiere a ridosso dei mari; non a caso, a cavallo dell'ultimo pleniglaciale si è avuta una frammentazione delle ultime culture del Paleolitico superiore: mentre a nord delle Alpi si svilupperanno le cosiddette culture del *Solutreano* e del *Maddaleniano* che, poi, sfoceranno nell'*Aziliano* e nel *Mesolitico*, l'Italia rimase piuttosto isolata e sviluppò la sua cultura *Epigravettiana*, differenziata nella facies tirrenica e in quella adriatica, ma entrambe ben diversificate rispetto alle culture dell'Europa centrale.



Fig. 14. L'acqua imprigionata sottoforma di ghiaccio nelle calotte polari e nei ghiacciai alpini durante il pleniglaciale abbassava sensibilmente il livello dei mari e degli oceani: molte delle isole attuali erano delle semplici penisole e l'Adige era un affluente del Po. (Documenti e disegni UNIFE)

I CAMBIAMENTI DELLA FLORA E DELLA FAUNA

Se l'abbassamento dei livelli oceanici e marini rappresentano l'aspetto che, probabilmente, colpisce maggiormente la nostra immaginazione, per le necessità della vita quotidiana dei nostri antenati preistorici avevano sicuramente più importanza gli spostamenti, in senso geografico, delle associazioni vegetali e, immediatamente a seguire, delle associazioni faunistiche, entrambe conseguenza diretta dei cambiamenti climatici.

Quando si definiscono le associazioni floristiche in funzione della posizione geografica e dell'altitudine di un determinato territorio, viene dato per scontato che le temperature medie stagionali e il regime di precipitazioni siano e si mantengano comparabili con le condizioni climatiche attuali, ossia che si tratti di un periodo temperato interglaciale e, con riferimento all'Italia del nord, sufficientemente umido. Basta andare indietro nel tempo di qualche decina di migliaia di anni, però, per accorgersi che la situazione climatica poteva essere ben diversa: se le vallate alpine erano colme di ghiaccio e le montagne – ma anche le colline – erano costantemente ricoperte di neve, significa che lì, non poteva assolutamente crescere né erba, né piante e siccome oltretutto le temperature medie erano più basse, ne consegue che le praterie d'alta quota e le conifere (abeti, pini, larici, ecc.) che oggi possono arrivare fin oltre i 2000 metri di altitudine, dovevano per forza di cose occupare uno spazio decisamente più in basso, a cavallo tra l'alta pianura e la primissima fascia collinare. Lo stesso slittamento geografico doveva valere per i boschi di fagacee (faggio, castagno, querce, ecc.) e betullacee (carpini, betulle, ontani, ecc.) che, a loro volta, dovevano occupare lo spazio della bassa pianura dove oggi troviamo pioppi, salici, tigli, aceri campestri e via dicendo, mentre la macchia mediterranea (leccio, corbezzolo, tamerice, ginestra, ecc.) era limitata a una strettissima fascia litoranea, che, con la risalita dei livelli oceanici, oggi risulta per buona parte sommersa dalle acque. Si veniva a creare, in sostanza, una sfasatura dei territori geografici occupati dalle associazioni floristiche e vegetali abbastanza netta rispetto alle distribuzioni attuali.

Questa situazione, ovviamente, si manteneva fintanto che le temperature restavano rigide. Non appena il clima iniziava a migliorare e i ghiacciai cominciavano a ritirarsi, la flora si riappropriava immediatamente del terreno lasciato libero, cominciando il lento processo a ritroso di riconquista delle aree che andavano liberandosi dalla neve e dai ghiacci. Questi cicli si sono ripetuti regolarmente con la stessa frequenza con cui si sono alternati gli stadi glaciali e quelli interglaciali. In modo del tutto simile allo spostamento geografico delle associazioni floristiche, si verificava pure lo spostamento geografico nella distribuzione delle associazioni faunistiche, perché gli animali che attualmente troviamo in alta montagna (stambecchi, camosci, marmotte, ecc.) per continuare a sopravvivere nel loro habitat naturale dovevano necessariamente seguire lo spostamento geografico delle conifere e delle praterie d'alta quota, mentre gli animali tipici che vivevano nella macchia e nei vasti boschi di latifoglie (cinghiali, cervi, caprioli, ecc.) dovevano necessariamente ritrovare il loro habitat nella nuova posizione geografica dove si erano dislocati i boschi di latifoglie. In definitiva quindi, quando si considerano le epoche preistoriche, bisogna tenere conto di questi periodici sfasamenti geografici che si sono susseguiti ripetutamente nelle distribuzioni territoriali delle associazioni floristiche e faunistiche. Ma c'è di più, studiando i reperti paleontologici preistorici a cavallo dell'ultimo picco glaciale di circa 20 mila anni fa, ci si è accorti che la fauna selvatica italiana attuale (ma anche quella europea in generale) si è drasticamente impoverita rispetto a quella che popolava, allora, il nostro territorio.

Parte di quella fauna si è estinta (mammut e rinoceronte lanoso, megacero, ecc.) parte si è stabilita a latitudini più elevate (orsi, bisonti, ecc.) o più basse (felini, elefanti, ecc.), ma certamente non è pensabile che alcune di quelle specie possano riappropriarsi dei territori che l'uomo ha irrimediabilmente sottratto loro, riducendo drasticamente o cancellando del tutto i loro habitat naturali.

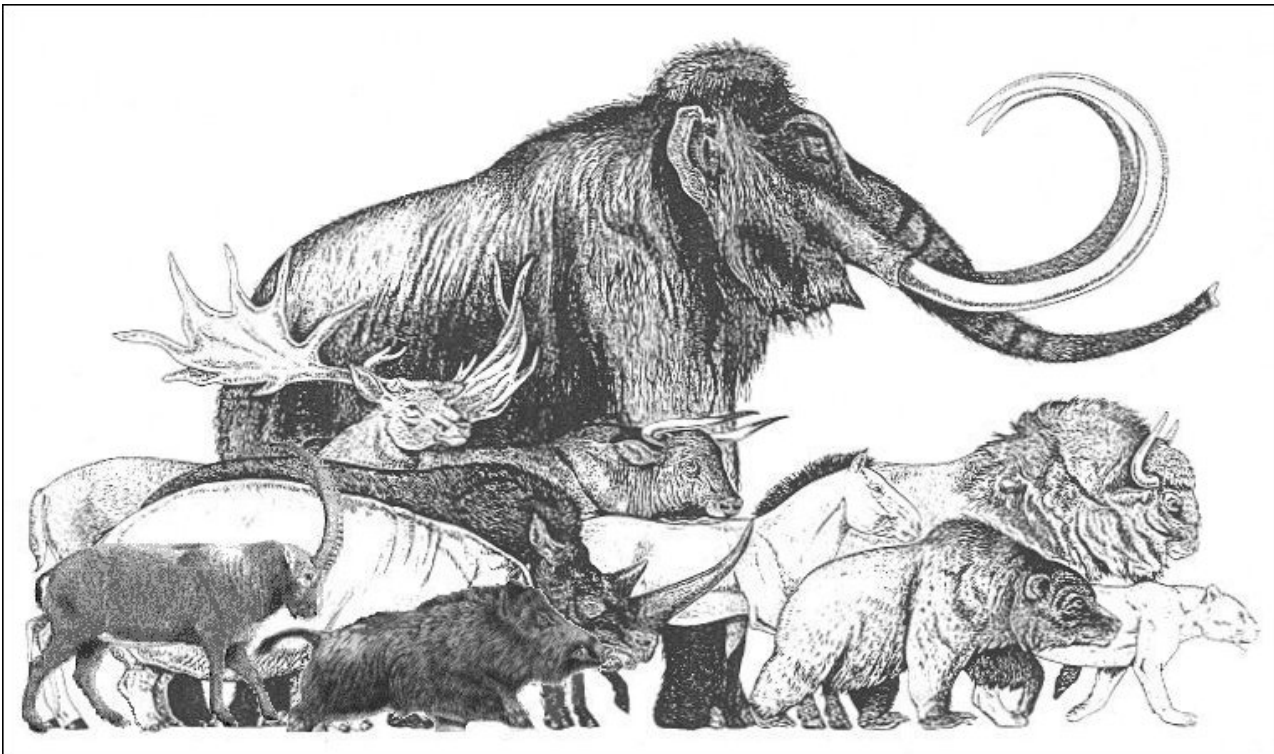


Fig. 15. La fauna selvatica olocenica si è drasticamente impoverita rispetto a quella pleistocenica. Immagine tratta dalle dispense delle lezioni di: *Evoluzione degli insiemi faunistici del Quaternario, relative al corso di laurea specialistica in Scienze Preistoriche dell'Università di Ferrara*

HOMO SAPIENS NEANDERTHALENSIS E HOMO SAPIENS SAPIENS

La data di trentamila anni fa - periodo in cui è vissuto il *Bos primigenius* di cui ci sono pervenuti i reperti - oltre ad essere importante da un punto di vista climatologico/floristico/faunistico, come abbiamo visto sopra, è una data fondamentale anche per quanto riguarda la distribuzione del genere *Homo*: il *sapiens-sapiens* (*Cro-Magnon*) arrivato dall'Africa, sta soppiantando il *Neanderthalensis* che potremmo considerare l'Europeo "doc", visto che ha vissuto sul nostro continente per più di 150 mila anni ed era il diretto discendente dell'*Homo heidelbergensis*, ossia l'*Homo erectus* europeo. A partire dagli anni Novanta del secolo scorso, gli studi di genetica delle popolazioni basati sull'analisi del DNA hanno avuto un enorme sviluppo, aprendo nuovi scenari e queste tecniche sono state prontamente applicate anche allo studio dei reperti paleontologici e antropologici.

Nel 2003 sono stati prelevati dei campioni da reperti di sepolture di *Homo sapiens-sapiens* (*Cro-Magnon*) provenienti dalla grotta Paglicci in Puglia che risalgono a circa 25 mila anni fa. Le analisi effettuate su questi reperti hanno mostrato che le differenze tra il loro genoma e quello di un Europeo moderno sono le stesse che ci sono tra due Europei moderni (in sostanza, non ci sono differenze genetiche tra noi e i *Cro-Magnon* di 25 mila anni fa). Al contrario, invece, il genoma dei Neandertaliani non assomiglia al genoma di nessuna popolazione attuale europea o africana, ci sono differenze evidenti e, se le stesse differenze esistevano già 25 mila anni fa, questo sta a significare che i Neandertaliani si sono estinti senza amalgamarsi più di tanto con i nuovi arrivati (l'*Homo sapiens-sapiens*), altrimenti il genoma di questi ultimi avrebbe dovuto essere abbastanza simile a quello dei Neandertaliani e si sarebbe dovuto modificare gradualmente nel tempo fino ad arrivare ai nostri giorni.

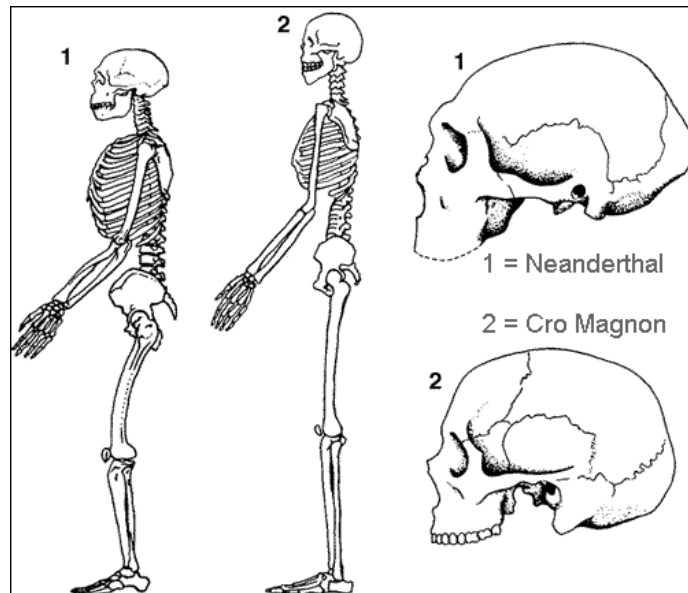


Fig. 16. *Struttura ossea a confronto: scheletro di Homo sapiens neanderthalensis e Homo sapiens-sapiens. Immagine tratta dalle dispense del corso di: Paleontologia umana e Paleoantropologia, relative al corso di laurea specialistica in Scienze Preistoriche dell'Università di Ferrara*

L'ideale sarebbe poter confrontare il genoma di un uomo di *Neanderthal* con quello di un *Cro-Magnon* che abbiano vissuto nello stesso periodo - più o meno 35 mila anni fa - per poter confermare la tesi attualmente accreditata che la loro distanza genetica non si è mai ridotta e, dunque, noi moderni discendiamo soltanto dai *sapiens-sapiens* africani e non dal *sapiens-neanderthalensis* europeo, il quale, invece, si sarebbe semplicemente estinto¹⁵.

In ogni caso, trentamila anni fa, sulle tracce del nostro *Bos primigenius* avremmo potuto incontrare sia cacciatori del genere *Homo sapiens neanderthalensis*, piuttosto tarchiati e massicci, sia altri cacciatori meno tarchiati, ma più agili: i rappresentanti del genere *Homo sapiens sapiens*. Entrambi erano diventati abilissimi nello scheggiare la selce, materiale con cui fabbricavano gli utensili per uso domestico, ma che usavano anche per costruire le punte per le frecce e per le lance. A causa della fragilità della materia prima, i cacciatori del Paleolitico portavano sempre con sé dei nuclei di pietra dalla quale ricavare nuove armi, indispensabili per la caccia: la materia prima da scheggiare, infatti, non si trovava nelle nostre zone di pianura, dove i ciottoli sono essenzialmente costituiti da calcare (carbonato di calcio), quindi bisognava gestire questa risorsa con oculatazza, scheggiando di nuovo e ritoccando, quando era il caso, le punte già usate, che si rompevano con una certa facilità.

Per imprimere maggior velocità e potenza alla lancia, sapevano usare il propulsore, una sorta di leva di prolungamento del proprio braccio, che permetteva di accompagnare la lancia per uno spazio e per un tempo più lungo rispetto a un lancio senza l'ausilio di questo strumento, come usano fare ancora oggi alcune popolazioni primitive che vivono di caccia e di allevamento.

Una recentissima scoperta¹⁶ fatta dagli antropologi dell'Università di Ferrara in collaborazione con gli archeozoologi del Museo Nazionale Preistorico Etnografico "L. Pigorini" di Roma, presso la grotta di Fumane in provincia di Verona¹⁷, ha permesso di capire che i nostri cugini Neandertaliani usavano le penne più belle degli uccelli e altri resti di animali a scopi ornamentali.

¹⁵ Gli studi sul DNA relativi alla genetica di popolazione sono in pieno sviluppo e potrebbero confermare o smentire, in un futuro anche prossimo, parecchie delle teorie antropologiche attuali.

¹⁶ Gli studi relativi a questa scoperta sono stati resi noti nei primi mesi del 2011 e sono pubblicati sulla rivista internazionale *Proceedings of the National Academy of Science* (<http://www.pnas.org/content/108/10/3888.abstract>).

¹⁷ Si tratta di un sito archeologico pluristratificato dove hanno fatto le loro esperienze di scavo generazioni di studenti universitari.

L'immagine che i film *western* ci hanno regalato degli Indiani delle grandi praterie d'America addobbati con le loro caratteristiche piume, sembra essere molto più antica di quanto si possa immaginare, infatti l'aspetto degli *Apaches*, dei *Sioux*, degli *Cheyenne*, ecc. che abbiamo nella nostra testa, probabilmente è del tutto simile a quella dei Neandertaliani che vivevano sul nostro territorio e sulle nostre montagne più di 40 mila anni fa; unica differenza: i Neandertaliani avevano la pelle molto chiara (probabilmente più della nostra, a causa alla scarsa irradiazione ultravioletta che c'è in Europa, dove loro hanno vissuto per 150 mila anni, prima dell'arrivo dell'*Homo sapiens-sapiens* dall'Africa, circa 40 mila anni fa) e un certo numero di loro dovevano avere barba e capelli biondo/rossicci.



Fig. 17. Disegno che mostra, in modo verosimile, quello che doveva essere l'aspetto di un Neandertaliano del Nord Italia, circa 44 mila anni fa (Documenti e disegni UNIFE)

CONCLUSIONI

Per ora, i resti del *Bos primigenius* trovati presso la cava della ditta Colombo di Gropello d'Adda rappresentano i reperti paleontologici più antichi del nostro territorio, confrontabili con reperti simili che si possono ammirare al Civico Museo Sutermeister di Legnano¹⁸, al Civico Museo di Crema e del Cremasco e alla collezione privata Pisani-Dossi di Corbetta, ma anche con le zanne e i molari di *Mammuthus primigenius* e altri reperti paleontologici che furono trovati nei primi anni del Novecento nelle cave estrattive presso le cascine Mancatutto e Moncucco (entrambe alla periferia di Milano) a una profondità di circa 5 metri. Questi reperti erano esposti presso il Museo Civico di Storia Naturale di Porta Venezia a Milano, ma sono andati dispersi, purtroppo, durante i bombardamenti e il successivo incendio avvenuto durante la Seconda Guerra Mondiale¹⁹.

¹⁸ I reperti di *Bos primigenius* esposti al Museo di Legnano sono stati trovati, rispettivamente, nella cava vicino al castello di Legnano e nella cava di Cuggiono.

¹⁹ Le zanne e i molari di elefante conservati presso il Museo di Storia Naturale di Milano, purtroppo non hanno potuto essere sottoposti alla tecnica di datazione assoluta del Carbonio14; tecnica che, come abbiamo già avuto modo di scrivere, è stata scoperta e applicata soltanto dopo la Seconda Guerra Mondiale.

Essendo l'attività estrattiva della ghiaia e della sabbia per uso edile ancora oggi molto praticata sul nostro territorio, sarebbe auspicabile che possano venire alla luce altri reperti paleontologici di questo genere. Infine, non possiamo che rimanere piacevolmente sorpresi e ammirati dalla straordinaria e lunghissima galoppata di questo *Bos primigenius (cropelensis)*. Una galoppata che lo ha portato direttamente dal Paleolitico superiore fino ai nostri giorni e fin dentro a un laboratorio di fisica nucleare, dove è stato possibile stabilire in quale lontana epoca abbia vissuto e abbia pascolato, in compagnia degli altri esemplari del suo branco.

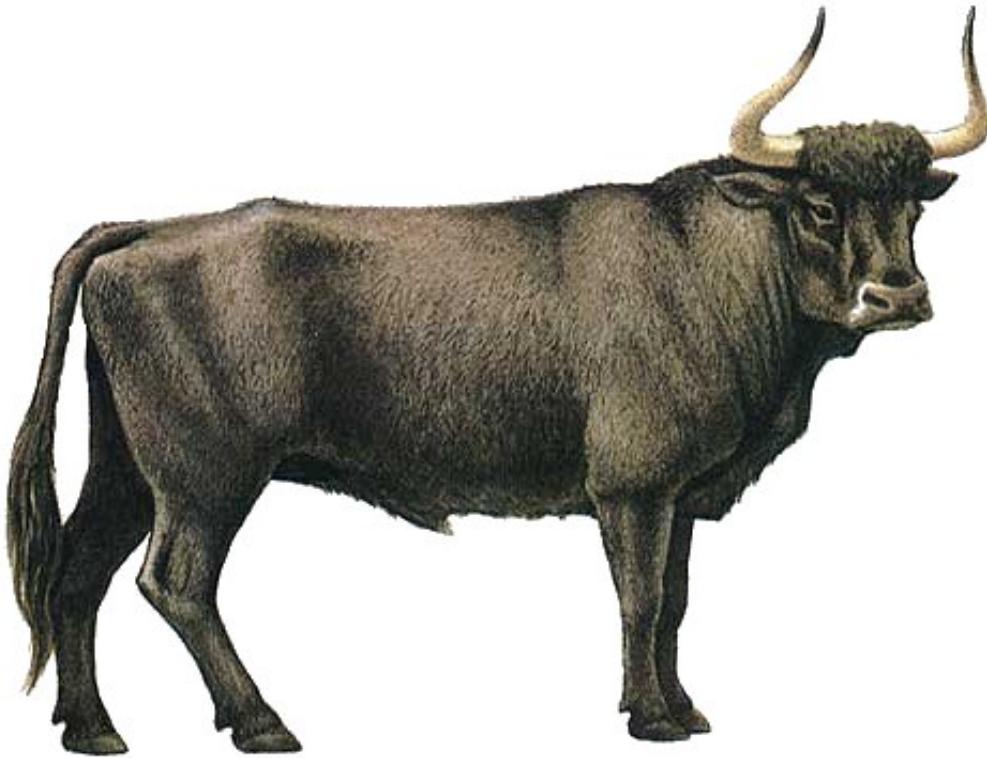


Fig. 18. *Disegno di un Bos primigenius: la sua stazza era superiore a quella dei bovini attuali e le corna erano vagamente a forma di lira. Essendo una specie selvatica, la sua indole non era, però, pacifica e tranquilla come quella dei bovini domestici attuali. (Documenti e disegni UNIFE)*

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., *Paleontologia-Antropologia*, Enciclopedia delle Scienze De Agostini, Novara, 1986

BORGOGNINI TARLI S., MASALI M., *Antropologia e Antropometria*, Collezioni ISEF, UTET, Torino, 1988

FACCHINI F., *Evoluzione, Uomo, Ambiente, Lineamenti di Antropologia*, UTET, Torino, 1988

FEDI M., *Development of the radiocarbon AMS laboratory at the new Tandatron accelerator in Florence*, Dottorato di ricerca in Fisica - XVI ciclo, Università degli Studi di Firenze, 2004

LAZZERI B., *Datazione con il metodo del ^{14}C tramite spettrometria di massa con acceleratore*, tesi di laurea in Fisica, Università degli Studi di Firenze, A.A. 2003/2004

MORIMANDO F., TASSONI A., *Manuale di gestione faunistica del territorio*, REDA, Bologna, 2004

PIGNATTI S., *Ecologia del Paesaggio*, UTET, 1994

RAFFI S., SERPAGLI E., *Introduzione alla Paleontologia*, UTET, Scienze della Terra, Torino, 2001

UBALDI D., *Geobotanica e Fitosociologia*, Clueb, Bologna, 1997