



## PREISTORIA DEL CIBO

50<sup>ma</sup> Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria  
*L'uomo è ciò che mangia? - Sessione 1*

---

### **6. Gli isotopi stabili e la ricostruzione delle economie di sussistenza delle popolazioni della Pianura Padana dal Neolitico al Bronzo Antico**

PAOLA IACUMIN\*, ANTONIETTA DI MATTEO\*

#### INTRODUZIONE

Se è vero che la cultura di un popolo passa anche dal piatto, la ricostruzione delle paleo-diete e delle economie di sussistenza delle popolazioni antiche rappresenta un tema molto affascinante per conoscere gli stili di vita di queste civiltà. Un approccio multidisciplinare a questo argomento si è rivelato molto efficace in termini di completezza delle informazioni e di accuratezza delle ricostruzioni. Tra le discipline, umanistiche e scientifiche, che si occupano di queste tematiche vi è anche la Geochimica degli isotopi stabili.

La misura delle abbondanze isotopiche di alcuni elementi in reperti scheletrici fossili costituisce una tecnica ormai consolidata per ricavare informazioni su alcuni aspetti della nutrizione in comunità anche molto antiche. Sulle ossa e sui denti fossili è possibile determinare la composizione isotopica di vari elementi, espressa in ‰ rispetto a uno standard internazionale, come ad esempio il carbonio e l'azoto misurati sia nella componente organica (collagene) che in quella minerale (idrossiapatite). In particolare, i valori di composizione isotopica del carbonio permettono la distinzione fra una dieta costituita prevalentemente da piante a ciclo fotosintetico C3 rispetto a quella nella quale predominano le piante C4. Il gruppo delle piante C3 (che comprende la maggior parte delle piante commestibili alle medie latitudini) presenta un valore medio di -26,5‰ mentre le piante C4 (come il mais e il sorgo) possiedono valori isotopici sensibilmente meno negativi, mediamente del -12,5‰ (O'Leary 1981; Smith 1972; Deines 1980). Tale differenza si conserva inalterata nei tessuti dei consumatori.

Nel caso del collagene il  $\delta^{13}\text{C}$  si riferisce essenzialmente al valore della frazione proteica introdotta con la dieta, mentre quello misurato nell'apatite riflette la composizione isotopica del carbonio di tutti i macronutrienti inseriti nel regime alimentare (Ambrose e Norr 1993; Tieszen e Fagre 1993; Harrison e Katzeberg 2003; Froehle *et alii* 2010). Inoltre, è stato dimostrato che la differenza che

---

\* Università degli Studi di Parma, Parco Area delle Scienze 157/A, 43124 Parma. e-mail: paola.iacumin@unipr.it; antonietta.dimatteo@unipr.it

ussiste tra i valori di  $\delta^{13}\text{C}$  di collagene e apatite ( $\Delta_{\text{ap-coll}}$ ) fornisce ulteriori informazioni sulla fonte delle proteine ingerite.

Numerosi studi condotti sugli umani e sui grandi erbivori (Vogel e van der Merwe 1977; Krueger e Sullivan 1984) mostrano che il collagene risulta arricchito mediamente di +5‰ rispetto alla dieta. Tale valore (e più precisamente quello di 4,4‰) si ottiene però soltanto quando sia le proteine sia le altre componenti nutrizionali presentano lo stesso valore di  $\delta^{13}\text{C}$  nell'ambito, quindi, di una dieta mono-isotopica (Ambrose e Norr 1993). Il fattore di frazionamento isotopico tra dieta e apatite è invece di circa +12‰ nel caso degli erbivori e del +8-9‰ per i carnivori (Krueger e Sullivan 1984; Lee-Thorp *et alii* 1989). Di conseguenza gli erbivori, la cui dieta è basata essenzialmente su carboidrati, mostrano in genere una maggiore differenza tra  $\delta^{13}\text{C}$  del collagene e  $\delta^{13}\text{C}$  dell'apatite (circa 7‰) rispetto ai carnivori e agli onnivori per i quali il  $\Delta$  è minore a causa dell'arricchimento in carbonio pesante per la maggiore quantità di proteine ingerite (circa 4-6‰); i valori minimi sembrerebbero appartenere a popolazioni di pescatori (2,6‰ circa) (Krueger e Sullivan 1984; Lee-Thorp *et alii* 1989; Ambrose *et alii* 1997; Harrison e Katzenberg 2003).

Tutti questi parametri ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$  e  $\Delta_{\text{coll-ap}}$ ) ci permettono di risalire alle caratteristiche fondamentali della dieta, ma ognuno di essi ci fornisce un'informazione diversa e influenzata da vari fattori (effetti trofici, taglia dell'animale, differente metabolismo). Nel 2007 Kellner e Schoeninger proposero un nuovo modello per la ricostruzione delle diete delle popolazioni preistoriche, basato sull'individuazione di tre rette di correlazione tra il  $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$  e il  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$  in grado di discriminare tra proteine C3, proteine C4 e proteine marine. Nessun tipo di effetto trofico, né di dipendenza dalle dimensioni dell'individuo sembrerebbero interferire con queste relazioni.

Il rapporto isotopico dell'azoto indica il livello trofico nel quale si colloca l'individuo in relazione all'apporto di proteine introdotte nella dieta consentendo, nel caso dell'uomo, di discriminare tra una dieta prettamente terrestre e una nella quale sono presenti discrete quantità di pesce. Nello specifico l'incremento tra un livello isotopico e l'altro è dell'ordine del 3-4‰ (Ambrose 1991, 2000; Schoeninger e De Niro 1984), inoltre le risorse animali marine presentano spesso valori elevati di composizione isotopica dell'azoto (Katzenberg 1989). Il  $\delta^{15}\text{N}$  ci consente anche di valutare se nella dieta fossero introdotte anche delle piante leguminose le quali presentano un valore di composizione isotopica molto vicina allo zero, rispetto alle piante non leguminose che presentano valori di composizione isotopica dell'azoto più elevati (White 2009).

Nel caso dei bambini, infine, questo parametro evidenzia molto bene l'effetto di arricchimento isotopico dovuto al periodo di allattamento nei primi anni di vita (Bumsted 1985).

## MATERIALI E METODI

I reperti scheletrici analizzati per questo studio sono stati rinvenuti in diverse località della provincia di Parma e presso un sito (Le Mose) in provincia di Piacenza (Bernabò Brea M. *et alii* 2010). Inoltre sono stati considerati anche un gruppo di campioni provenienti dalla Caverna delle Arene Candide in Liguria (Bernabò Brea L. 1956).

Quest'area dell'Italia settentrionale è nota per avere il maggior numero di testimonianze funerarie

neolitiche appartenenti alla cultura dei Vasi a Bocca Quadrata (VBQ). La cultura VBQ durò circa 1000 anni, dal 5000 al 3800 a.C., in datazione calibrata, e in Emilia si articola in due fasi: VBQ I: fine del VI millennio - prima metà del V millennio a.C., VBQ II: II metà del V millennio a.C. La gran parte dei reperti appartiene a una di queste fasi culturali, con l'eccezione di alcuni campioni Eneolitici e degli individui del sito di via S. Eurosia (PR) attribuiti al Bronzo Antico (2200-1600 a.C.: de Marinis 1999). Gli scavi, generalmente d'emergenza in occasione di lavori edili, sono stati condotti da Maria Bernabò Brea, funzionario della Soprintendenza per i Beni Archeologici dell'Emilia Romagna, in collaborazione con Loretana Salvadei, antropologa del Museo Nazionale Preistorico Etnografico "L. Pigorini" di Roma. L'attribuzione cronologica dei reperti è stata eseguita, dove possibile, mediante datazione al Radiocarbonio 14; in alternativa sono state valutate le evidenze archeologiche: elementi di corredo, rito funerario.

Tab. I - Schema complessivo dei reperti analizzati in questo studio

Sito	N Reperti	Ossa	M1	M3	Altro	N Individui	Cronologia
Benefizio	20	9	9	2		9	VBQ I
Collecchio	30	13	11	6		13	VBQ II
Gaione Catena	11	0	6	4	1	7	VBQ II
Gaione Cinghio	26	12	12	2		12	VBQ I
Via Guidorossi	97	35	32	20	10	38	VBQ II/ ENEO
Ponte Taro	15	6	6	3		7	VBQ I
Ponte Ghiara	8	3	3	2		3	VBQ I
Vicofertile	13	5	5	3		5	VBQ II
S. Eurosia	52	23	17	12		23	Bronzo Antico
Le Mose (PC)	87	35	31	20	1	40	VBQ I/VBQ II/ENEO
Arene Candide	16	7	6	3		7	VBQ I
Totale	375	148	138	77	12	164	

Nella Tab. I sono stati riportati per ogni sito: il numero e la tipologia di reperti analizzati, il numero d'individui e l'attribuzione cronologica. Complessivamente sono stati analizzati 132 individui di età Neolitica, 9 Eneolitici, 23 umani del Bronzo Antico rinvenuti nella Pianura Padana e 7 individui Neolitici di un sito costiero Ligure. Insieme agli umani, in alcuni dei siti sono stati rinvenuti alcuni campioni di fauna per un totale di 18 esemplari di varie specie (essenzialmente ovini e suini) utili per integrare il quadro della paleo-nutrizione.

I campioni sono stati sottoposti alla procedura chimica di purificazione del carbonato ( $\delta^{13}\text{C}$ apatite) e a quella di estrazione del collagene ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ). Nel primo caso, dopo la pulitura superficiale del reperto, una frazione di polvere è fatta reagire con NaClO per rimuovere la fase organica. Segue una seconda reazione con acido acetico per rimuovere i carbonati non strutturali (Lee-Thorp *et alii* 1989; Bocherens *et alii* 1991). La polvere d'osso così trattata è messa a reagire a 50 °C sotto vuoto per una notte con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> glaciale. L'anidride carbonica sprigionata della reazione e

opportunamente purificata è quindi analizzata allo spettrometro di massa.

La procedura di estrazione del collagene prevede sempre la pulitura dei campioni e la triturazione grossolana, quindi una prima reazione con acido cloridrico per demineralizzare il reperto lasciando inalterato il collagene. Il residuo è fatto reagire con NaOH per eliminare gli acidi umici. Al termine di questa reazione vengono portati a neutralità e posti in stufa a 100°C (Longin 1971; Ambrose 1990; Bocherens *et alii* 1991). La soluzione così ottenuta è congelata e liofilizzata al fine di eliminare l'acqua e ottenere il collagene. Quest'ultimo è, infine, pesato in capsule di stagno e misurato mediante un analizzatore elementare CHN collegato in flusso continuo d'elio allo spettrometro di massa. Tutte le analisi sono state svolte presso il laboratorio di Geochimica Isotopica dell'Università degli Studi di Parma.

#### DISCUSSIONE

Considerando il valore del  $\delta^{13}\text{C}$  dell'apatite è stata calcolata la composizione isotopica del carbonio della dieta degli individui mediante l'equazione messa a punto da Iacumin *et alii*, 2014:

$$\delta^{13}\text{C} \text{‰} = 0,9880(\pm 0,0004) \times \delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}} \text{‰} - 12$$

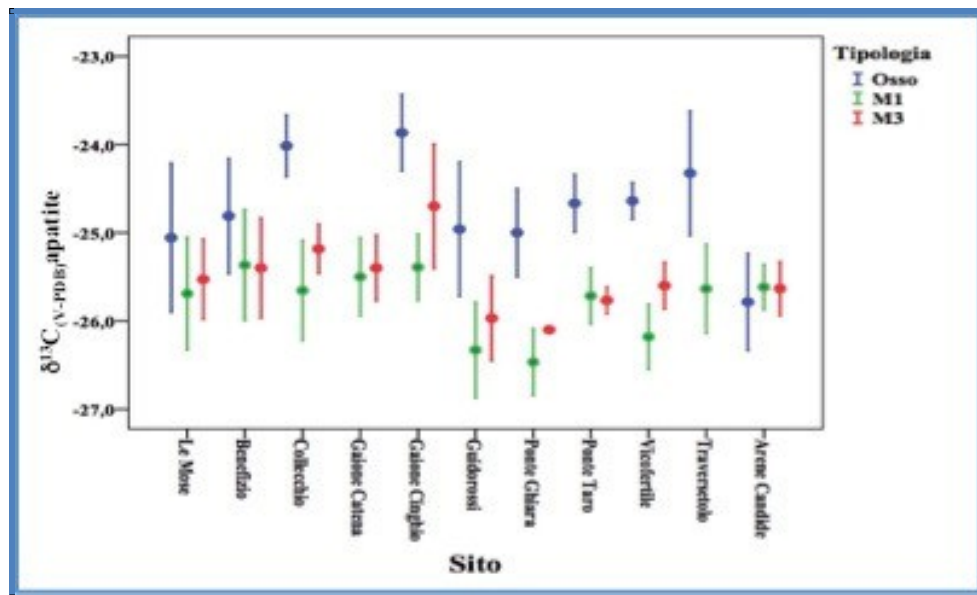


Fig. 1 - Media e deviazione standard del  $^{13}\text{C}$  della dieta per gli individui di ogni sito in base alla tipologia del reperto.

Nel grafico di Fig. 1 sono stati riportati il valore medio e la deviazione standard per ogni sito e in relazione della tipologia di reperto. Si può osservare come per tutti i casi i valori sembrano riferirsi ad una dieta costituita essenzialmente da piante a ciclo fotosintetico C3, mentre le C4 sembrerebbero del tutto assenti.

Osservando poi la variabilità tra i siti possiamo facilmente notare come i campioni di ossa delle località di Collecchio e Gaione Cinghio presentino valori meno negativi sia rispetto agli altri siti

della Pianura Padana che alla Caverna delle Arene Candide. Quest'ultimo gruppo si differenzia, nel caso dell'osso, da tutta l'area della Pianura Padana con valori mediamente più negativi. Tali differenze sono statisticamente significative (Anova e test t di Student).

Un altro elemento molto interessante è rappresentato dal fatto che per tutti i siti emiliani si osserva sistematicamente un arricchimento dell'osso rispetto ai denti. Dalla letteratura (Warinner e Tuross 2009) è noto che per svariati parametri isotopici, compreso il  $\delta^{13}\text{C}$  dell'apatite, si verifica un arricchimento in isotopi pesanti nel primo molare rispetto all'osso in ragione del fatto che questo dente, mineralizzando già prima della nascita, registra informazioni relative ai primi anni di vita i quali risultano influenzati dall'allattamento; in questo caso, invece, si verifica la condizione opposta. Lo stesso tipo di andamento è descritto anche per i terzi molari i quali mineralizzando dai 7/8 anni d'età, non dovrebbe mostrare effetti metabolici legati all'allattamento ed essere quindi confrontabile con i valori delle ossa. Nel caso del sito delle Arene Candide i campioni sembrerebbero seguire proprio l'andamento tipico per questo tipo di reperti.

Poiché un simile comportamento non si riscontra nel caso del collagene, la spiegazione potrebbe risiedere, ad esempio, nell'esistenza di processi biochimici che determinano un diverso frazionamento degli atomi di carbonio nell'apatite rispetto al collagene, oppure si potrebbe ipotizzare che, poiché questo indice riflette la composizione isotopica di tutti i macronutrienti della dieta e non solo delle proteine, qualcuna di queste componenti potrebbe influenzare diversamente il  $\delta^{13}\text{C}$  dell'osso rispetto al dente (Di Matteo 2011).

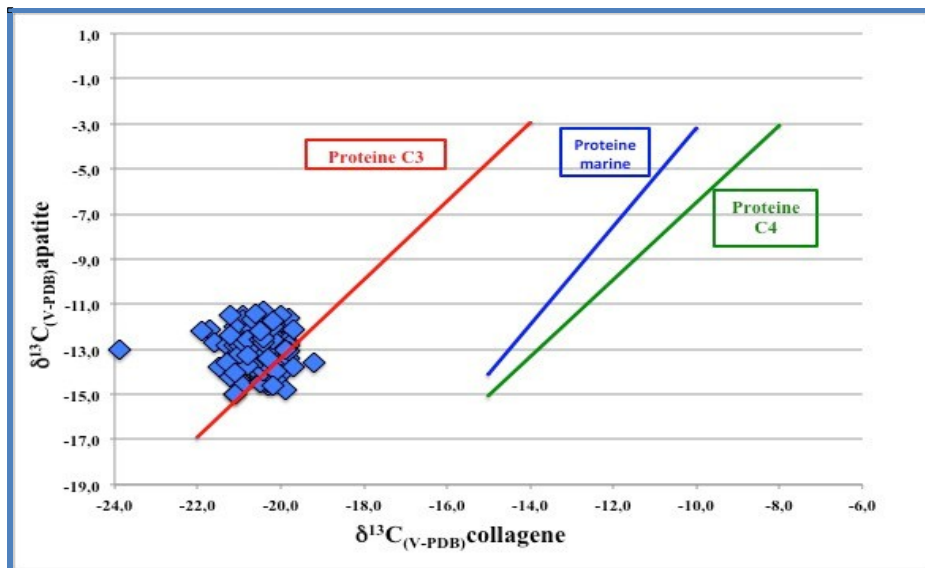


Fig. 2 - Relazione tra il  $\delta^{13}\text{C}$ collagene e il  $\delta^{13}\text{C}$ apatite per la ricostruzione della fonte di proteine (Kellner e Schoeninger, 2007).

Nel grafico di Fig. 2 il valore del  $\delta^{13}\text{C}$ apatite è stato correlato con il  $\delta^{13}\text{C}$ collagene e sono state riportate le rette che rappresentano isotopicamente le proteine derivanti da piante C3 (rossa), quelle provenienti da risorse marine (blu) e, infine, quelle relative alle piante C4 (verde) secondo il modello proposto da Kellner e Schoeninger, 2007. Osservando la disposizione dei campioni di ossa rispetto alle rette si può confermare l'ipotesi che la dieta di questi individui fosse essenzialmente

terrestre e caratterizzata dal consumo diretto o indiretto di piante C3.

La presenza della possibile assunzione di proteine animali è confermata dal rinvenimento di alcuni resti faunistici in alcuni dei siti. Si può osservare (Fig.3) come gli umani possedano valori dell'azoto più arricchiti rispetto agli animali, mediamente del 3‰. Questo dato indica proprio il salto trofico che sussiste tra umani e animali per cui, le faune in questione, rientravano nel regime alimentare di questi individui, anche se non è possibile quantificare l'entità delle proteine animali ingerite. I valori isotopici del carbonio confermano, inoltre, che anche gli animali si cibavano di piante C3. Un metodo piuttosto immediato per individuare l'origine delle fonti proteiche, è quello di determinare la differenza tra il  $\delta^{13}\text{C}$  misurato nel collagene e quello dell'apatite. Gli erbivori, infatti, la cui dieta è basata essenzialmente su carboidrati, mostrano in genere una maggiore differenza rispetto ai carnivori e agli onnivori per i quali il  $\Delta$  è minore a causa dell'arricchimento in C per la maggiore quantità di proteine ingerite. In realtà, nel caso dell'uomo queste differenze sono piuttosto variabili (le più piccole sembrerebbero essere quelle di popolazioni di pescatori) ma ci consentono comunque di ottenere un'indicazione in tal senso soprattutto se le confrontiamo con quelle che si riferiscono ai campioni di faune.

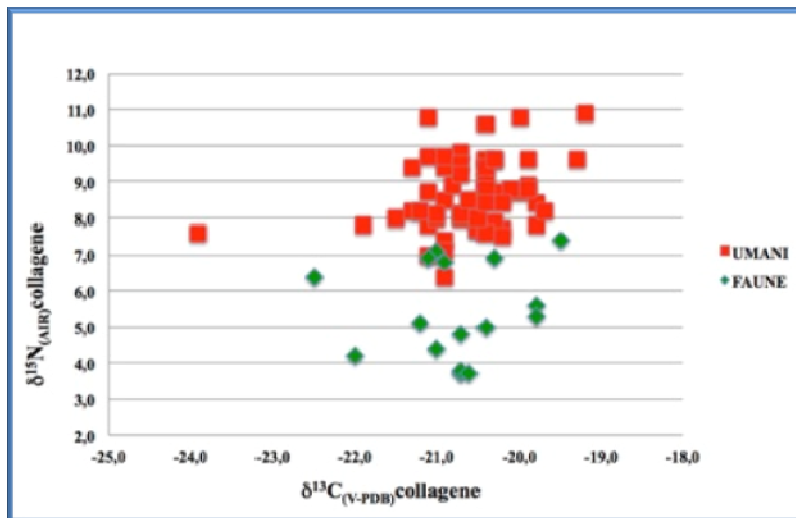


Fig. 3 - Andamento dei valori del  $\delta^{13}\text{C}$  rispetto al  $\delta^{15}\text{N}$  del collagene per i reperti umani e le faune.

In Fig. 4 è stato calcolato il valore della differenza  $\Delta_{\text{ap-coll}}$  per gli umani e sono state riportate le rette che illustrano i valori medi calcolati per le faune onnivore (~7,4‰) ed erbivore (~8,5‰). Possiamo osservare come, in linea di massima, venga confermato quanto già rilevato con le valutazioni precedenti, per cui questi individui presentano una dieta vegetariana nella quale sono inserite delle proteine di origine animale. I campioni del sito della Caverna delle Arene Candide mostrano le differenze minori le quali ci inducono a sospettare della presenza di pesce nel regime alimentare.

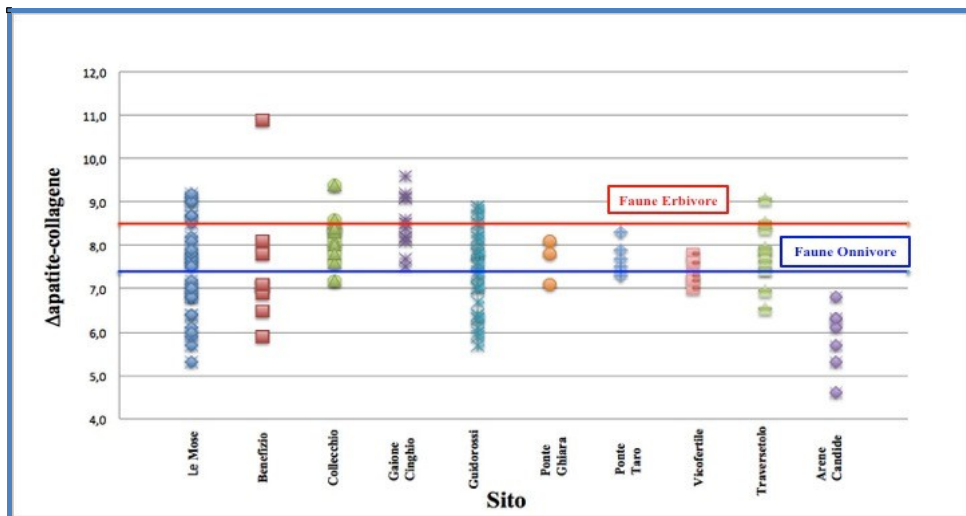


Fig. 4 Differenza tra i valori del  $\delta^{13}\text{C}$  misurato nell'apatite e nel collagene dei reperti umani in funzione del sito.

A questo proposito può essere interessante considerare il valore del  $\delta^{15}\text{N}$  il quale, oltre ad indicare il livello trofico, è un buon indicatore delle risorse ittiche soprattutto marine. Nel grafico di Fig.5 tale parametro è stato calcolato per gli individui di ogni sito e in funzione della tipologia del reperto (media e dev.st.). L'elemento che si evidenzia immediatamente è il valore più arricchito che si riscontra per gli individui del Bronzo Antico di Via S. Eurosia e che si differenzia in maniera statisticamente significativa da tutti gli altri siti presi in considerazione. Ciò ci induce a ipotizzare il consumo di pesce per questo gruppo d'individui così come anche per quelli delle Arene Candide i quali mostrano valori mediamente più arricchiti rispetto ai siti della Pianura Padana. In definitiva, per le popolazioni emiliane non si può escludere a priori il consumo di pesce, presumibilmente d'acqua dolce, il quale però era ingerito in quantità molto subordinate rispetto alle altre componenti.

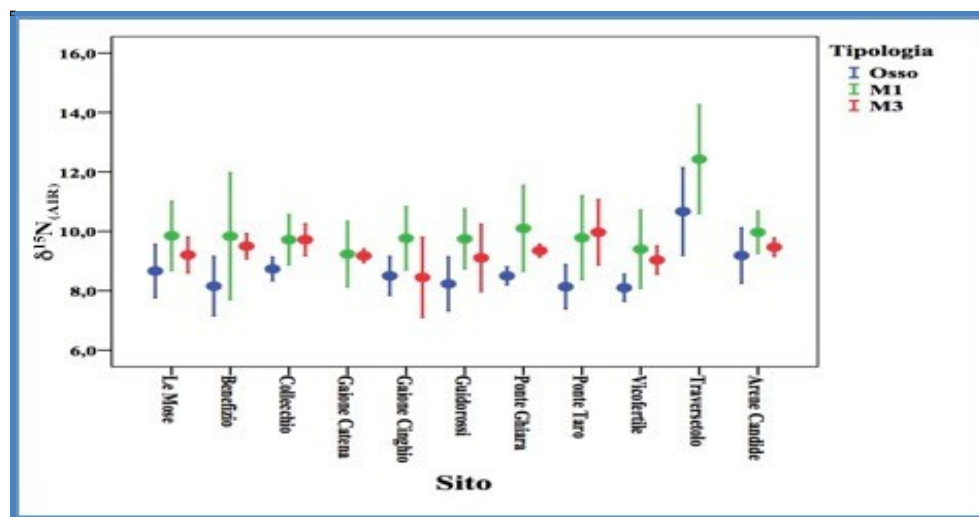


Fig. 5 - Media e deviazione standard dei valori di  $\delta^{15}\text{N}$  per gli individui di ogni sito e in base alla tipologia di reperto.



Forse gli individui dell'età del Bronzo ne avevano incrementato il consumo migliorando le tecniche di conservazione o aumentando gli scambi con altre popolazioni. Nel caso delle Arene Candide, considerata la posizione geografica, il pesce doveva rientrare nell'economia di sussistenza, anche se ci saremmo aspettati valori dell'azoto più arricchiti. Non bisogna dimenticare però che il  $\delta^{15}\text{N}$  per i pesci di piccola taglia non è particolarmente elevato. Il confronto tra osso e primo molare ha evidenziato la presenza di un arricchimento medio dell' $1,1 \pm 2,3\%$  dell'M1 rispetto all'osso. È noto, infatti, che nei bambini si riscontri una positività dei valori del  $\delta^{15}\text{N}$  rispetto agli adulti (dell'ordine dell'1-2% appunto) dovuta all'assunzione del latte materno il quale, essendo un alimento molto proteico, colloca l'individuo a un livello trofico maggiore. Analogamente la dentina, che cessa di rigenerarsi durante le prime fasi di vita, è arricchita in N rispetto al collagene delle ossa che invece continua a rinnovarsi.

A tale proposito nel grafico di Fig. 6 sono riportati i valori isotopici dell'azoto per le ossa dei bambini in base all'età. La curva mostra come l'allattamento fosse prolungato probabilmente fino ai 3 anni di vita.

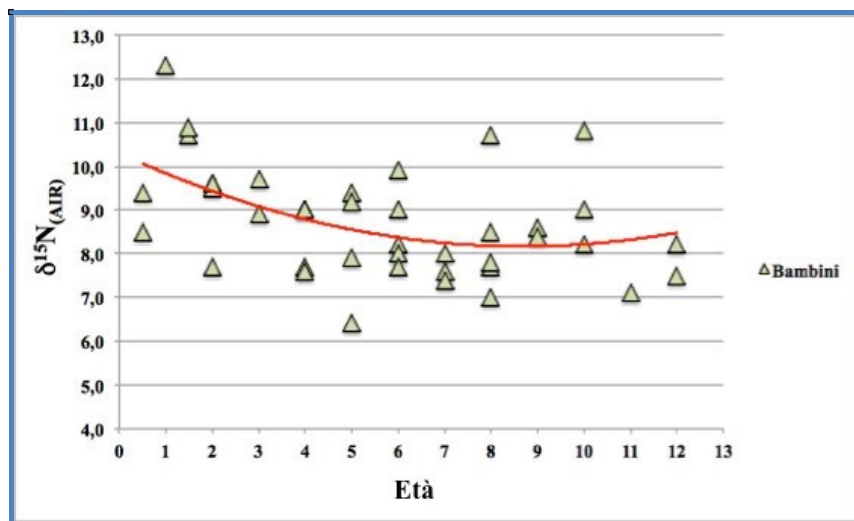


Fig. 6 - Andamento dei valori di composizione isotopica dell'azoto per le ossa dei bambini.

In ultima analisi segnaliamo che per nessuno dei siti sono state rilevate delle differenze statisticamente significative tra individui di sesso opposto o di età differenti, ciò a significare che l'accesso alle risorse alimentari avveniva senza alcuna discriminazione.

## CONCLUSIONI

Gli individui presi in esame presentano una dieta terrestre caratterizzata da piante di tipo C3 e da una discreta quantità di proteine animali, essenzialmente ovini e suini, i quali si cibavano anch'essi dello stesso tipo di piante. Questa condizione non sembra cambiare nel periodo considerato: dalla prima fase VBQ fino al Bronzo Antico. Inoltre, è possibile che una certa quota di proteine derivanti da risorse ittiche (presumibilmente d'acqua dolce) fosse inserita nel regime alimentare seppure in quantità subordinata. Le evidenze isotopiche ci suggeriscono che il pesce diventa più consistente



nella dieta degli individui dell'età del Bronzo i quali, forse, avevano migliorato le tecniche di conservazione o aumentato gli scambi commerciali. Non sussistono discriminazioni per sesso o per età all'accesso alle risorse alimentari e per gli infanti è possibile ipotizzare che l'allattamento fosse prolungato almeno fino ai 3 anni d'età.

## Bibliografia

- Ambrose SH. 1990, *Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis*, J. Archaeol Sci 17, pp. 431-451.
- Ambrose SH. 1991, *Effects of diet, climate and physiology of nitrogen isotope abundances in terrestrial food webs*, J Archaeol Sci 18, pp. 293-317.
- Ambrose, S.H. 2000, *Controlled diet and climate experiments on nitrogen isotope ratios of rat bone collagen, hair and muscle*, in Ambrose, S.H., Katzenberg, M.A. (Eds.), *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis* Kluwer Academic/Plenum Press, New York, pp. 243-259.
- Ambrose SH, Norr L. 1993, *Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratio of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate*, in Lambert JB, Groupe G, editors, *Prehistoric human bone Archaeology at the molecular level* Springer-Verlag, pp. 1-37.
- Ambrose, S.H., Butler B.M., Hanson D.B., Hunter-Anderson R.L., and Krueger H.W. 1997, *Stable isotope analysis of human diet in the Marianas agriculture* American Antiquity 46, pp. 346-353.
- Bernabò Brea L. 1956, *Gli scavi nella Caverna delle Arene Candide - Gli strati con Ceramiche*, vol. 2, Istituto Internazionale di Studi Liguri, Bordighera.
- Bernabò Brea M., Maffi M., Mazziere P., Salvadei L. 2010, *Testimonianze funerarie della gente dei Vasi a Bocca Quadrata in Emilia occidentale. Archeologia e antropologia* RSP, LX, pp. 63-126.
- Bocherens H, Fizet M, Mariotti A, Lange-Badre B, Vandermeersch B, Borel JP, Bellon G. 1991, *Isotopic biogeochemistry (13C, 15N) of fossil vertebrate collagen: implications for the study of fossil food web including Neandertal Man* J Hum Evol 20, pp. 481-492.
- Bumsted P.M. 1985, *Past human behaviour from bone chemical analysis: respects and prospects* Journal of Human Evolution 14/5, pp. 539-551
- Deines P. 1980, *The isotopic composition of reduced organic carbon*. In: Fritz, A.P., Fontes, J.-C. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment*, vol. 1. Elsevier, Amsterdam, pp. 329-406.
- de Marinis R.C., Baioni M., Casini S., Degasperi N., Mangani C., Seragnoli L. 1999. *La sequenza stratigrafica dell'abitato palafitticolo del Lavagnone (Desenzano del Garda, Brescia)*, in *Prehistoric Alpine Environment, Society and Economy* Papers of the International Colloquium in Zurich, ed. by Ph. Della Casa, Bonn (Habelt), pp. 127-131
- Di Matteo A. 2011, *La geochimica isotopica applicata a reperti scheletrici fossili di mammiferi terrestri: considerazioni paleoclimatiche e paleoambientali*, Tesi di dottorato in Scienze della Terra-XXIII Ciclo. Università degli Studi di Parma.
- Froehle, A.W., Kellner, C.M., Schoeninger, M.J. 2010, *FOCUS: effect of diet and protein source on carbon stable isotope ratios in collagen: follow up to Warriner and Tuross (2009)*, Journal of Archaeological Science 37 (10).
- Harrison R., Katzenberg A. 2003, *Pale diet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island, California*, Journal of Anthropological Archaeology 22, pp. 227-244.

- Iacumin P., Di Matteo A., Mantovani L. 2014, *Gli isotopi stabili nelle popolazioni del Neolitico medio*, in Bernabò Brea M., Manfredini A., Maggi R., a c. d., *Il pieno sviluppo del Neolitico in Italia* Atti del Convegno, 8-10 giugno 2009, Finale Ligure (SV), pp. 361-364.
- Iacumin P., Galli E., Cavalli F., Cecere L. 2014, *C4 consumers in southern europe: The case of friuli VG (NE Italy) during early and central middle ages*, American journal of physical anthropology, 154(4), pp. 561-574
- Katzenberg M.A. 1989, *Stable isotope analysis of archaeological faunal remains from southern Ontario*, Journal of Archaeological Science 16, pp. 319-329.
- Kellner C.M., Schoeninger M.J. 2007, *A simple carbon isotope model for reconstructing prehistoric human diet*, American Journal of Physical Anthropology 133, 1112–1127.
- Krueger H.W., Sullivan C.H. 1984, *Models for carbon isotope fractionation between diet and bone*. In: Turnlund, J., Johnson, P.E. (Eds.), *Stable Isotopes in Nutrition*. ACS Symposium Series, 258. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 205-222.
- Lee-Thorp J.A., Sealy J.C., van der Merwe N.J. 1989, *Stable carbon isotope ratio differences between bone-collagen and bone apatite, and their relationship to diet* Journal of Archaeological Science 16, pp. 585-599.
- Longin R. 1971, *New method of collagen extraction for radiocarbon dating* Nature 230, pp. 241-242.
- O'Leary MH. 1981, *Carbon isotope fractionation in plants* Photochemistry 20, pp. 553-567.
- Tieszen LL., Fagre T. 1993, *Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO<sub>2</sub>, bone collagen, bioapatite, and soft tissues* In: Lambert JB, Groupe G, editors. *Prehistoric human bone. Archaeology at the molecular level*. Springer-Verlag, pp. 121-155.
- Schoeninger MJ, DeNiro MJ. 1984, *Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals* Geochim Cosmochim Acta 48, pp. 625-639.
- Smith, B.N. 1972, *Natural abundance of the stable isotopes of carbon in biological systems*. BioScience 22, 226–231.
- Vogel, J.C., van der Merwe, N.J., 1977, *Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State*, American Antiquity 42, pp. 238-242.
- White W. M. 2009, *Geochemistry* (free online textbook).