

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di ricerca in Scienze della Terra

Ciclo XXVIII

La geochimica degli isotopi stabili
applicata a reperti scheletrici fossili per
ricostruzioni paleoambientali
(sito archeologico di Arslantepe - Turchia)

Coordinatore:

Chiar.mo Prof.Fulvio Celico

Tutor:

Chiar.ma Prof.ssa Paola Iacumin

Dottoranda: Elisa Galli

A Laura e Nicola

i miei pilastri

RIASSUNTO

Il sito archeologico di Arslantepe (provincia di Malatya, Turchia) rappresenta un caso di studio di potenziale interesse per l'interazione tra i mutamenti climatici e la storia della civiltà. Il sito, occupato quasi ininterrottamente per un periodo di tempo relativamente lungo (6250-2700 BP), ha fornito una grande quantità di reperti ossei, distribuiti lungo una stratigrafia archeologica relativamente dettagliata e supportata da datazioni al radiocarbonio. Tali reperti, indagati con le tecniche della geochimica degli isotopi stabili, possono costituire degli efficaci proxy paleoclimatici.

In questo lavoro è stata studiata la composizione isotopica di 507 campioni di resti ossei umani e animali (prevalentemente pecore, capre, buoi). I rapporti isotopici studiati sono relativi a ossigeno ($\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$), carbonio ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) e azoto ($\delta^{15}\text{N}$), misurati nella frazione minerale e organica dell'osso; la variabilità nel tempo di questi parametri, principalmente legati alla paleonutrizione, può essere correlata, direttamente o indirettamente, a cambiamenti dei parametri ambientali quali temperatura e umidità atmosferiche.

I risultati indicano che la dieta degli animali selvatici e domestici di Arslantepe era quasi esclusivamente a base di piante a ciclo fotosintetico C_3 , generalmente tipiche di climi umidi o temperati. La presenza di piante C_4 , più tipiche di condizioni aride, sembrerebbe essere riconoscibile solamente nella dieta del bue (*Bos taurus*). La dieta umana era esclusivamente terrestre a base di cereali e carne di caprini con una percentuale esigua o del tutto assente di carne di maiale e bue.

Dal punto di vista paleoclimatico il principale risultato del lavoro consiste nel riconoscimento della preservazione di un segnale paleoclimatico a lungo termine ($\delta^{18}\text{O}_w$, composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua ingerita), che identifica un massimo relativo di umidità attorno al 5000 BP e che si correla, per andamento e ampiezza della variazione a record paleoclimatici di sedimenti lacustri collocati in regioni adiacenti all'area di studio.

Sulla base del confronto dei tre segnali isotopici sono state inoltre riconosciute due anomalie climatiche siccitose a breve termine, apparentemente riferibili a due episodi di aridità a scala regionale documentati in letteratura.

ABSTRACT

The archaeological site of Arslantepe (Malatya, Turkey) represents a very interesting case-study for investigating the relationship between climate change and civilization's history: the site, almost continuously populated over a long time (6250-2700 cal yr. BP), has given a great amount of skeletal remains which are distributed on a fairly well-resolved archaeological stratigraphy also improved by radiocarbon dating; these remains, studied through the techniques of stable isotope geochemistry can provide paleoclimatic proxy data.

In this work we studied the stable isotope composition of 507 samples of human and animal skeletal remains (mainly sheep, goat, cattle). The measured isotope ratios are referred to oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$), carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$); they were studied in the mineral and organic fractions of bone tissue; the variability in time of these parameters, mainly related to paleonutrition, can be correlated, directly or indirectly, to changes in environmental parameters such as atmospheric temperature and moisture.

Results show that wild and domestic animal diet in Arslantepe was almost exclusively composed of plants exploiting the C_3 photosynthetic pathway, which are typical of wet or temperate climates. The presence of C_4 plants (typical of dryer climates) could be found only in cattle diet (*Bos taurus*). Human diet was based mainly on terrestrial food, and in particular cereals, caprine meat and little or any pig and cattle meat.

From the paleoclimatic point of view, the most important result of this work is the identification of the preservation of a long-term paleoclimatic signal in $\delta^{18}\text{O}_w$ calculated values (oxygen isotopic composition of ingested liquid water), that identifies conditions of maximum moisture at 5000 BP; these data are well correlated (in terms of trend and amplitude) to the oxygen isotope stratigraphy of lacustrine sediments found in zone near the study area.

Two aridification events, representing short-term climate anomalies punctuating the above general trends, were recognized through the comparison of the studied isotope parameters. Also these episodes apparently correlate to dramatic regional-scale episodes documented in former literature.

INDICE

INTRODUZIONE

Parte I INQUADRAMENTO

1- IL SITO ARCHEOLOGICO DI ARSLANTEPE	p.	2
1.1 Introduzione	p.	2
1.2 Il sito archeologico: Arslantepe	p.	3
1.3 Clima locale	p.	4
1.4 Vegetazione	p.	4
1.5 Storia del sito	p.	6
1.6 Datazioni assolute C14	p.	13
2- CLIMA E PALEOCLIMA	p.	15
2.1 Il clima attuale nel Medio Oriente	p.	15
2.2 Il clima nell'Olocene	p.	15
2.3 Record e cambiamenti climatici nell'Olocene del Medio Oriente	p.	17
2.3.1 <u>Record paleoclimatici speleotemici</u>	p.	18
2.3.2 <u>Record isotopici lacustri</u>	p.	19
2.3.3 <u>Record paleoclimatici compositi</u>	p.	22
2.3.4 <u>Modellizzazione tramite MCM</u>	p.	22
2.3.5 <u>Studi archeobotanici nel sito di Arslantepe</u>	p.	23

Parte II MATERIALI E METODI

3- MATERIALI	p.	29
3.1 Introduzione	p.	29
3.2 I tessuti scheletrici	p.	29
3.2.1 <u>Ossa</u>	p.	29
3.2.2 <u>Denti</u>	p.	31
3.2.3 <u>Denti- uomo</u>	p.	33
3.2.4 <u>Denti – animali</u>	p.	34
3.3 Ossa e denti: differenze strutturali e implicazioni isotopiche	p.	35
3.4 Fenomeni diagenetici a carico dei reperti osteologici	p.	35
3.4.1 <u>Collagene</u>	p.	36
3.4.2 <u>Idrossiapatite</u>	p.	37
3.5 Parametri dello stato di conservazione delle ossa	p.	37
3.6 Gruppi trofici	p.	39
3.6.1 <u>Erbivori</u>	p.	39
3.6.2 <u>Onnivori</u>	p.	39
3.7 Studi archeozoologici a Arslantepe	p.	42
4- METODI	p.	45
4.1 Geochimica isotopica	p.	45
4.1.1 <u>Isotopi</u>	p.	45
4.1.2 <u>Frazionamento isotopico</u>	p.	46
4.2 Analisi isotopica di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$: la ricostruzione della dieta e dell'ambiente	p.	48
4.2.1 <u>Isotopi del carbonio</u>	p.	48
4.2.2 <u>Piante C₃ e C₄</u>	p.	49

4.2.3 <u>Fattori che influenzano i valori di $\delta^{13}\text{C}$ nelle piante</u>	p. 51
4.2.4 <u>Il $\delta^{13}\text{C}$ nei tessuti</u>	p. 52
4.2.5 <u>Il $\delta^{13}\text{C}$ dieta</u>	p. 53
4.2.6 <u>Il $\delta^{15}\text{N}$ nel collagene</u>	p. 54
4.3 La ricostruzione del paleoclima: $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ dell'apatite	p. 56
4.3.1 <u>Fattori che influenzano il $\delta^{18}\text{O}$ nelle precipitazioni</u>	p. 59
4.3.2 <u>Fattori che influenzano il $\delta^{18}\text{O}$ nella bio-apatite</u> <u>(metabolico-comportamentali)</u>	p. 63
Parte III RISULTATI	
5- I RISULTATI DELLE ANALISI ISOTOPICHE	p. 66
5.1 Erbivori	p. 67
5.2 Onnivori	p. 73
5.2.1 <u>Erbivori ruminanti-Onnivori</u>	p. 78
5.3 $\delta^{18}\text{O}$ acqua ambientale	p. 81
5.4 $\delta^{13}\text{C}$ dieta	p. 81
Parte IV ANALISI DEI DATI	
6- STATO DI CONSERVAZIONE DEI REPERTI	p. 85
6.1 Collagene	p. 85
6.2 Carbonato	p. 86
7- RICOSTRUZIONE PALEONUTRIZIONALE E TECNICHE DI ALLEVAMENTO	p. 88
7.1 La dieta dell'uomo	p. 97
7.1.1 <u>I livelli antichi (6250 - 2700 BP)</u>	p. 97
7.1.2 <u>La necropoli bizantina</u>	p. 100
7.2 Confronto con altri siti Anatolici	p. 102
8- RICOSTRUZIONE PALEOCLIMATICA E PALEOMBIENTALE	p. 107
8.1 $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato	p. 107
8.2 $\delta^{13}\text{C}$ collagene	p. 108
8.3 $\delta^{15}\text{N}$	p. 108
8.4 $\delta^{18}\text{O}$ carbonato	p. 110
8.5 Confronto dei risultati	p. 111
8.6 Anomalie siccitose	p. 113
8.7 Record paleoclimatico dell'acqua ingerita	p. 115
CONCLUSIONI	p. 119
BIBLIOGRAFIA	p. 122
APPENDICI	
APPENDICE 1- METODOLOGIE CHIMICHE	p. 135
A1.1 Preparazione dei campioni	p. 135
A1.1.1 <u>Fase inorganica: procedura chimica per l'estrazione di C e O</u>	p. 135
A1.1.2 <u>Fase inorganica: procedura chimica per l'estrazione dell'O dal fosfato</u>	p. 136
A1.1.3 <u>Fase organica: procedura chimica per l'estrazione di C e N</u>	p. 137
APPENDICE 2- STRUMENTAZIONE	p. 138
A2.1 Gli spettrometri di massa e analizzatori elementari	p. 138

A2.1.1 <u>Lo spettrometro di massa per elementi leggeri - PRINCIPI -</u>	p. 138
<i>Dual Inlet</i>	p. 139
<i>Continuous flow</i>	p. 140
A2.1.2 <u>Analizzatori elementari</u>	p. 140
<i>CHN</i>	p. 140
<i>TC-EA</i>	p. 142
APPENDICE 3- GLI STANDARDS	p. 143
APPENDICE 4- CALIBRAZIONI	p. 145
A4.1 La calibrazione dei dati	p. 145
A4.1.1 <u>Relazione fondamentale</u>	p. 145
A4.1.2 <u>Retta di calibrazione</u>	p. 145
APPENDICE 5- STATISTICA	p. 147
A5.1 Generalità	p. 147
APPENDICE 6- %CO ₂ , mg CO ₃ ²⁻ BARATRON	p. 150
APPENDICE 7- TABELLE DEI RISULTATI	p. 152

INTRODUZIONE

Lo studio della variabilità climatica del passato è possibile grazie all'utilizzo delle informazioni contenute negli "archivi naturali del clima". Questi includono successioni di materiali geologici e paleo-biologici, nei quali sono registrati parametri connessi alle condizioni climatiche e ambientali esistenti al momento della loro formazione.

La geochimica degli isotopi stabili, basata sulla naturale ridistribuzione (frazionamento) degli isotopi stabili di un dato elemento durante reazioni fisico-chimiche, rappresenta una delle tecniche di indagine più apprezzate, e trova applicazioni paleoclimatologiche dallo studio del carbonato nei sedimenti a quello dell'acqua e del gas intrappolato nelle carote di ghiaccio: i dati geochimico-isotopici legati a questi materiali hanno, infatti, dimostrato di variare nel tempo sotto il controllo di forzanti climatici, al punto che la loro variazione temporale è diventata uno degli strumenti stratigrafici di riferimento allo scopo di ottenere correlazioni globali.

Un particolare archivio paleoclimatico è rappresentato dai resti scheletrici di mammiferi terrestri: come per tutti gli organismi, il cibo, compresa l'acqua, determina la composizione isotopica dei tessuti scheletrici. Il cibo e l'acqua, dal punto di vista isotopico, sono influenzati dalle condizioni ambientali. Questo oggetto di studio è generalmente poco considerato nelle indagini paleoclimatiche, soprattutto perché di solito rappresentano ritrovamenti occasionali ai quali è associata una risoluzione stratigrafica relativamente bassa.

Possono esistere tuttavia casi di scavi archeologici caratterizzati allo stesso tempo da una vasta quantità di reperti ossei e da una copertura stratigrafica relativamente ampia e cronologicamente dettagliata, dove questo tipo di reperti può rappresentare un efficace strumento per ricostruire i mutamenti ambientali e climatici locali attraverso l'indagine isotopica.

Uno di questi è rappresentato dal sito archeologico di Arslantepe (provincia di Malatya, Turchia sud-orientale), nel quale sono state raccolte grandi quantità di resti ossei umani e animali (questi ultimi appartenenti a svariati *taxa*, sia selvatici che domestici), che coprono un intervallo temporale pressoché ininterrotto che si estende dal 6250 al 2700 BP (più un intervallo più recente, datato al IV-VI secolo d.C.), entro il quale è stato possibile riconoscere un'organizzazione stratigrafico-archeologica relativamente dettagliata, supportata da datazioni al radiocarbonio.

Questa tesi di dottorato tratta l'analisi geochimico-isotopica di 507 campioni, di origine umana e animale, provenienti dallo scavo archeologico di Arslantepe, l'interpretazione dei risultati in chiave paleonutrizionale e climatico-ambientale, mediante tecniche statistiche e la comparazione dei risultati con record paleoclimatici locali e regionali disponibili in letteratura. I rapporti isotopici investigati sono quelli relativi a ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$), carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) e azoto ($\delta^{15}\text{N}$), indagati nella frazione minerale e organica dell'osso.

Le analisi sono state condotte presso il laboratorio di geochimica isotopica del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Parma.

Il lavoro si articola in quattro parti: la prima è dedicata all'inquadramento del sito; la seconda parte riguarda materiali e metodi; nella terza vengono descritti i risultati delle analisi isotopiche; infine, nella quarta parte vengono discussi i risultati ottenuti.

PARTE I

INQUADRAMENTO

1- IL SITO ARCHEOLOGICO DI ARSLANTEPE

1.1 Introduzione

Il sito archeologico di Arslantepe, sede della Missione Archeologica Italiana in Anatolia Orientale (MAIAO), e attualmente diretto dalla professoressa Marcella Frangipane dell'Università La Sapienza di Roma, costituisce un caso di studio di particolare interesse: uno scavo sistematico, tuttora in corso e condotto secondo un approccio stratigrafico a partire dagli anni '60 in cui l'intera sequenza cronostratigrafica è stata datata utilizzando la tecnica del radiocarbonio eseguita su un centinaio di reperti. Il sito archeologico di Arslantepe vanta una sequenza cronologica ininterrotta che va dai livelli Tardo Calcolitici all'Età del Ferro (6250-2700 BP), includendo inoltre tracce di occupazione del periodo romano-bizantino (IV-VI d.C.) (Tab. 1).

Oltre ai più tradizionali studi archeologici, il sito è stato oggetto di indagini archeometriche, come l'analisi dei reperti ceramici, l'analisi funzionale dell'industria litica e degli strumenti in osso, lo studio della metallurgia, archeozoologia e archeobotanica oltre allo studio della zona dal punto di vista geologico, geomorfologico e topografico.

Cronologia	Periodo di Arslantepe	Datazioni assolute (calibrate) a.C.	Datazioni assolute (calibrate) BP	Civiltà Contemporanee nel Vicino Oriente
Tardo Romano e Bizantino	I			
Età del Ferro	II-III	1100- 712	3100- 2712	Regni neo-ittiti
Bronzo Tardo II	IV	1600- 1200	3600- 3200	Medio regno e impero ittita
Bronzo Tardo I	VB	1750- 1600	3750-3600	Antico regno ittita
Medio Bronzo	VA	2000- 1750	2000- 1750	Colonie paleo-assire
Bronzo Antico III	VID	2500- 2000	4500- 4000	Protodinastico IIIb, Akkad, Ur III
Bronzo Antico II	VIC	2750- 2500	4750- 4500	Protodinastico II-IIIa
Bronzo Antico I	VIB 1-2	3000- 2800	5000- 4800	Jemdet-Nasr, protodinastico I
Tardo Calcolitico 5	VIA	3350- 3000	5350- 5000	Uruk Tardo (Mesopotamia)
Tardo Calcolitico 3-4	VII	3800- 3350	5800- 5350	Uruk Antico e Medio
Tardo Calcolitico 1-2	VIII	4250- 3900	6250-5900	Fine cultura Ubaid

Tabella 1: Cronologia dei periodi archeologici di Arslantepe

1.2 Il sito archeologico: Arslantepe

Il sito archeologico di Arslantepe (*Arslan*=leone, *tepe*= collina) è situato a 38 ° 21'N, 38 ° 19'E, a 912 m s.l.m., a una distanza di c. 15 km dal fiume Eufrate nella piana di Malatya, un'ampia e fertile pianura tra le montagne del Tauro, in Anatolia Orientale (odierna Turchia; Fig. 1). Arslantepe è un *tell*, ossia una formazione artificiale (hüyük) di 4,5 ettari, alta 30 metri, formatasi in seguito alla lenta e continua sovrapposizione di insediamenti, distrutti e ricostruiti l'uno sull'altro nel corso di millenni, e costituisce l'insediamento principale della regione (Fig. 2).



Figura 1: Localizzazione geografica del sito archeologico di Arslantepe (Malatya-Turchia)



Figura 2: Veduta aerea del tell di Arslantepe. (Da <http://w3.uniroma1.it/arslantepe/>)

La piana di Malatya poggia sui sedimenti di un bacino continentale di età neogenica (Türkmen et al., 2007), costituiti da alternanze di argille lacustri e depositi fluviali sabbiosi (Palmieri, 1978), entrambi associati a depositi carbonatici. Secondo Marcolongo e Palmieri (1983), Arslantepe ha una posizione favorevole all'interno del paesaggio a causa del grande bacino idrogeologico, che fornisce acqua corrente: il fiume Pinarbasi scorre nelle immediate vicinanze del *tell*; inoltre sono state individuate due grandi sorgenti, una a sud/sud-est, collocata nelle colline carbonatiche che circondano la piana e l'altra a nord-est, nel complesso vulcanico del Gelincik Tepe (Marcolongo e Palmieri, 1983).

L'acqua piovana che permea i litotipi calcarei si raccoglie nella parte orientale della piana; questo alto contenuto di umidità è pienamente sfruttato da un sistema capillare di canalizzazione che ha permesso di destinare all'agricoltura grandi spazi.

1.3 Clima locale

La temperatura media annua di Malatya è di 13.7°C, con precipitazioni pari a 386 millimetri/anno, con pronunciati massimi mensili durante l'inverno e la primavera (Devlet Meteoroloji Isleri Genel Müdürlüğü, 2013; Fig. 3-4).

Il clima è di tipo semi-arido, mentre nelle adiacenti montagne del Tauro è sub-umido, con precipitazioni tra 600 e 1000 mm/anno (Atalay, 2004; Sensoy et al., 2008; Fig. 4).

Le precipitazioni invernali/inizio primaverili sono costituite in gran parte da neve e sono responsabili del livello e della ricarica delle falde acquifere che alimentano le sorgenti della pianura Malatya.

1.4 Vegetazione

La provincia di Malatya è inclusa nella regione fitogeografica irano-turanica (Davis, 1965 e 1985), caratterizzata da una vegetazione tipica della steppa. È la regione più ricca della Turchia in *taxa* endemici (Bulut e Yilmaz, 2010); prevalgono le specie arbustive, mentre la crescita di specie arboree è limitata dalla scarsità delle precipitazioni estive (Kaya e Raynal, 2001). Nella regione di Malatya la vegetazione a steppa è dominante, tuttavia in alcune aree, nonostante la grande antropizzazione, sono presenti latifoglie decidue (principalmente *Quercus sp.* e rosacee: *Crataegus*, *Rosa*, *Prunus*, *Pyrus* e *Cotoneaster*). Le conifere sono rappresentate quasi esclusivamente da alcune specie di *Juniperus sp.* (Yildiz et al., 2004). A qualche chilometro a sud dal sito archeologico (montagne dell'Antitauro) crescono alcune specie di conifere di montagna come il *Pinus sylvestris*. Attualmente i sedimenti del territorio della Piana di Malatya, sommati alla grande quantità di acqua disponibile,

forniscono terreni fertili per estese piantagioni di albicocche (Colak et al., 2006); l'abbondanza di acqua permette anche lo sviluppo di specie idrofile come *Alnus sp.* e *Populus sp.*



Figura 3: Distribuzione geografica delle temperature medie annue. (Ridisegnata da Sensoy et al., 2008). In evidenza la regione di Malatya

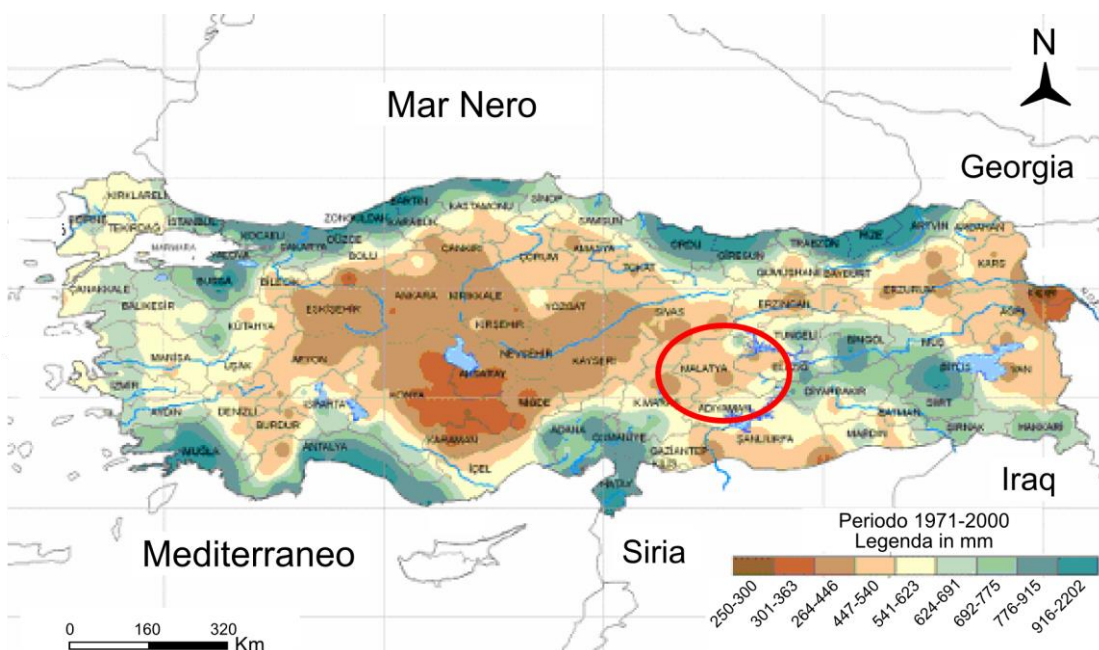


Figura 4: Distribuzione geografica delle precipitazioni medie annue. (Ridisegnata da Sensoy et al., 2008). In evidenza la regione di Malatya

1.5 Storia del sito

La prima occupazione di Arslantepe è databile almeno al VI millennio a.C. ma i più antichi livelli di abitato risalgono al Tardo Calcolitico, periodi VIII (6250-5900 BP) e VII (5800-5350 BP) della sequenza del sito. Nell'area nord-est della collina sono state ritrovate abitazioni in mattoni crudi composte da una o due stanze, in qualche caso decorate da pitture geometriche in rosso, nero e bianco, aree di lavoro con forni, e sepolture (sotto i pavimenti delle case). Più in alto, sulla sommità del *tell* erano collocati gli imponenti edifici di rappresentanza con muri in mattoni crudi spessi 1-1,20 m, articolati in complessi diversificati. Nell'area più settentrionale sono state trovate aree di lavoro e stoccaggio ed edifici a carattere privato, tra cui un grande edificio con tracce di pitture geometriche in rosso e nero e colonne in mattoni crudi e fango rivestite di intonaco lungo le pareti.

Il periodo VII (Tardo Calcolitico 3-4) comprende sette livelli d'abitato e in questo periodo il villaggio svolgeva un ruolo centrale nella regione di Malatya. Era presente un grande edificio che svolgeva una funzione di rappresentanza, forse legata all'abitazione di capi o personaggi con un ruolo importante nella società (non vi sono segni riconoscibili di un suo uso religioso o amministrativo). Sul pavimento sono stati trovati oggetti simbolici e di prestigio. Accanto a questa struttura è stato ritrovato un grande edificio a pianta tripartita, probabilmente un tempio, che misurava 22x20 m e sorgeva su una piattaforma di grandi lastre di pietra e mattoni crudi, secondo un modello mesopotamico.

I materiali ritrovati all'interno del tempio e negli edifici adiacenti sono invece locali: centinaia di ciotole e migliaia di *cretule* con impronte di sigilli (Fig. 5), indizio che nell'edificio dovevano svolgersi attività di redistribuzione di alimenti in contesto cerimoniale o come compenso per lavoro obbligatorio. I lavori artigianali specializzati e altamente complessi come la metallurgia e la ceramica invece non erano ancora sotto il controllo centrale come suggerirebbero i numerosi marchi da vasaio riconosciuti.



Figura 5: Cretula rinvenuta all'interno del sito archeologico. (Da <http://w3.uniroma1.it/arslantepe/>)

La cultura Tardo Calcolitica di Arslantepe ha forti somiglianze con quella di altri siti della valle dell'alto Eufrate, della Siria nord-occidentale e della pianura dello 'Amuq'. Sono numerosi gli elementi di collegamento con le contemporanee culture dell'alta Mesopotamia, ma sono assenti le ampie relazioni con le aree meridionali che avevano caratterizzato il precedente periodo di Ubaid (periodo VIII).

Nel 5300 BP Arslantepe era il centro di una delle prime forme statali al mondo (periodo VI A): è stato scoperto infatti un monumentale complesso palatino (Fig.6.a).



Figura 6: Complesso palatino, livello VIA. a) Porta di accesso monumentale e lungo corridoio. (Da Frangipane, 2004). b) Magazzini, c) I dipinti del palazzo. (Da <http://w3.uniroma1.it/arslantepe/>)

Questo imponente complesso architettonico è costituito da edifici con diverse funzioni (templi, magazzini, archivio, edifici di rappresentanza) disposti su più terrazzi e collegati tra loro da corridoi, spazi di accesso e un cortile (Frangipane, 2012a; Fig. 6.b-c). Arslantepe in questo periodo basava il suo potere sul controllo e la centralizzazione dei beni primari, agricoltura e pastorizia. Alla fine del IV millennio il sistema statale collassa e sulle rovine del palazzo bruciato si insediano dei gruppi con struttura tribale e struttura socio-economica differente (periodo VIB1); si tratta di gruppi con una componente semi-nomadica, dedicata principalmente alla pastorizia. Il villaggio stesso mostra caratteri meno stabili, con capanne

in legno e fango e grandi aree recintate per gli animali, che dovevano essere principalmente caprini (Frangipane, 2012b). Questi gruppi mostrano, nella loro cultura materiale, contatti sia con le tradizioni del periodo precedente che con culture del Caucaso meridionale. La presenza di una capanna di più grandi dimensioni, isolata tramite un recinto dal resto del sito, nel punto più alto, e di una struttura imponente in mattoni crudi, costituita da una sala principale con un grosso focolare al centro e una stanza laterale piena di contenitori ceramici, suggerisce la presenza di un capo e di una forma di conservazione collettiva o accentrimento di beni. Quest'ultimo edificio probabilmente fungeva anche da luogo riunione per i rappresentanti del clan o gruppo.

Per circa 100 anni il villaggio di Arslantepe ha avuto questo aspetto poco stabile e con forte impronta pastorale dopodiché l'abitato viene distrutto da un grande incendio (Frangipane, 2004).

Attorno al 4900 BP il villaggio cambia nuovamente (periodo VIB2), con la costruzione, nella parte più alta della collina, di un imponente muro di cinta (largo 5 metri e con grosse fondazioni in pietra), al cui interno era racchiusa una piccola zona di cui attualmente non abbiamo alcun dettaglio; il villaggio, invece, si sviluppava sul pendio, fuori dall'area recintata. Era un villaggio con piccole strutture abitative di due o tre stanze, collegate da piccoli vicoli, in cui sono state riconosciute stalle, cortili, magazzini, cucine e aree di lavorazione del metallo. I caratteri sono quindi quelli tipici di un villaggio di agricoltori sedentari, la cui economia doveva essere basata sia sull'agricoltura che sulla pastorizia. Si tratta dunque di un importante cambiamento rispetto alla fase precedente del VIB1, con un ritorno ad un carattere molto più sedentario. Anche la cultura materiale mostra molti legami con quella del periodo palatino, evidenziando quindi che le genti che avevano occupato il sito durante il VIA continuavano a frequentare quest'area.

All'inizio di questo periodo (VIB2) appartiene la cosiddetta tomba reale (Fig. 7.a), tomba appartenente ad un personaggio importante, quasi sicuramente un capo, riconoscibile come tale dalla straordinaria profusione di oggetti in metallo (rame arsenicato, argento, oro e una particolarissima lega di rame e argento), e dal rituale che aveva accompagnato la sua sepoltura. Questa tomba, datata al 5000 BP, costituisce per ora la più antica testimonianza di tomba reale conosciuta. La tomba vera e propria consisteva in una cassa di grandi lastre di pietra (tomba a cista) costruita sul fondo di un'ampia fossa di circa 5 metri di diametro. Il

defunto, un uomo tra i 35 e 45 anni di età, giaceva in posizione rannicchiata sui resti di una tavola usata per trasportarlo. Il corredo è ricchissimo: due spilloni in argento e due collane di perle di cornalina, cristallo di rocca, oro e argento si trovavano nei pressi della spalla e del collo del defunto, mentre tracce di stoffa e tante perline di pietra dovevano far parte di un velo o un sudario, varie olle erano deposte ai piedi, mentre piccoli vasi di ceramica rosso-nera e uno in ceramica rossa di tipologia particolare erano collocati vicino alla testa. La collocazione rispecchiava forse una diversa funzione dei contenitori, con le olle usate come riserva di cibo per il defunto e i vasi piccoli come servizio da mensa. Sui due enormi blocchi di pietra della copertura della cista, erano stati sepolti (o lasciati morire) quattro adolescenti. Un ragazzo e una ragazza di 14-18 anni erano deposti uno di fronte all'altra sulle lastre di chiusura della cassa e portavano ornamenti personali in rame e argento e, sul capo coperto da un velo, un diadema in lega rame-argento simile a quello del signore nella cista; gli altri due scheletri di ragazze (13-17 anni) erano posti ai piedi dei primi due, fuori dall'area della cassa in pietra, e privi di corredo. Tutti i corpi erano in posizione scomposta e innaturale, e gli scheletri conservavano le tracce di ematomi e fratture in corso di saldatura, segno di violenze subite poco prima della morte o in occasione della sepoltura. La scena che si può ricostruire è quella di una sepoltura di un uomo di alto rango, accompagnata da sacrifici umani (Frangipane et al., 2001; Fig. 7.b).

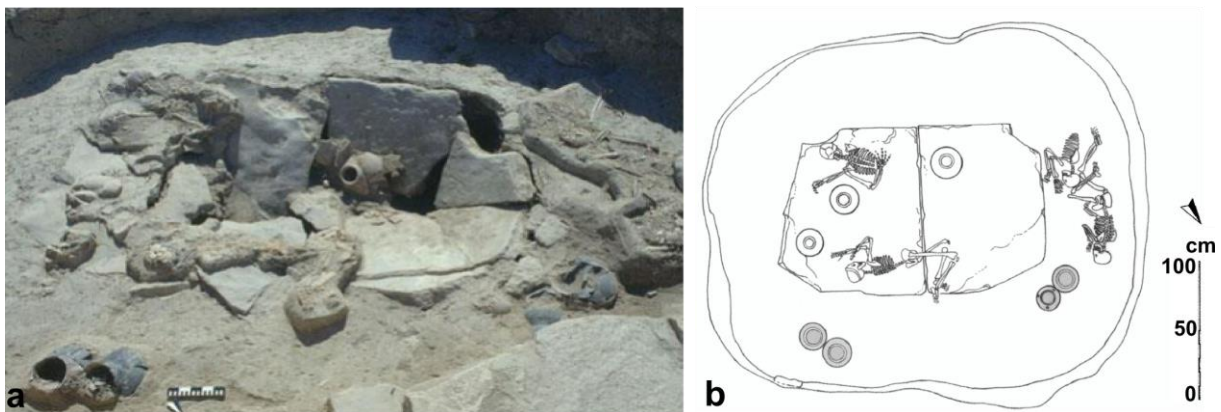


Figura 7: a) Tomba reale. (Da <http://w3.uniroma1.it/arslantepe/>). b) Ricostruzione schematica della posizione dei corpi e del vasellame nella "Tomba reale" (S150). (Da Frangipane et al., 2001)

Il villaggio ha continuato ad espandersi per un secolo e mezzo e poi è stato distrutto da un imponente incendio nel quale viene perduto l'intero raccolto di grano e orzo che era stato posto a seccare sui tetti delle case (Frangipane, 2000).

Questo periodo ha segnato la fine dei rapporti tra l'ambiente siro-mesopotamico e la regione di Malatya (Frangipane, 2004).

Il periodo VIC (4750-4500 BP) rappresenta l'inizio di una nuova fase culturale ad Arslantepe. L'abitato ha subito un notevole restringimento e il settore sud-ovest della collina veniva così utilizzato come area marginale ed era caratterizzato dalla presenza di numerosi pozzi e di fosse circolari rivestite di fango. Tali pozzetti venivano scavati per la conservazione del cibo e per lo scarto dei rifiuti. In rari casi sono state messe in luce fosse, identiche in tutto a quelle precedentemente descritte, contenenti resti umani, nella maggior parte dei casi disarticolati o incompleti, privi di corredo o talvolta associate ad ossa animali.

La parte alta del *tell* era occupata da un complesso di abitazioni costituite da grandi stanze quadrangolari e con fondamenta di pietra, sulle quali insisteranno le strutture domestiche della fase successiva. La suddivisione degli spazi interni e le attrezzature domestiche cambiano notevolmente rispetto al periodo precedente: si assiste alla comparsa di un nuovo tipo di forno a volta e di focolari con spalliera a ferro di cavallo, che, sostituendo i semplici focolari circolari a fossetta centrale dei periodi precedenti, hanno costituito una caratteristica delle culture anatoliche settentrionali. I gruppi che occuparono la piana di Malatya in questo periodo non erano fortemente stanziali, infatti è stato ritrovato un piccolo sito stagionale di pastori sulle colline rocciose del Gelinciktepe, di fronte ad Arslantepe.

Segue un breve periodo di abbandono dell'area in cui la collina viene visitata saltuariamente da gruppi nomadici, prima di essere poi rioccupata gradualmente e diventare una cittadella fortificata nella seconda metà del III millennio.

A partire dalla metà del III millennio a.C. il pendio viene gradualmente rioccupato (periodo VID). Il nuovo abitato mostrava una precisa pianificazione urbanistica e si sviluppava su una terrazza ed era caratterizzato da strutture quadrangolari di grandi dimensioni separate da vie, piazze e canali. La forma delle case, le installazioni e le tecniche costruttive trovano confronti in altri siti dell'Anatolia nord-orientale e rimarranno invariati fino alla fine del millennio. Verso la metà del periodo iniziava la realizzazione di edifici ovali, parzialmente interrati, il cui uso è difficile da ricostruire a causa dell'assenza degli elementi di arredo e delle installazioni più comuni. Gli scavi hanno messo in luce, al margine dell'abitato, un possente muro di cinta in mattoni crudi su basamento in pietra con bastione semicircolare che attesta per la prima volta la costruzione di una vera e propria fortificazione urbana, riscontrabile nei siti di questo periodo in tutta la regione.

La presenza della cinta muraria indica un aumento della conflittualità, forse legato alla competizione tra insediamenti autonomi. Il modello insediativo tipico dell'area era caratterizzato da cittadelle fortificate che suggeriscono una crescita demografica a cui non si accompagna però la formazione di strutture politiche territoriali complesse. Nonostante Arslantepe durante il Bronzo Antico III fosse ancora il centro più grande dell'intera area di Malatya e il fulcro economico e politico della regione, le caratteristiche interne dell'abitato (privo di veri e propri luoghi pubblici principali) e l'organizzazione delle produzioni artigianali, sottolineano come esso fosse incentrato su un sistema socio-economico relativamente semplice, anche se basato sull'attività di specialisti.

La ceramica fatta a mano mostra una forte continuità con il periodo precedente; tuttavia, rispetto al Bronzo Antico II, i modelli divengono più standardizzati e la produzione più raffinata. Unico indizio di contatti con regioni circostanti sono i rari esemplari di ceramica grigia tornita di origine siriana ad Arslantepe e la presenza di altrettanto rari esemplari di ceramica dipinta di tipo Arslantepe in Anatolia centrale. La metallurgia era ancora presente, come indica il ritrovamento di una bottega di fonditore con numerosi crogioli e forme di fusione, ma anche in questo caso il circuito di circolazione sembra più limitato che in passato.

Subito dopo il 4000 BP (periodo VA), ha iniziato a svilupparsi nel Vicino Oriente una nuova rete di relazioni commerciali basata sull'intensa attività dei mercanti paleo-assiri diretti verso l'Anatolia centrale, dove poi si insediarono stabilendo delle vere e proprie colonie. La regione di Malatya, pur non essendo propriamente inserita in questa vasta rete di commerci, ha subito gli influssi delle nuove relazioni, entrando sempre più in contatto con l'Anatolia Centrale.

L'alta valle dell'Eufrate così ha subito una trasformazione, da antico asse dei commerci nord-sud tra Anatolia e Mesopotamia è divenuta un confine tra est e ovest e poi ha costituito la nuova frontiera tra il mondo anatolico itta in espansione e quello assiro.

Arslantepe, sulla riva occidentale del fiume, è diventata perciò uno dei punti chiave di tale frontiera e, come conseguenza, intorno al 3500 BP, il nucleo principale dell'abitato è stato spostato verso la zona nord della collina, con la vista sul grande fiume, da cui ormai ci si doveva proteggere.

La vita del sito rifiorirà poi in maniera ancora più importante a seguito del crollo dell'impero ittita e della comparsa di una serie di piccoli ed autonomi regni neoittiti nella regione orientale: uno di questi ha come capitale Arslantepe il cui nome, secondo fonti ittite ed assire, diviene Malidija o Melid/Meliddu (la Melitene romana). A livello archeologico (periodo III-II), i più chiari indizi di questo cambiamento provengono dal pendio nordorientale della collina, dove sono stati esposti i resti del famoso palazzo con la Porta dei Leoni. Questa porta, che si presentava fiancheggiata da due lastre scolpite in altorilievo a forma di leone con la testa a tutto tondo (Fig. 8), immetteva in una corte pavimentata e decorata con una serie di bassorilievi che riproducevano scene di caccia rituale e libagione.

Il periodo neoittita ha coinciso con la fine del potere e della prosperità di Arslantepe, la città è stata conquistata dal re assiro Sargon II, ha subito una progressiva decadenza e il sito è stato definitivamente distrutto nel 2712 BP.



Figura 8: Leone in pietra del periodo ittita rinvenuto nel sito (copia)

Con l'arrivo dei Romani, la regione è divenuta luogo di stanziamento di una legione. La piana di Malatya era infatti una regione di confine dell'Impero Romano ed ospitava la *XII Legio Fulminata* dall'età di Tito fino al VI secolo d.C. Il *castrum* romano veniva così costruito vicino ad un punto di attraversamento dell'Eufrate, che era in questo modo posto sotto il diretto controllo dell'esercito. Attorno al *castrum* si era costituito poi l'abitato di Melitene (trasformazione dell'antico nome di Melid) che si trasformò in un importante centro regionale così da ricevere da Traiano lo status di *municipium*. A Melitene confluivano, come testimoniato dal ritrovamento di un miliario dell'età di Diocleziano, le strade militari che correavano lungo la frontiera orientale in direzione dell'Eufrate. La città di Melitene ebbe un forte sviluppo anche in età Bizantina. La sua importanza militare è inoltre testimoniata dal fatto che la città era divenuta la metropoli dell'*Armenia Secunda*.

Nelle vicinanze di Melitene, a metà strada tra questa e la moderna città di Malatya, Arslantepe si presentava in queste fasi romano-bizantine come un piccolo borgo rurale probabilmente non diverso da molti villaggi anatolici dello stesso periodo. Gli scavi hanno portato in luce dei resti di un piccolo abitato di età romana nella zona nord-est del *tepe* e di una strada che lo attraversava, mentre di epoca più recente è una necropoli che occupa la metà meridionale della collina. Sulla base dei materiali rinvenuti (monete e ceramica), l'insediamento romano può essere datato tra il IV ed il VI secolo d.C. e rappresenta l'ultimo livello di occupazione consistente sulla collina. In epoca bizantina il sito è stato sede di una necropoli cristiana (Palmieri et al., 1973; Fig. 9.a-b). Infine, nella zona nord del *tepe* vi sono tracce di un possibile palazzetto ottomano. A prescindere dai resti di questo ultimo edificio, in età Ottomana il sito viene sostanzialmente abbandonato a favore del centro di Eski Malatya (Melitene), più vicino alle rive dell'Eufrate.

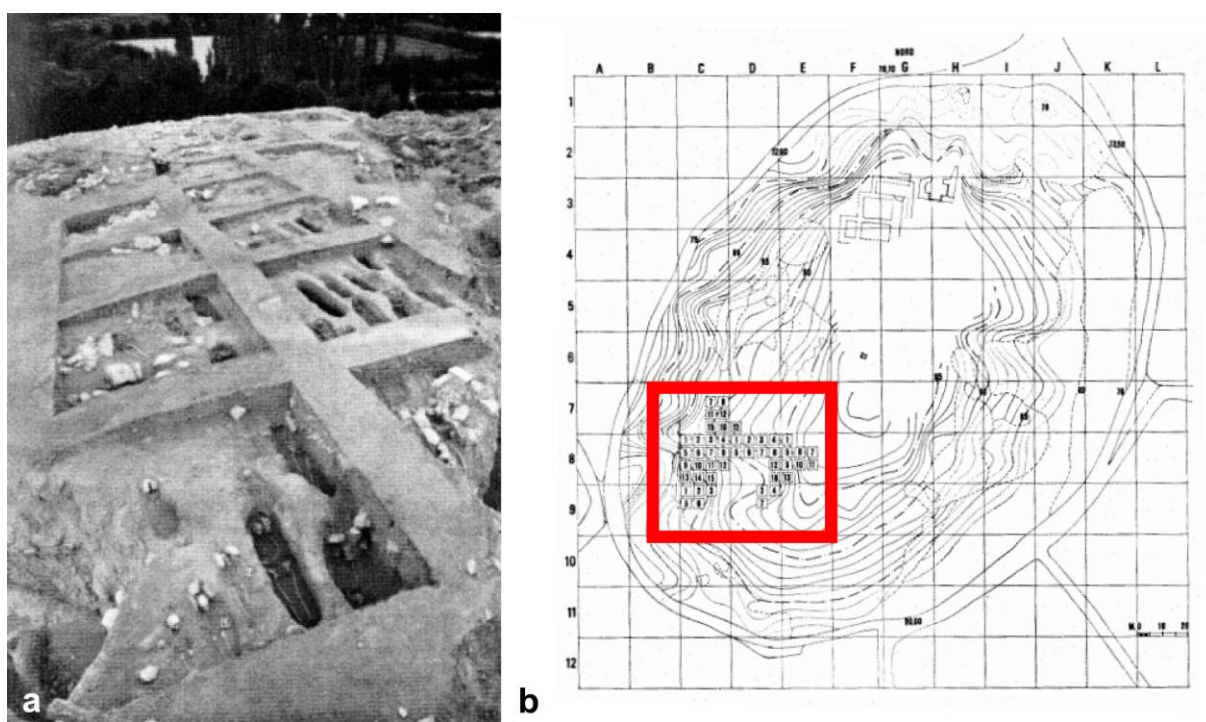


Figura 9: a) Veduta della necropoli bizantina. (Da Palmieri, 1973). b) Impianto topografico generale. In evidenza l'area sud occidentale in cui sono presenti le fosse terragne del sepolcreto. (Da Palmieri, 1973).

1.6 Datazioni assolute C14

Arslantepe può essere considerato un caso ideale: infatti tutte le fasi del sito sono state datate attraverso datazioni radiocarbonio effettuate su frammenti di legni e semi e frutti ritrovati carbonizzati provenienti da contesti ben localizzati (Alessio et al., 1983) e sono state eseguite nel Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università Sapienza presso il

Laboratorio di Analisi Radiometriche). Il dettaglio delle misurazioni può essere consultato sul sito del Archaeological Settlements of Turkey (TAY Project) all'indirizzo <http://tayproject.org>.

2- CLIMA E PALEOCLIMA

2.1 Il clima attuale nel Medio Oriente

La regione medio orientale comprende la parte più orientale dell'area circum-mediterranea. Il clima della regione è influenzato dall'incontro di masse d'aria fredda provenienti dalle alte latitudini, e masse calde provenienti da sud, oltre che dall'azione termoregolatrice del mar Mediterraneo.

Questa zona è caratterizzata da una pronunciata aridità per la maggior parte dell'anno, temperature estive elevate e relativamente miti d'inverno, con una marcata escursione termica diurna.

Il numero, l'intensità e la durata delle piogge che raggiungono la regione varia di anno in anno in base alla velocità di movimento delle fasce cicloniche dirette a sud-ovest; generalmente le precipitazioni avvengono durante i mesi autunnali e invernali, mentre il periodo estivo e soprattutto quello primaverile sono caratterizzati da condizioni di aridità.

2.2 Il clima nell'Olocene

L'intervallo studiato si colloca nella parte medio-alta dell'Olocene, il periodo geologico che include gli ultimi ~12000 anni, a partire dal termine dello Younger Dryas, l'ultimo grande episodio glaciale nell'emisfero settentrionale. L'Olocene costituisce un periodo interglaciale, cioè un periodo caratterizzato da un clima relativamente mite, durante il quale si assiste ad un rapido arretramento delle coltri glaciali polari e montane. Queste condizioni si sono realizzate nel contesto della ciclicità climatica a controllo astronomico (cicli milankoviani), determinata da variazioni del grado di insolazione globale che agiscono su scale temporali minime dell'ordine delle decine di migliaia di anni. Entro scale temporali più brevi, l'Olocene può essere descritto come un periodo di complessivo riscaldamento fino a condizioni di optimum nel periodo tra ~7000 e ~6000 BP, seguito da un trend di generale raffreddamento (es. Gradstein et al., 2012, *cum bibl.*; Fig. 10). Questo andamento a "medio termine" costituisce probabilmente la componente climatica dell'Olocene che risente in una certa misura del controllo orbitale dell'insolazione (Wanner et al., 2011).

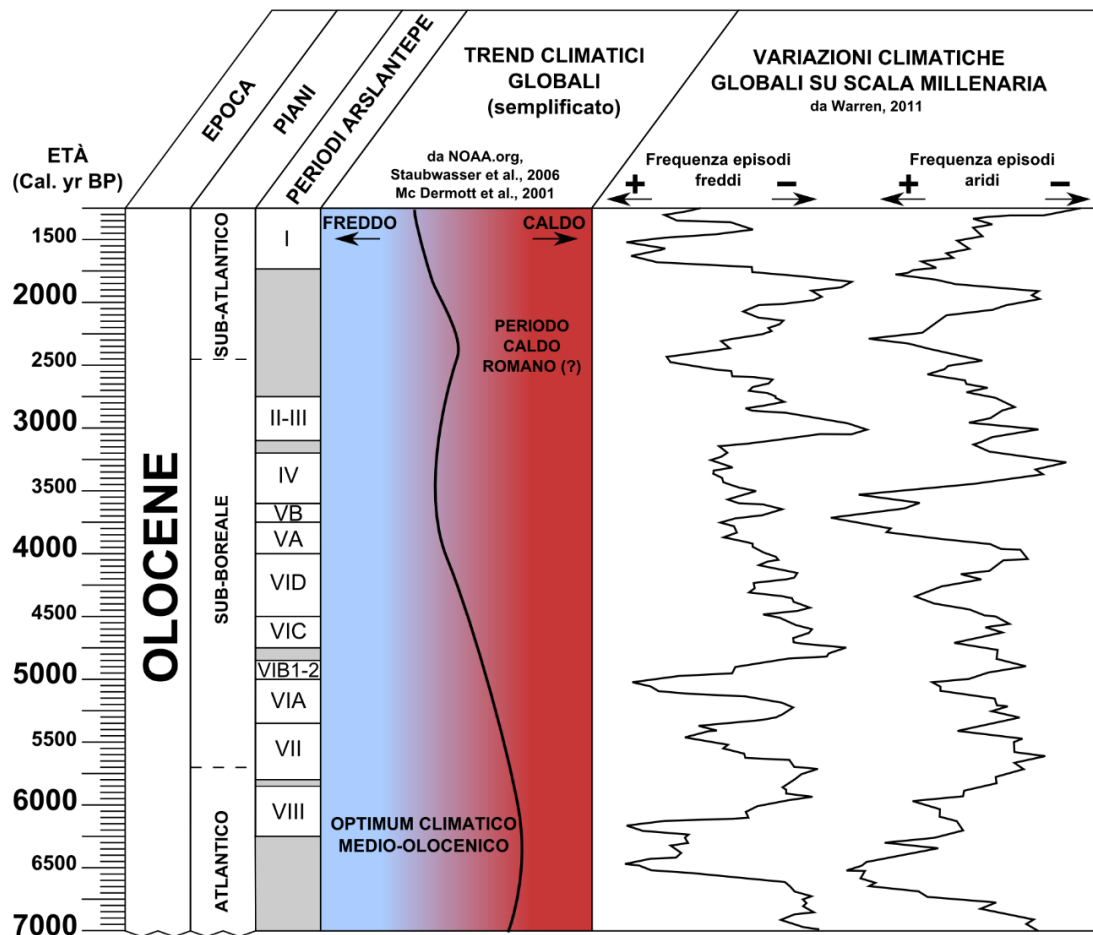


Figura 10: Sintesi dei cambiamenti climatici globali interessanti l'intervallo studiato. Vengono mostrati sia l'andamento globale a lungo termine (varie fonti, a sinistra), che le variazioni di scala millenaria ricostruite tramite analisi statistica da Warren et al. (2011).

Il confronto tra i numerosi record paleoclimatici multiproxy e ad altissima risoluzione dell'Olocene (in particolare $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato biogenico dei sedimenti oceanici; $\delta^{18}\text{O}$ e δD dell'aria intrappolata carote di ghiaccio) rivela l'esistenza, sia nell'Olocene che nelle altre epoche geologiche più recenti, di variazioni climatiche apparentemente cicliche, su scale temporali relativamente brevi. In generale, ci si riferisce a questi fenomeni come "cicli climatici millenari", i quali agiscono su intervalli di circa 1500 anni (Wanner et al., 2011, *cum bibl.*). La natura di questi fenomeni, che generalmente si realizzano con un brusco raffreddamento seguito da un graduale riscaldamento, è in realtà poco chiara, sia per quanto riguarda i forzanti che li generano, sia relativamente all'esistenza di una effettiva ciclicità: su queste scale temporali, fenomeni imprevedibili e dal record geologico frammentario (quale ad esempio l'attività vulcanica), possono influire in maniera drammatica sul mutamento climatico, moderando o incrementando la risposta climatica a potenziali forzanti ciclici esogeni (ad esempio, ciclicità lunari millenarie). È ad esempio il caso degli "eventi di Bond" olocenici, episodi di aumento dell'esportazione a basse latitudini di

materiale detritico di provenienza glaciale (“ice-rafted debris”) nei sedimenti oceanici: similmente ad analoghi fenomeni avvenuti nell’ultimo periodo glaciale (“eventi di Heinrich”), gli eventi di Bond non sempre manifestano una ciclicità regolare, anche se sembrano appunto attestarsi su una scala millenaria; inoltre, non è chiaro se tali eventi rappresentino una risposta ad un episodio di raffreddamento (con conseguente espansione dei ghiacciai continentali in aree marine, e la produzione di nuovi iceberg), o ne siano la causa su scala regionale (l’esportazione di acque fredde e dolci verso le basse latitudini può alterare l’andamento delle correnti oceaniche e ostacolarne l’effetto mitigatore del clima).

I cicli climatici millenari sono naturalmente di grande interesse per quanto concerne gli studi sull’influenza del mutamento climatico sulla storia della civiltà umana. Per quanto riguarda l’area mediterranea e medio-orientale, questi inciderebbero sulla distribuzione e intensità del fenomeno monsonico, il quale determina su questa scala temporale, e a seconda dell’orografia, la distribuzione di aree umide e aride (es. Rodwell and Hoskins, 1996, 2001; Jones et al., 2006). In particolare, l’attuale clima dell’area circostante il Mediterraneo orientale, caratterizzato da una pronunciata aridità estiva (in contrasto con condizioni più umide in corrispondenza dell’optimum climatico olocenico), sarebbe prevalentemente il prodotto dell’instaurarsi di un marcato regime monsonico nelle aree indiane e centro-africane; alcuni autori hanno proposto che episodiche variazioni del fenomeno monsonico abbiano causato drammatici episodi siccitosi, riconosciuti in diversi record paleoclimatici locali, talvolta proposti come la causa di fondo di alcuni momenti di cambiamento politico e sociale nella storia mediorientale (es., Cullen et al., 2000; Migowski et al., 2006; Roberts et al., 2011).

2.3 Record e cambiamenti climatici nell’Olocene del Medio Oriente

La ricerca ha prodotto un gran numero di studi paleoclimatici (in gran parte fondati su un approccio geochimico) che mettono in relazione i mutamenti climatici e la storia della civiltà, e a tale scopo l’area medio-orientale rappresenta il caso di studio per eccellenza.

Un buon numero di questi studi è stato effettuato in regioni relativamente prossime al sito di Arslantepe, e forniscono un record paleoclimatico localizzato da mettere a confronto con i risultati del presente lavoro; gli studi più significativi verranno illustrati di seguito (Fig. 11).

2.3.1 Record paleoclimatici speleotemici

Il gruppo di lavoro che ha studiato le concrezioni nelle **Grotte di Soreq**, in Israele, datate con il metodo Uranio/Torio, ha misurato i valori di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ (Bar Matthews et al., 1997). I valori di $\delta^{18}\text{O}$ negli speleotemi sono strettamente correlati alle paleo-precipitazioni: il carbonato formatosi durante periodi più umidi è caratterizzato da bassi valori di $\delta^{18}\text{O}$, al contrario elevati valori di $\delta^{18}\text{O}$ segnalano periodi più aridi. I valori di $\delta^{13}\text{C}$ sono strettamente correlati alla vegetazione, e valori elevati di $\delta^{13}\text{C}$ suggeriscono una presenza di piante C_4 , piante che si adattano meglio a climi caldi e aridi, mentre valori più bassi di $\delta^{13}\text{C}$ sono caratteristici di una maggiore presenza di piante C_3 , caratteristiche di climi più umidi.

Sulla base dei valori $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$, si può suddividere il record delle grotte, nell'intervallo di interesse per il presente studio, in due fasi. La prima fase, molto umida, va dal 6500 al 5400 BP. Durante il periodo che va dal 5600 a circa il 3000 BP (fase 2) il clima umido è interrotto da brevi periodi asciutti (tra il 5200 e il 5000 BP, e attorno al 4000 BP).

Nel 2011 (Bar Matthews et al.) sono state eseguite analisi ad alta risoluzione (~3-20 anni) nell'intervallo tra il 7000 e il 4000 BP; si è così rilevato che esso è stato caratterizzato da cicli sinusoidali tra clima umido e secco, ciascuno della durata di circa 1500 anni.

Lo studio dimostra che nei periodi in cui il record ad alta risoluzione è disponibile, il record $\delta^{18}\text{O}$ è più irregolare perché influenzato da variazioni stagionali e annuali dell'acqua che si è infiltrata nella grotta, mentre il record $\delta^{13}\text{C}$ è meno disturbato da questo fenomeno.

Nell' intervallo considerato, che corrisponde approssimativamente al periodo del massimo sviluppo di Arslantepe, sono stati individuati eventi secchi e umidi, alcuni dei quali sono associati con la transizione tra i periodi culturali.

Durante la transizione da Medio Calcolitico a Tardo Calcolitico, e da Bronzo II a Bronzo III si verificano picchi umidi datati rispettivamente 6550-6450 BP e 4800-4700 BP. La fine del periodo Calcolitico è avvenuta dopo un lungo periodo di siccità, datato tra il 5700 e il 5600 BP. Analogamente, la transizione dal Bronzo Antico al Medio Bronzo è avvenuta dopo un lungo periodo secco, che ha raggiunto il suo picco tra il 4200 e il 4050 BP. Questo evento secco viene registrato da diversi proxy climatici, e si crede abbia avuto un significativo impatto sul crollo dell'Impero accadico (Cullen et al., 2000). Altri tre brevi eventi secchi si sono verificati tra il 6650 e il 6600 BP, tra il 6250 e il 6180 BP e tra il 5250 e il 5170 BP. Tra questi, l'ultimo evento viene segnalato in molte parti della regione, e viene correlato al crollo della società Uruk in Mesopotamia.

Sono inoltre stati identificati sei eventi umidi due dei quali, tra il 6550 e il 6450 BP e tra il 4800 e il 4700 BP, coincidono con cambiamenti culturali (vedi sopra); e gli altri quattro sono registrati tra il 6700 e il 6680 BP, tra il 6170 e il 6100 BP, tra il 5760 e il 5740 BP e tra il 5500 e il 5450 BP.

2.3.2 Record isotopici lacustri

Due record isotopici ad alta risoluzione sono disponibili in prossimità dell'area di studio (Lago Van e Eski Acıgöl).

I valori isotopici dei carbonati lacustri sono influenzati da vari fattori, tra cui la temperatura, la stagionalità e l'origine delle masse d'aria; tuttavia nei casi di studio considerati, il principale ruolo sembra essere giocato dal bilancio idrologico, per cui l'arricchimento in ^{18}O rifletterebbe la precipitazione di carbonato in condizioni di maggiore aridità, mentre valori più negativi di $\delta^{18}\text{O}$ indicherebbero condizioni più umide (Jones e Roberts, 2008).

I dati ottenuti dall'analisi dei carbonati risultano particolarmente interessanti perché mostrano un chiaro andamento a lungo termine che permette di individuare un ciclo climatico che varia da un massimo di umidità collocato attorno al 5000 BP, seguito da una transizione a condizioni più aride fino al 2500-3000 BP quando l'andamento inverte nuovamente.

Il **Lago Van** in Turchia orientale (Lemcke e Sturm, 1997; Wick et al., 2003) è un lago chiuso salato a quota 1720 m s.l.m. a circa 400 chilometri da Arslantepe.

Il lago ha un volume di 607 km³ e una profondità massima di 451 m e si trova in una zona tettonicamente attiva. Il livello del lago era al suo massimo al culmine dell'ultima era glaciale, circa 18 ka BP (72 m sopra il livello attuale).

L'indagine isotopica ($\delta^{18}\text{O}$), sui campioni di sedimento prelevati dal lago, è parte di uno studio che è stato effettuato da un gruppo multidisciplinare (Litt et al., 2009); oltre al $\delta^{18}\text{O}$ sono stati studiati i rapporti Mg/Ca, il polline e i carboni.

Secondo l'analisi dei pollini la vegetazione era di un tipo steppico da 10000 a 6500 BP; da 6500 a 3400 BP era foresta e da 3400 BP fino alla parte superiore della sezione, si osserva l'impatto dell'agricoltura.

Il rapporto Mg/Ca indica cambiamenti di salinità delle acque. Tra 10000 e 9000 BP è stato registrato l'abbassamento del livello del lago e l'aumento della salinità dell'acqua: questo è stato interpretato come indice di clima più caldo e asciutto. Si osserva inoltre una tendenza verso una positivizzazione della curva isotopica.

Attorno al 6200 BP c'è stato un aumento del livello del lago, una diminuzione della sua salinità oltre a un marcato aumento della percentuale di polline arboreo (massima espansione delle foreste di quercia). Questo viene interpretato come l'insorgere di un clima più umido. Simultaneamente il valore di $\delta^{18}\text{O}$ si negativizza.

Dal 4000 BP l'aridità torna a crescere fino allo stabilizzarsi nelle condizioni attuali attorno a 2000 anni fa. L'impatto antropico ha inizio attorno al 3800 BP e si è intensificato durante gli ultimi 600 anni (Wick et al., 2003).

Eski Acıgöl è un bacino vulcanico di 200 metri di diametro che si trova in Turchia centrale a 1270 m s.l.m. a circa 400 chilometri a est di Arslantepe.

Il lago di acqua salmastra è stato prosciugato nel 1972, non aveva afflussi in entrata o in uscita, e l'acqua proveniva dalla raccolta delle precipitazioni e da acque sotterranee, mentre l'output dipendeva dall'evaporazione e dall'infiltrazione d'acqua nel terreno.

Sulle carote prelevate, sono stati condotti studi multidisciplinari; analisi polliniche (Roberts et al., 2001, Woldring e Bottema, 2003) e isotopiche (Jones et al., 2007). Il record ricopre gli ultimi 20000 anni.

Il record isotopico ($\delta^{18}\text{O}$) mostra che il periodo post-glaciale (LGM) è stato caratterizzato da scarse precipitazioni (<60% rispetto all'attuale) e temperature più basse mentre il primo Olocene era più umido rispetto ad oggi (>20%).

Le analisi polliniche mostrano, all'inizio dell'Olocene, un aumento di querce caducifoglie e arbusti del genere *Pistacia* e un brusco calo di *Artemisia* e chenopodiacee (Roberts et al., 2001; Woldring e Bottema, 2003). Questo aumento termina 6500 anni fa e ri-aumentano i *taxa* erbacei e steppici (*Artemisia* e *Chenopodiaceae*). Dalle analisi polliniche si osserva anche che tra i 4500 e i 4000 anni BP la vegetazione subisce una modificazione a causa dell'antropizzazione, le querce diminuiscono e raggiungono il loro minimo intorno a circa 3800 BP e aumentano *Rosaceae*, *Compositae*, *Plantago*, *Polygonum aviculare* e *Urtica*.

Queste tendenze sul lungo termine, osservate sia con le analisi isotopiche che con quelle polliniche, sono simili a quelle registrate nelle Grotte di Soreq in Israele, suggerendo una coerenza climatica in tutta la regione.

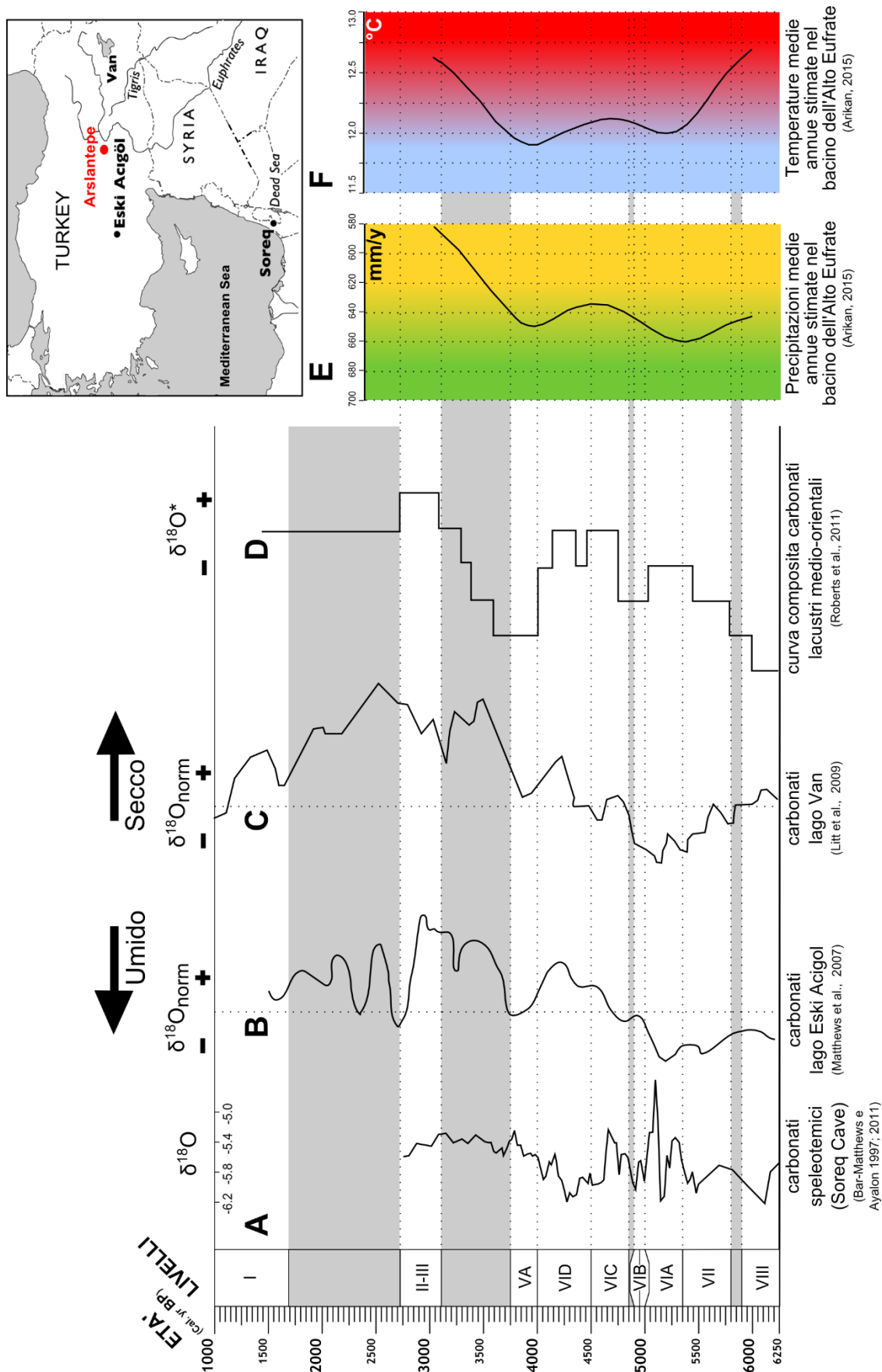


Figura 11: Principali record paleoclimatici regionali e locali a cui si fa riferimento in questo lavoro. Le curve B e C sono state modificate in Roberts et al. 2011(vedi testo); la curva D rappresenta una ricostruzione di variazioni relative del $\delta^{18}O$ sulla base di diversi record lacustri (vedi testo).

2.3.3 Record paleoclimatici compositi

Roberts et al. (2011), allo scopo di effettuare un'analisi dell'influenza del clima nello sviluppo delle civiltà medio-orientali, hanno realizzato una sintesi di diversi record paleoclimatici della regione, che include quelli discussi sopra.

I record isotopici di sei laghi, il cui campionamento copre il periodo dal 9000 BP al presente, sono stati trasformati in valori normali standardizzati (i.e. valore medio/1dev.st.; vedi Fig. 11B,C) per moderare le differenze legate a fattori specifici dei vari siti (ad esempio la composizione del $\delta^{18}\text{O}$ delle precipitazioni, che risentono di effetti dovuti alla continentalità e all'altitudine). I laghi sono distribuiti su un'area che si estende dalla Grecia occidentale alla regione degli Zagros a est, e sono stati campionati con una frequenza tra 85 e 252 anni, che consente di identificare andamenti di ordine di grandezza secolari o superiori.

Sulla base di questi dati è stata ottenuta una sintesi delle variazioni relative del $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}^*$; Fig. 11D); tali variazioni sono state interpretate in termini di fluttuazioni del grado di umidità, parametro che nel contesto lacustre influenza più direttamente il $\delta^{18}\text{O}$ rispetto alla temperatura.

Tale sintesi mostra una complessiva transizione da condizioni più umide a più aride, caratterizzata da pronunciate oscillazioni di scala millenaria con alcune fasi o picchi aridi databili tra il 5500 e il 5000 BP, tra il 4700 e il 4100 BP e tra il 3100 e 2800 BP.

2.3.4 Modellizzazione tramite MCM

Un recente lavoro di potenziale interesse per la zona di studio è stato proposta da Arian (2015) applicando la tecnica MCM (Macrophysical Climate Model; Bryson, 2005, *cum bibl.*). Questa tecnica genera dei modelli paleoclimatici di temperatura e precipitazioni atmosferiche integrando al record climatico recente nella zona di studio il contributo di vulcanismo e forzanti astronomici nell'intervallo considerato (6000-3000 BP.) (Fig. 11E,F).

I risultati indicherebbero che durante il periodo del tardo Calcolitico (6250-5000 BP), nella zona dell'Alto Eufrate, vi fossero condizioni più umide e più fresche rispetto all'età del Bronzo.

Il cambiamento sarebbe stato bimodale, con una diminuzione delle precipitazioni e un aumento della temperatura nel Bronzo Antico I e II (5000-4500 BP) seguiti da un leggero aumento delle precipitazioni e un calo della temperatura nel Bronzo Antico III (4500-4000

BP). Dalla Media Età del Bronzo (2000 BP) in poi le precipitazioni continuano a diminuire e le temperature ad aumentare.

È stata inoltre valutata la variabilità annuale media delle precipitazioni; questa sembra essere minore durante il Tardo Calcolitico (196 mm) e la tarda età del Bronzo (288 mm), aumenta durante il Bronzo Antico (570 mm) e raggiunge il valore massimo (852 mm) nel Bronzo Medio.

Anche se l'ammontare effettivo delle precipitazioni non cambia significativamente, l'entità delle variazioni suggeriscono possibili cambiamenti nella stagionalità delle precipitazioni.

La variazione nella stagionalità delle precipitazioni e il cambiamento nel regime delle precipitazioni hanno gravi impatti sulla copertura del suolo e tassi di erosione che influiscono negativamente sulla produzione agricola. Combinando i risultati ottenuti con la tecnica MCM con i dati archeologici tali cambiamenti possono coincidere con il significativo aumento della pastorizia nella regione (Arikan, 2015).

2.3.5 Studi archeobotanici nel sito di Arslantepe

Alcuni studi di archeobotanica condotti nel sito di Arslantepe (Baneschi et al., 2012; Masi et al., 2012; 2013; Fig. 12) forniscono informazioni paleoclimatiche confrontabili con i dati indagati nel presente studio. In particolare si tratta di analisi tassonomiche e isotopiche sui macroresti vegetali carbonizzati rinvenuti nei livelli del VIA, VIB1-2, VIC e VID (5300-3950 BP).

L'analisi archeobotanica consente, osservando la presenza/assenza di determinati *taxa* vegetali e le loro caratteristiche, di ricostruire l'ambiente circostante nelle varie fasi dell'insediamento; inoltre la composizione isotopica dei resti vegetali ($\delta^{13}\text{C}$) può costituire un proxy delle condizioni di umidità (Farquar et al., 1989).

Per i lavori di carattere isotopico sono stati analizzati legni di quercia (*Quercus* sp.) e ginepro (*Juniperus* sp.), provenienti da elementi strutturali (travi, tetti), palizzate, porte e da oggetti di uso comune ritrovati negli ambienti (Masi et al., 2012; 2013), oltre a cariossidi di farro (*Triticum dicoccon* Schrank) e di orzo (*Hordeum vulgare* L.) rinvenuti sui tetti degli edifici crollati o all'interno di zone di stoccaggio (Masi et al., 2014).

Gli studi isotopici condotti sui macroresti carbonizzati di quercia (*Quercus* sp.) (Masi et al. 2012) mostrano somiglianze con i record paleoambientali del Vicino Oriente. L'andamento climatico può essere così suddiviso:

- una fase instabile, da circa 5200 al 4900 BP, (fine del periodo VIA e l'inizio del VIB1). In questa fase sono registrati sia momenti più aridi che i più piovosi di tutto il record considerato,
- un brusco abbassamento dell'umidità tra periodi VIB1 e VIB2 (circa 4900 BP),
- una fase di relativa stabilità che dura per quasi tutto il periodo VID (4800-4300 BP),
- un aumento dell'aridità nei campioni finali del periodo VID (fine del III millennio a.C.).

Il confronto con i legni moderni ha inoltre dimostrato che il clima attuale in quella zona è più secco rispetto al passato fatta eccezione di due brevi periodi collocati all'inizio e alla fine del record archeologico considerato.

I campioni carbonizzati di legno di ginepro (*Juniperus* sp.; Masi et al., 2013) mostrano una tendenza analoga a quella dei legni di quercia nel breve periodo tra circa 4850 e 4500 BP, le curve sono sostanzialmente parallele e la differenza ^{13}C tra di essi è piuttosto ridotta, ma nel resto del record sono spostati di circa 50-150 anni.

Nel complesso, i rapporti contrastanti $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ tra ginepro e querce caducifoglie suggeriscono che la stagionalità nella distribuzione delle precipitazioni e ricarica degli acquiferi ha giocato un ruolo complesso.

E' stato registrato un forte contrasto stagionale nelle precipitazioni a circa 5350, 5100, e 4300 BP.

In particolare, il periodo compreso tra ca. 4850 e 4500 BP può suggerire condizioni più umide a fine inverno/inizio primavera.

La combinazione dei due record (quercia e ginepro) confrontati con la vegetazione moderna suggerisce che: due periodi di siccità si verificano a circa 5350-5100 BP e tra 4300 e 4200 BP e che attualmente le precipitazioni invernali sono inferiori a quelle registrate durante il periodo 5350-4000 BP, mentre l'aridità estiva è minore o uguale a quella registrata a circa 4200 BP. Nel complesso il clima attuale è, in media, più secco rispetto al passato e simile al periodo siccitoso registrato tra il 4300 e il 4200 BP.

Gli autori concludono affermando che questi record climatici contrastanti sono probabilmente la prova della complessità del clima mediterraneo, che può fornire, dando risultati apparentemente contrastanti, informazioni sia sulle alte che sulle basse latitudini.

Nel periodo considerato, il clima dell'Anatolia orientale era probabilmente mutevole, soggetto all'influenza di cicloni delle medie latitudini generati nell'Oceano Atlantico settentrionale e nel bacino del Mediterraneo.

Masi et al., (2014) hanno condotto uno studio isotopico ($\delta^{13}\text{C}$) su cariossidi carbonizzati di orzo (*Hordeum vulgare*) e farro (*Triticum dicoccon*) per poter identificare le pratiche agricole adottate per lo sviluppo delle culture cerealicole. Rinvenire in un contesto archeologico prove dirette di irrigazione e gestione delle acque è molto raro e valutare attraverso gli isotopi le condizioni di crescita dei cereali è una metodologia sempre più utilizzata in campo archeobotanico, tuttavia si è reso necessario riuscire a discriminare tra una effettiva variazione della disponibilità di acqua durante la maturazione dei cereali dovuta a fattori climatici e/o a pratiche umane.

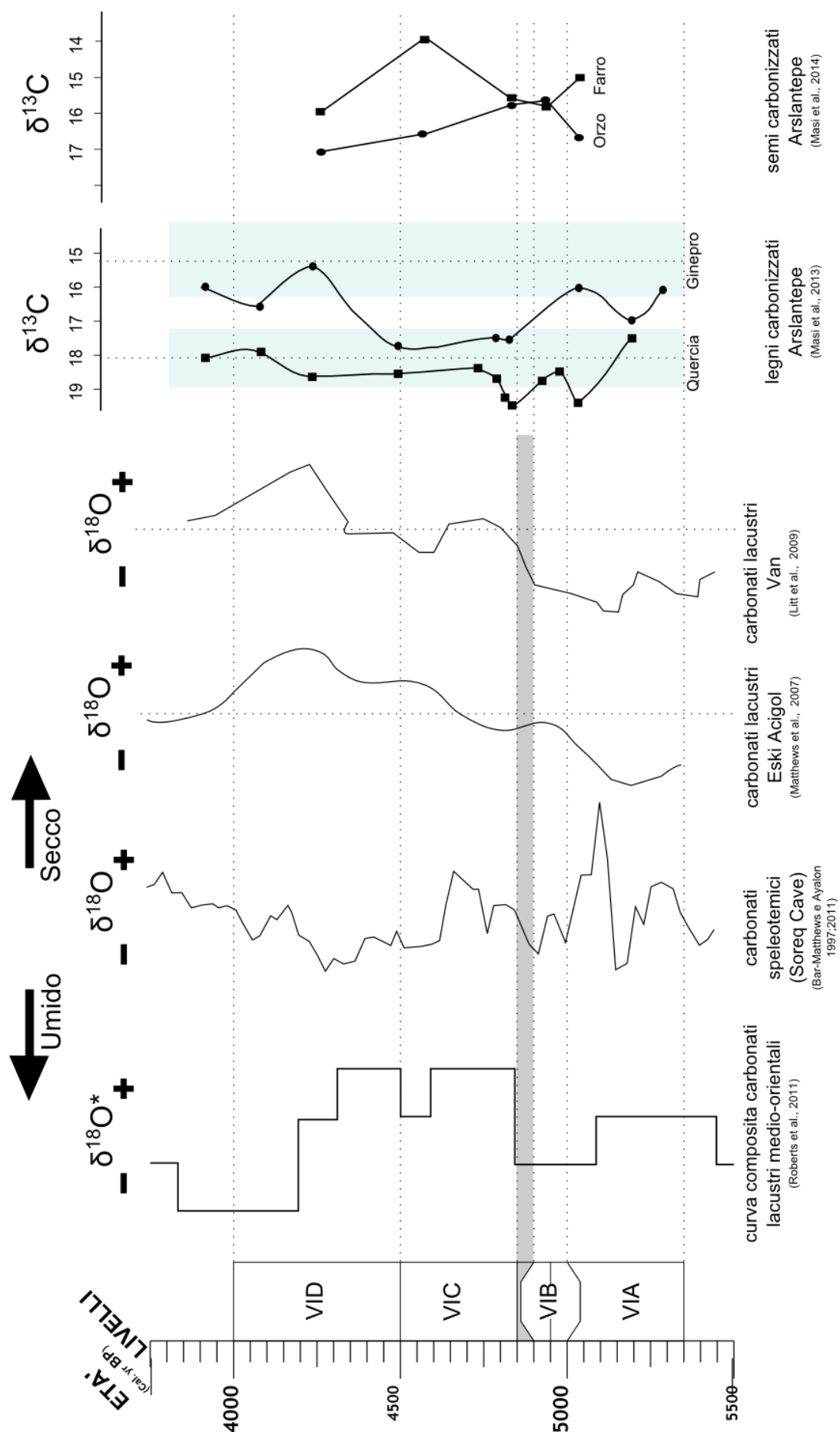


Figura 12: Confronto tra alcuni record paleoclimatici regionali e i dati archeobotanici provenienti dal sito di Arslantepe

Le variazioni del rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ mostrano un comportamento contrastante e suggeriscono che l'orzo e il farro sono cresciuti sotto diversi regimi idrici. In particolare, è stato adottato un sistema di gestione diverso tra il 5000 e il 4800 BP (VIB1-VIB2). Il farro è maturato con un costante approvvigionamento idrico indotto dall'uomo, mentre l'orzo non veniva irrigato e probabilmente era coltivato in terreni più marginali rispetto al farro e meno ricchi di materia organica.

Questa interpretazione però sembrerebbe divergere dalle testimonianze archeologiche in cui si osserva alla fine del periodo VIA il collasso di una economia centralizzata, controllata dallo Stato e sicuramente era dotata di un complesso sistema agricolo, e la nascita di una agricoltura a conduzione familiare nel periodo VIB in cui sembra improbabile che la popolazione, con una grande componente pastorale, avesse avuto la capacità o la necessità di gestire un complesso sistema di irrigazione.

Si ipotizza pertanto che nelle diverse fasi del sito archeologico il farro fosse sempre stato irrigato o comunque coltivato nei campi migliori; pratiche simili potrebbero essere state utilizzate per l'orzo nel periodo della centralizzazione dello Stato VIA, mentre non ha ricevuto nessuna particolare cura nei due periodi successivi (VIB1-2). Questo potrebbe spiegare perché tra il 4900 e il 4800 BP l'orzo registri una fase più secca rispetto al farro. I risultati per il periodo VID di entrambe le colture sono simili a quelli del periodo VIA: questo, insieme alle caratteristiche dell'insediamento, porta gli autori ad ipotizzare una gestione delle colture simile nei due periodi.

PARTE II

MATERIALI E METODI

3- MATERIALI

3.1 Introduzione

Questo studio si basa sulla ricostruzione delle condizioni paleoclimatiche e paleoambientali nel sito archeologico di Arslantepe sulla base dell'analisi degli isotopi stabili (carbonio, ossigeno e azoto) in reperti osteologici animali ed umani.

Nei seguenti capitoli verranno descritti la tipologia dei campioni analizzati e i metodi dell'interpretazione dei dati mentre le metodologie sono descritte nel dettaglio nell'appendice 1 e 2.

3.2 I tessuti scheletrici

3.2.1 Ossa

Il sistema scheletrico riveste un ruolo fondamentale nell'omeostasi minerale, ospita gli elementi emopoietici, fornisce supporto meccanico per il movimento e la protezione e determina la massa e forma corporea.

L'apparato scheletrico è composto da 206 ossa, diverse per dimensioni e forma: le ossa lunghe sono di forma cilindrica con estremità allargate e costituiscono gli arti superiori e inferiori del corpo; le ossa piatte, localizzate nelle regioni del cranio, spalla, bacino e nella la gabbia toracica e le ossa corte, con diametri tutti equivalenti e costituenti delle ossa del carpo e del tarso.

Dal punto di vista istologico l'osso è composto dalle seguenti parti (Fig. 13):

- periostio, membrana esterna fibrosa, assente in legamenti e articolazioni;
- endostio, membrana sottile che riveste la cavità interna dell'osso;
- cavità midollare, presente solo nelle ossa lunghe;
- midollo osseo, giallo (fibro-adiposo) o rosso (funzione emopoietica);
- diploe, strato spugnoso posto tra il tavolato esterno e interno delle ossa del cranio.

L'osso ha due estremità dette epifisi, separate da una diafisi tubulare; la metafisi è una zona ristretta che separa la diafisi dall'epifisi a ciascuna estremità (Fig. 13).

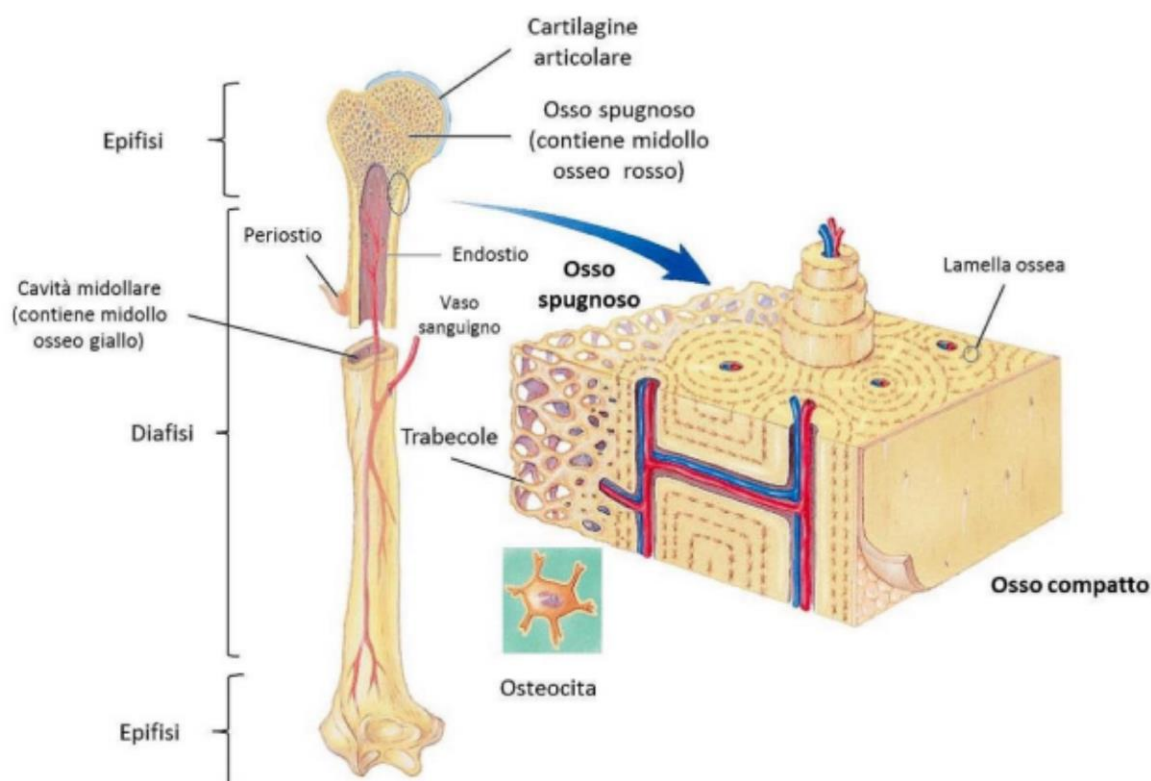


Figura 13: Morfologia del tessuto osseo

Il tessuto osseo è un tipo di tessuto connettivo con la peculiare caratteristica di mineralizzare. Dal punto di vista bio-chimico si compone di una matrice organica, che compone circa il 35-40% del peso secco dell'osso, ed elementi inorganici, che compongono il 60-65% del peso secco dell'osso negli adulti umani (Fig. 14).

La componente inorganica (Fig. 14), idrossiapatite di calcio $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$, è il minerale che conferisce all'osso resistenza e durezza ed è il deposito del 99% del calcio corporeo (26% del peso secco dell'osso), dell'85% del fosforo (12% del peso secco dell'osso), del 65% del sodio e del magnesio. I componenti minerali presentano una fase amorfa e una cristallina. La frazione cristallina è costituita da cristalli di idrossiapatite in forma di aghi ($20 \times 7,5 \text{ nm}$) oppure in forma di piccole placche esagonali ($20-60 \times 7,5 \text{ nm}$) che si dispongono a ridosso delle fibre collagene con l'asse maggiore parallelo a quello delle fibre stesse. La frazione amorfa è formata da diversi fosfati idrati secondari.

La componente organica comprende le cellule dell'osso e le proteine della matrice (Fig. 14). Le cellule dell'osso sono rappresentate principalmente da osteoblasti (responsabili della neo-produzione ossea), osteoclasti (responsabili del riassorbimento osseo) e osteociti (costituenti la popolazione cellulare maggiore dell'osso, sono osteoblasti alloggiati all'interno della matrice ormai calcificata). Le proteine della matrice possono essere distinte in proteine

collageniche e proteine non collageniche. Il collagene è una proteina fibrosa ed è la più abbondante nei vertebrati, ha una conformazione a tripla elica. Sono stati identificati almeno venticinque tipi differenti, distinti sulla base della morfologia, della composizione amminoacidica e delle proprietà fisiche

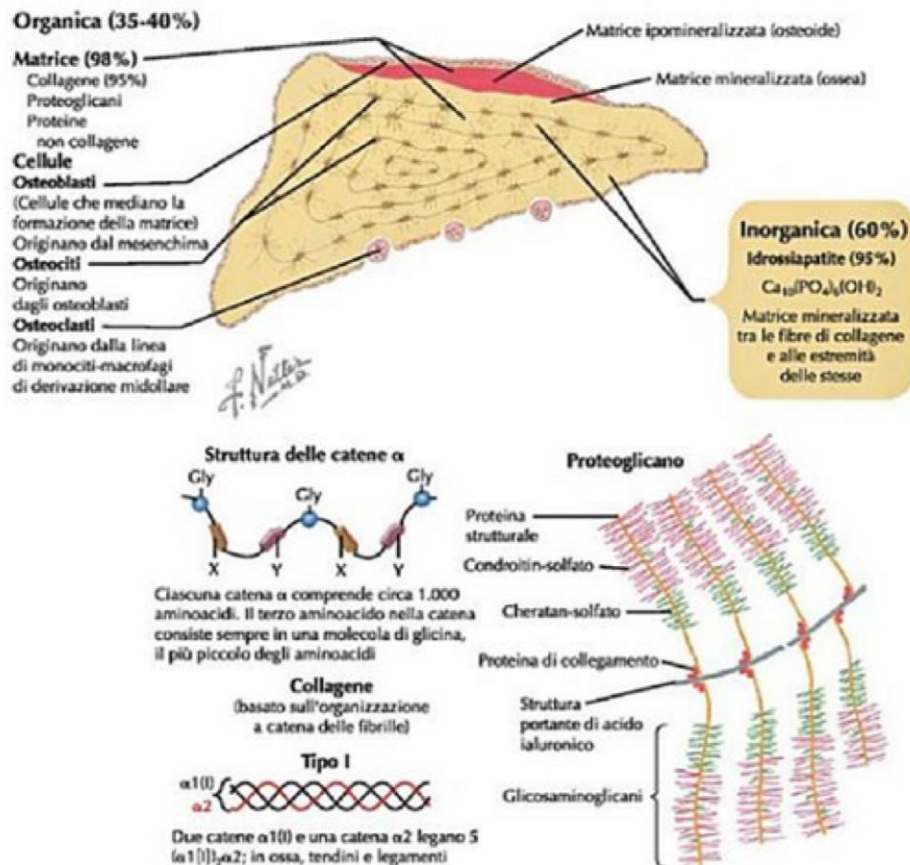


Figura 14: Rappresentazione della struttura del collagene. (Da Netter, 2003)

Nell'osso è presente il collagene di tipo I, che appartiene ad un gruppo noto come fibrillare, la cui funzione è fornire resistenza alla trazione e resilienza, due proprietà importanti che servono alla formazione di un tessuto dinamico. Costituisce il 90% della componente organica dell'osso e viene prodotto da parte degli osteoblasti e deposto in maniera ordinata e stratificata in modo da costituire quello che, nell'adulto, viene definito osso lamellare.

3.2.2 Denti

Ogni dente presenta la corona, che si eleva al di sopra della gengiva, il colletto, che è la parte ristretta che fa seguito alla corona, la radice, che può essere semplice, duplice o tripla, ed è fissata mediante una guaina di tessuto connettivo, il periodontio, all'alveolo delle ossa (Fig. 15). La parte principale della corona, del colletto e della radice è composta da dentina. Nella

corona la dentina è rivestita dallo smalto il quale ne limita l'usura: è un tessuto durissimo poiché fortemente mineralizzato ed il suo spessore è massimo in corrispondenza delle cuspidi e diminuisce progressivamente avvicinandosi al colletto. Nel colletto e nella radice la dentina, invece, è rivestita da uno strato sottile di cemento (più morbido e permeabile rispetto allo smalto); ha un colorito giallastro ed è attraversata a tutto spessore dai canalicoli con andamento radiale rispetto alla cavità della polpa del dente (Fig. 15).

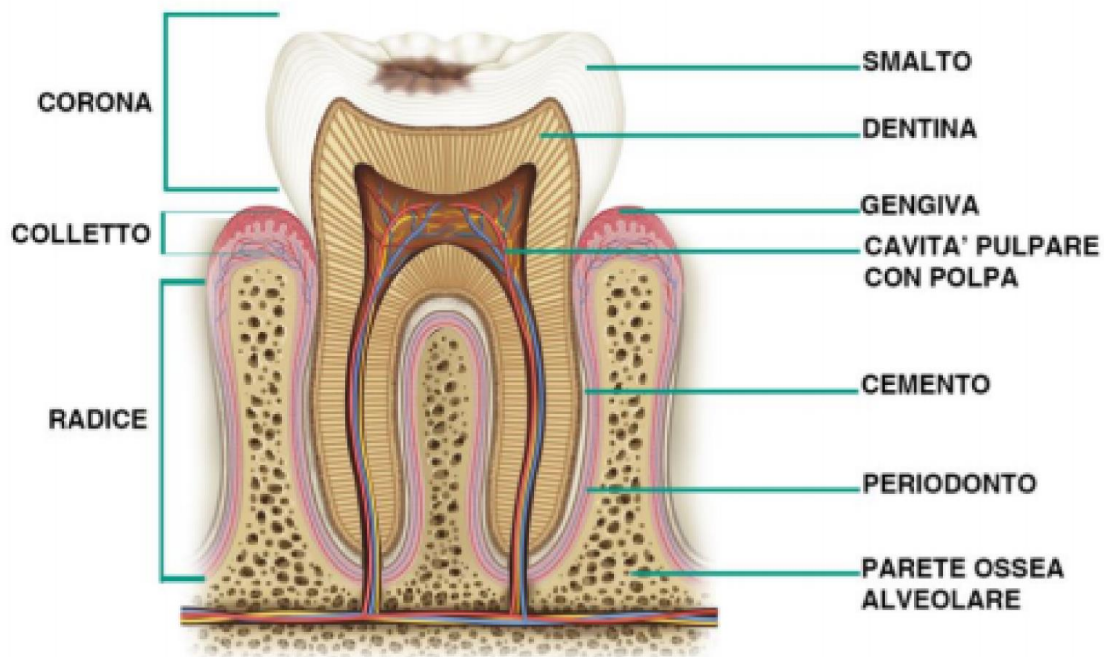


Figura 15: Schema della struttura dei denti

La dentina è composta da una matrice organica (30%) calcificata. Ciascun dente contiene una cavità, delimitata dalla dentina, che contiene la polpa del dente: questa è formata da tessuto connettivo, vasi sanguigni, vasi linfatici e nervi e assicura gli scambi biologici tra dente e organismo, fornisce la sensibilità ai diversi stimoli e, a volte, provvede ai processi di riparazione.

Lo smalto è composto quasi esclusivamente da sostanze inorganiche (97-98%) le quali vengono depositate in strutture di forma prismatica separate da sostanza inter-prismatica altrettanto calcificata. Prismi e sostanza inter-prismatica sono composti per il 90% da idrossiapatite.

I denti dei mammiferi generalisti (dentatura non specializzata) presentano 3 caratteri principali:

1. le cuspidi servono a bucare il cibo;

2. le creste, che connettono le cuspidi, hanno la funzione di tagliare il cibo;
3. i bacini servono a frantumare o macinare il cibo.

Generalmente incisivi e canini servono solo ad afferrare o catturare il cibo, mentre molari e premolari elaborano il cibo:

- i premolari anteriori sono generalmente semplici denti foranti;
- gli intermedi tagliano;
- i molari (posteriori) frantumano o macinano.

I molari e i premolari dei mammiferi sono i denti più complessi e che hanno subito una evoluzione per adattarsi a compiti specifici.

I mammiferi che si alimentano con sostanze abrasive, ad esempio gli erbivori (radici, semi, erba...) sono soggetti ad una rapida usura dei denti: molte specie hanno evoluto denti con corona molto alta (che si estende molto dalla gengiva). Questi denti sono chiamati Ipsodonti. La condizione opposta, denti con corona bassa, è definita brachiodonte come per esempio quelli umani.

3.2.3 Denti- uomo

L'uomo è un animale onnivoro e quindi necessita per la masticazione di diversi tipi di denti: gli incisivi (I), a forma di scalpello, per tagliare; i canini (C), appuntiti, per afferrare; i molari (M), ampi e con più tubercoli, per tritare.

Nella specie umana i denti compaiono di norma due volte (specie difiodonte), si parla pertanto di prima dentizione, o dentizione decidua, e di seconda dentizione, o dentizione permanente (Fig. 16).

La dentizione decidua è costituita da 5 elementi dentali per ogni emi-arcata mancando i premolari ed essendo rappresentati solo due molari. Gli abbozzi dei denti decidui sono già presenti al nono mese di vita intrauterina ma la loro eruzione non si manifesta prima del sesto mese di vita. I primi a comparire sono gli incisivi mediali inferiori e superiori (dal sesto al quattordicesimo mese), mentre gli ultimi sono i secondi molari che spuntano verso il secondo anno di vita. L'eruzione dei primi molari avviene dal dodicesimo al sedicesimo mese e dei canini dal sedicesimo al ventiduesimo mese di vita (Fig. 16).

La dentizione permanente conta otto denti per ciascuna emi-arcata: 2 incisivi, 1 canino, 2 premolari e 3 molari (eterodonzia). Il primo dente permanente a comparire è il primo molare

al sesto anno di vita, al settimo compaiono gli incisivi mediali, all'ottavo quelli laterali, al nono i primi premolari, al decimo i secondi premolari. I canini compaiono all'undicesimo anno e l'ultimo dente permanente a comparire, se si eccettua il terzo molare o dente del giudizio che può spuntare tra il diciottesimo e il trentesimo anno di vita, è il secondo molare, che compare verso i dodici anni (Fig. 16).

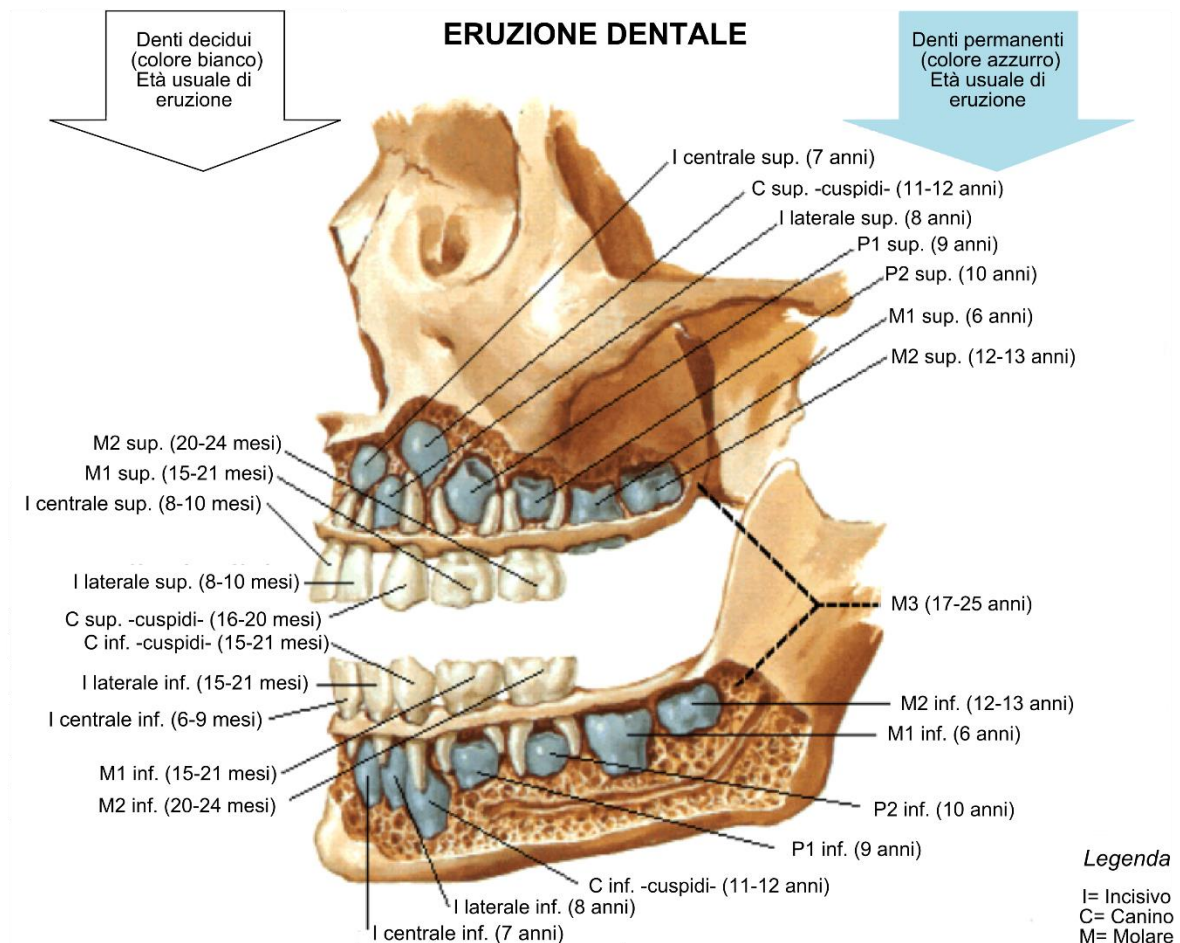


Figura 16: Rappresentazione dei tempi di eruzione dei denti umani. (Ridisegnata da Netter, 2003)

3.2.4 Denti – animali

La forma e le dimensioni dei denti variano in maniera significativa da specie a specie, esse dipendono dalle funzioni che i denti devono svolgere (triturare, tagliare, afferrare...).

Così come l'uomo gli animali mammiferi presentano dei denti simili nelle due arcate ma con forma diversa l'uno dall'altro (eterodonzia). Gli incisivi sono sempre di forma appiattita, i canini, che hanno la funzione di afferrare il cibo, sono presenti solamente nei carnivori e negli onnivori ma assenti negli erbivori, i premolari sono sempre presenti così come i molari che, come per l'uomo, sono i denti di maggiore dimensioni.

I mammiferi domestici (es. *Sus domesticus*, *Bos taurus*) presentano una dentizione decidua e una permanente ad esclusione dei molari che compaiono solo una volta (denti monofisari).

Gli erbivori presentano una particolare specializzazione dei molari, i quali devono macinare accuratamente ed efficientemente il loro cibo, che è spesso duro e abrasivo. L'aumento di efficienza dell'azione di macina nella masticazione viene raggiunto tramite l'aggiunta di creste di smalto. Un altro modo per aumentare numero e dimensione delle superfici taglienti è tramite l'allungamento delle cuspidi primarie in una direzione antero-posteriore: questi denti sono chiamati selenodonti e consentono una efficiente ruminazione, sono tipici dei Cervidi e dei Bovidi.

3.3 Ossa e denti: differenze strutturali e implicazioni isotopiche

L'analisi delle ossa e dei denti fornisce informazioni differenti: le ossa sono sottoposte a continuo rimodellamento, i tessuti dell'osso sono continuamente distrutti e ricostruiti, con un turnover medio cellulare di 10-20 anni (costa ~10 anni, femore ~30 anni), e dal punto di vista isotopico forniscono informazioni sugli ultimi 10-20 anni di vita (Hedges, 2007). I denti, non andando incontro a processi di rimaneggiamento, sono una rappresentazione del momento in cui avviene la loro mineralizzazione.

Nei mammiferi, uomo compreso, i cosiddetti denti da latte e alcuni denti permanenti (M1) mineralizzano già durante la fase gestazionale e registrano così informazioni legate alla madre o al massimo ai primi anni di vita. Il secondo (M2) e il terzo molare (M3) sono invece indicatori del tipo di nutrizione delle fasi adolescenziali-giovanili dell'individuo.

Basandosi su queste peculiarità di ossa e denti, un confronto tra i loro valori isotopici permette di mettere in evidenza possibili fenomeni di migrazione o spostamenti dell'individuo avvenuti tra i primi anni di vita e gli ultimi anni prima della morte.

3.4 Fenomeni diagenetici a carico dei reperti osteologici

Poiché le analisi svolte in questo lavoro non riguardano reperti scheletrici attuali ma antichi, è importante ricordare che inevitabilmente sono soggetti a qualche processo di alterazione. Per consentire l'utilizzo di isotopi stabili come traccianti nelle ossa e nei denti fossili e sub-fossili è necessario il mantenimento dei valori originari delle abbondanze isotopiche anche nel periodo post-mortem e durante il seppellimento.

I fenomeni diagenetici più frequenti sono legati al pH del suolo, alla percentuale di Ca^{2+} e PO_4^{3-} nell'acqua di falda, alla mobilità delle acque e all'attacco di microorganismi che

influenzano la struttura delle ossa e del dente, anche se in misura minore dato che sono altamente mineralizzati e non porosi, determinandone alterazione e riduzione del collagene, alterazioni della matrice minerale, assorbimento di sostanze dall'ambiente ed altri processi a carico della loro struttura (Hedges, 2002).

Il processo di diagenesi nell'osso, nella dentina e nello smalto dei denti, nelle componenti organiche e inorganiche di questi tessuti differisce marcatamente a causa delle loro differenze chimiche e strutturali, mentre le principali influenze esterne sono le stesse e sono rappresentate da pH, umidità, attacco microbico, temperatura e tempo di seppellimento (Hare, 1980; Collins et al., 2002; Hedges, 2002; Lee-Thorp, 2002; Berna et al., 2004).

Bisogna inoltre ricordare che i reperti scheletrici (animali) rinvenuti in un sito archeologico possono aver subito, prima del seppellimento, diversi processi come macellazione, cottura, digestione da parte di altri animali. Questi, se avvenuti subito dopo la morte, possono influenzare lo stato di conservazione: l'asportazione dei tessuti molli per scopi alimentari o rituali può favorire la conservazione, al contrario la cottura ad alte temperature (temperature elevate da 380°- 840°) ha effetti negativi sia sulle ossa che sui denti (Hillson, 1986).

3.4.1 Collagene

Su una scala di tempo geologica il collagene ha una breve sopravvivenza rispetto all'idrossiapatite ma è comunque una molecola resistente ed è stato ripetutamente dimostrato che una dose misurabile di collagene può sopravvivere in condizioni ottimali per più di 100.000 anni (Jones et al., 2001). Il collagene denatura quando si rompono i legami a idrogeno e, come conseguenza, le fibrille si disgregano abbastanza rapidamente spiegando così la sensibilità del collagene all'umidità, alla temperatura e al pH. La sua degradazione è accelerata da: elevate temperature, valori estremi di pH, acidi organici e danni strutturali sul collagene (Miles et al., 2000).

In condizioni di pH basico le reazioni di idrolisi portano alla depolimerizzazione delle fibre di collagene, invece, in suoli a pH neutro di solito il tasso di dissoluzione è molto più lento. In caso di riduzione di pH o di deposizione in terreni ben drenati (sabbie e ghiaie) si verifica una maggiore dissoluzione: infatti le ossa provenienti da depositi sabbiosi o da pianure alluvionali sono generalmente molto più porose e friabili (Hedges e Millard 1995). Nella maggior parte dei casi alla dissoluzione della componente minerale segue un attacco microbico (biodegradazione).

3.4.2 Idrossiapatite

Nonostante ossa e smalto dei denti siano costituiti entrambi da idrossiapatite, essi differiscono principalmente per il grado di cristallinità che riflette la loro funzione e influenza profondamente i processi diagenetici. L'idrossiapatite dello smalto subisce meno sostituzioni, ha un maggior grado di cristallinità e densità (LeGeros, 1991) ed un maggior numero di strutture prismatiche.

L'evoluzione dell'idrossiapatite, nei processi post-mortem, è rivolta verso un grado maggiore di stabilità come diretta conseguenza della ricristallizzazione (che può introdurre ioni esterni all'interno delle strutture cristalline ma non altera inevitabilmente la composizione isotopica iniziale) e della crescita cristallina. Nell'osso, la cristallinità aumenta rapidamente dopo la morte (Trueman et al., 2004) mentre le modificazioni nello smalto sono minime anche dopo lunghi periodi (Lee.Thorp e Van der Merwe, 1987; Ayliffe et al., 1994).

Nella matrice minerale, inoltre, lo ione fluoruro F^- può sostituirsi allo ione ossidrile, e gli ioni Sr^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} possono sostituirsi allo ione Ca^{2+} . Lo ione fluoruro promuove la crescita dei cristalli e, di conseguenza, aumenta la cristallinità dell'idrossiapatite. La fluorurazione dell'apatite dipende dalla disponibilità di fluoro nelle soluzioni del sedimento di seppellimento e comporta una maggior stabilità dell'apatite e la rende meno solubile rispetto all'idrossiapatite iniziale (Berna et al., 2004).

3.5 Parametri dello stato di conservazione delle ossa

I principali parametri diagenetici che mettono in correlazione i processi di alterazione biogeochimici sono (Hedges e Millard, 1995):

- contenuto di proteine,
- integrità istologica,
- porosità,
- cristallinità.

La misura del contenuto di proteine è basata sulla determinazione della percentuale di azoto presente nell'osso che deve essere maggiore dello 0,4% in peso; dunque, la quantità presente nel campione di collagene deve essere maggiore del 10% (Nielsen-Marsh e Hedges, 2000) e il carbonio circa al 40% (Bocherens et al, 1995). Inoltre il loro rapporto C/N (in atomi) dev'essere compreso tra 2,6 e 3,9 (De Niro e Epstein, 1981). Nel caso delle ossa antiche è utile verificare il rendimento del collagene, cioè il rapporto tra mg di collagene estratto

rispetto alla quantità in g dell'osso sottoposto al processo di estrazione. In un osso attuale questo rapporto è di circa 250 mg/g mentre per le ossa antiche è estremamente variabile.

L'Indice istologico (HI) determina l'integrità istologica dell'osso ed è strettamente connessa, insieme al contenuto di collagene, ai processi diagenetici.

La porosità rappresenta la capacità di un materiale di assorbire l'acqua; i cambiamenti della porosità sono connessi con le modificazioni della struttura dell'osso: un aumento della porosità è indicativo di una perdita della matrice minerale con conseguente facilitazione dell'attacco batterico a carico del collagene (Collins et al., 2002)

L'indice di cristallinità (CI) è una proprietà che indica il grado di ordine in un reticolo cristallino e permette, applicandolo al campione osteologico in esame, di valutare il grado di diagenesi della frazione minerale. I processi di fossilizzazione e diagenesi spesso determinano, come esposto in precedenza per l'entrata dello ione F^- , l'aumento di cristallinità.

Maggiori informazioni sull'indice di cristallinità sono fornite dall'InfraRed Splitting Factor (IRSF) in cui viene utilizzata la polvere dell'osso: nello spettro ottenuto si osservano i picchi di assorbimento del gruppo fosfato $(PO_4)^{3-}$ a 565 e 605 cm^{-1} e una valle a 595 cm^{-1} ; dividendo la somma dei due picchi per il valore della valle si ottiene il CI. (Weiner e Bar-Josef, 1990).

L'indice di cristallinità delle ossa antiche ha un valore compreso tra 2,6 e 3,0.

Tuttavia Nielsen-Marsh e Hedges (1997) hanno dimostrato come diversi parametri possano essere introdotti a seconda del contesto e delle condizioni d'interramento. I valori dei parametri aumentano in modo proporzionale: un incremento è indicativo di un grado maggiore di diagenesi (Hedges, 2002).

3.6 I gruppi trofici

Dato che questo lavoro è basato sullo studio di tessuti scheletrici di diverse specie animali è utile procedere ad una classificazione di tutte le specie analizzate: ognuna di esse presenterà determinate caratteristiche biologiche, fisiologiche e comportamentali che influenzano in maniera diretta o indiretta il segnale isotopico registrato.

Gli animali analizzati sono tutti appartenenti alla classe dei mammiferi, vertebrati dotati di ghiandole per il latte e di peli. Sono organismi omeotermi in grado di colonizzare qualsiasi ambiente.

Per semplicità è utile suddividere gli animali analizzati in base alle loro abitudini alimentari: erbivori, onnivori.

3.6.1 Erbivori

Gli erbivori sono animali che si nutrono esclusivamente di vegetali (frutta, verdura, foglie, radici, semi etc.). All'interno di questo gruppo possono essere fatte rientrare specie differenti che vivono in ecosistemi diversi e si adattano all'ambiente in cui si trovano e alle risorse che esso mette a disposizione.

3.6.2 Onnivori

In biologia per onnivoro si intende un organismo che si nutre di un'ampia varietà di alimenti, siano essi vegetali o animali. L'apparato digerente degli onnivori è in grado di elaborare i diversi componenti della dieta e questo permette una maggiore possibilità di assimilazione di nutrienti e una maggiore scelta nella ricerca del cibo rispetto agli erbivori. La maggiore varietà e qualità della dieta garantiscono all'organismo onnivoro una maggiore probabilità di sopravvivenza.

Gli animali erbivori si possono suddividere in due grandi tipologie; ruminanti e non ruminanti.

Tra i ruminanti sono stati analizzati campioni di buoi (*Bos taurus* L. 1758 N=51, *Bos primigenius* Bojanus 1827 N=8), capre (*Capra hircus* L. 1758 N=41 e *Capra aegagrus* Erxleben 1777 N=4), pecore (*Ovis aries* L. 1758 N= 51 e *Ovis orientalis* Gmelin 1774 N=7) (queste due specie sono spesso trattate a livello di sottofamiglia come caprini (Caprinae = Ovis/Capra) a causa delle difficoltà incontrate nella distinzione osteomorfologica N=41), cervi (*Cervus elaphus* L. 1758 N=25) e un daino (*Dama dama* L. 1758 N=1), mentre tra i non ruminanti

sono stati analizzati campioni di cavalli (*equus* sp. N=5), lepri (*Lepus capensis* L. 1758 N=33), caprioli (*Capreolus capreolus* L. 1758 N=2) e un castoro (*Castor fiber* L. 1758).

I reperti di animali appartenenti alla categoria degli onnivori analizzati comprendono: cani (*Canis lupus familiaris* L. 1758 N=25), maiali e cinghiali (rispettivamente *Sus scrofa domesticus* L. 1758 N=37 e *Sus scrofa ferus* L. 1758 N=16), orsi (*Ursus arctos* L. 1758 N=8), volpi (*Vulpes vulpes* L. 1758 N=3) e umani (*Homo sapiens* L. 1758 N=146).

Oltre a questi mammiferi sono stati analizzati due pesci appartenenti al genere *Esox* (probabilmente *Esox lucius* L. 1758), pesci carnivori di acqua dolce molto probabilmente provenienti dal fiume Eufrate.

In tabella 2 vengono sintetizzate le caratteristiche di ciascuna specie studiata; alimentazione e habitat.

NOME COMUNE	SPECIE	DIETA	CIBI	HABITAT/CARATTERISTICHE	NOTE
Bue	<i>Bos taurus</i>	erbivoro	erba (secca-fresca)	Prati, stalle, recinti	usato per il lavoro
Uro	<i>Bos primigenius</i>	erbivoro	erba, ghiande foglie	Boschi aperti, foreste a galleria	progenitore del bue domestico
Capra domestica	<i>Capra hircus</i>	erbivoro	erba, ramoscelli, bacche, corteccia, foglie, vegetali coriacei	Zone collinari, prati	progenitore della capra domestica
Egagro	<i>Capra aegagrus</i>	erbivoro	erba, erbe, funghi	Frequenta quote elevate, suoli ripidi	
Lepre	<i>Lepus capensis</i>	erbivoro	corteccia, boccioni, frutti di bosco, escrementi	Principalmente solitario; notturna / crepuscolare, preferisce zone aperte, ambienti secchi sedentario;	
Pecora	<i>Ovis aries</i>	erbivoro	erba, erbe	Obiquitarie, da habitat montani a desertici, zone montane	
Mufone	<i>Ovis orientalis</i>	erbivoro	erba, erbe	meno ripida e a altitudini minori rispetto alla capra	progenitore della pecora domestica
Cervo rosso	<i>Cervus elaphus</i>	erbivoro	piante, corteccia	Migrazioni stagionali, crepuscolare, foresta	
Cavallo	<i>equus sp.</i>	erbivoro	piante erbacee e graminacee	Prati, recinti	utilizzato nel lavoro
Capriolo	<i>Capreolus capreolus</i>	erbivoro	foglie, germogli arbusti	Foresta	
Daino	<i>Dama dama</i>	erbivoro	erba, foglie, frutta germogli, funghi	Foresta	
Orso	<i>Ursus arctos</i>	onnivoro	vegetali, insetti carcase	Zone aperte, aree montuose	
Uomo	<i>Homo sapiens</i>	onnivoro	generalista	Obiquitario	
Maiale	<i>Sus scrofa domesticus</i>	onnivoro	insetti, carogne, topi, radici ,bulbi, frutta, scarti di cucina	Foresta	
Cinghiale	<i>Sus scrofa ferus</i>	onnivoro	rifiuti, uccelli, carogne, piccoli mammiferi, frutti di bosco	Notturmo, crepuscolare, bosco, zone abitate	
Volpe rossa	<i>Vulpes vulpes</i>	onnivoro	carne, scarti di cucina, vegetali		
Cane	<i>Canis lupus familiaris</i>	onnivoro		Obiquitario	

Tabella 2: Dieta, habitat, caratteristiche delle specie analizzate in questo studio.
(Modificata da Losch et al., 2006)

3.7 Studi archeozoologici a Arslantepe

Lo studio delle ossa animali rinvenute nello scavo di Arslantepe è stato avviato da Sándor Bökönyi, dell'Accademia delle Scienze ungherese, il quale ha lavorato regolarmente presso lo scavo dal 1979. L'analisi è stata portata avanti, dal 1996, da László Bartosiewicz, della Università Loránd Eötvös di Budapest e da Giovanni Siracusano.

La fauna identificata è piuttosto ricca in specie diverse. Sulla base delle identificazioni morfologiche, le fasi preistoriche più antiche erano caratterizzate dallo sfruttamento di una grande varietà di animali, tra cui selvaggina. Gli animali domestici costituiscono, però, la maggioranza degli animali presenti.

Tra questi i più abbondanti sono buoi, capre, pecore, seguiti dai maiali (questi ultimi sono meno del 20% della totalità degli animali domestici). Tra gli animali selvatici sono stati identificati, in ordine di presenza: uro, pecora selvatica, capra selvatica, gazzella, cervo, cinghiale, onagro, orso bruno, volpe, lupo, lepre, uccelli, tartaruga e pesci.

Bisogna ricordare che in questo lavoro sono stati studiati sia animali domestici che selvatici in una proporzione confrontabile: infatti si è cercato di analizzare, in ogni livello, cinque esemplari per ogni specie presente.

Data la sproporzione rinvenuta nel sito archeologico tra animali domestici e selvatici è utile illustrare brevemente le caratteristiche (in numero di esemplari e età alla morte) degli animali domestici rinvenuti (Siracusano e Bartosiewicz, 2012; Fig. 17) e di quelli selvatici (Bartosiewicz, 2004; 2010).

Osservando il numero di esemplari ritrovati in tutto il record archeologico si intuisce subito che i caprini hanno avuto un ruolo chiave nella storia del sito; essi sicuramente fornivano in quantità diverse in ogni periodo carne ma anche latte e lana (Sherratt, 1983).

Nei livelli più antichi (Tardo Calcolitico VIII-VII) si può osservare, sulla base della quantità di resti rinvenuti, l'importanza del manzo e del maiale, soprattutto nelle zone cosiddette di élite, anche se il ruolo dominante è occupato dai caprini. Nel livello VIII in particolare domina leggermente la pecora con un tasso di macellazione costante intorno ai 3-4 anni di età; lo sfruttamento per latte e lana non possono essere esclusi ma sicuramente non è predominante. Nel livello VII (Tardo Calcolitico 3-4, 5800-5350 cal. BP) gli individui giovani sono dominanti e la macellazione avviene ai 6-12 mesi: questo viene interpretato secondo i modelli di sfruttamento di Payne (1973) come una riflessione indiretta della presenza di una "industria" lattiero-casearia. Nel livello VIA (Tardo Calcolitico 5, 5350-5000cal. BP), in cui

l'economia è fortemente centralizzata i caprini aumentano moltissimo, i resti di pecora (NISP=754) dominano su quelli delle capre (NISP=242). L'età alla macellazione, con i dati di riferimento di Payne (1973), suggerisce che questi animali venivano macellati per il consumo di carne, anche se non si possono escludere forme di sfruttamento secondario. I maiali diventano esigui. Durante la prima età del bronzo I (VIB1) si registra un calo dei consumi di carne bovina, indicato dal ritrovamento sempre più esiguo di reperti (meno del 10%) e le ossa di maiale dal record risultano quasi scomparse (meno dell'1%). Questa tendenza è riconducibile ad un passaggio da una forma stanziale ad una qualche forma di pastorizia mobile. Nel livello VIB2 si assiste ad un nuovo sistema politico che però non ha portato un cambiamento radicale nella vita di ogni giorno come risulta dai resti del consumo di carne.

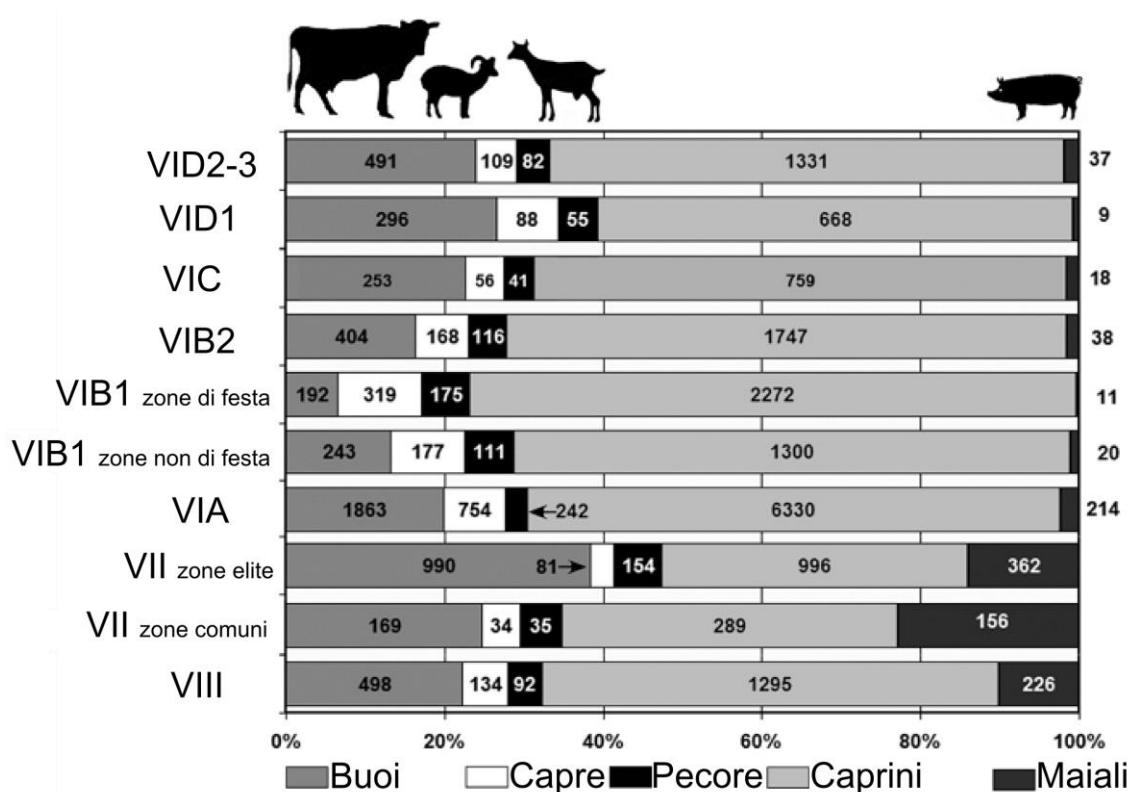


Figura 17: Proporzione tra gli animali domestici durante il periodo Calcolitico e il Bronzo Antico ad Arslantepe. (Ridisegnata da Siracusano e Bartosiewicz, 2012)

La proporzione tra il numero di ovini e caprini è stabile per tutto il resto dell'Età del Bronzo e l'età alla macellazione è fino ai 4 anni di età. L'assenza di individui vecchi è evidente.

La rioccupazione di Arslantepe da parte di un altro gruppo sembra aver avuto luogo intorno a 4750-4500 BP, durante il Bronzo Antico II (VIC). I dati suggeriscono che in questa fase diminuisce il consumo di agnelli e capretti molto giovani e una considerevole quota di caprini viene macellata in età più avanzata, fino a 6-8 anni di età. Questo aumento della longevità è ancora lontano da quello che ci si aspetterebbe da popolazioni stabili produttrici di lana.

Questa differenza dell'età alla macellazione, rispetto ai livelli precedenti, è ragionevolmente riconducibile al fatto che popoli culturalmente diversi hanno pratiche differenti.

Durante l'Età del Bronzo Antico III (VID) il sito è caratterizzato da una costante aumento della popolazione senza particolari segni di accentramento e dalla presenza di mura che danno al sito l'aspetto di una vera e propria città. A differenza dei livelli precedenti il consumo di manzo sembra aumentare leggermente così come i suini e i caprini rinvenuti sono giovani, indice che sono "carne da sfruttamento".

I resti degli animali selvatici ritrovati ad Arslantepe costituiscono meno del 10% del totale dei resti faunistici; gli animali più rappresentati sono gli ungulati tra cui il cervo rosso, utilizzato anche per fabbricare piccoli oggetti.

Nei Livelli più antichi è presente l'uro (*Bos taurus primigenius*), animale che diminuisce significativamente, mentre le varietà selvatiche di capra, pecora e maiale rimangono stabili. Questi sono animali che preferiscono un habitat collinare e boscoso. Gazzelle e asini selvatici, animali selvatici che prediligono ambienti ricchi di prati, sono di scarsa entità nei periodi con il maggior sviluppo dell'urbanizzazione.

L'intenso sfruttamento agricolo dovuto all'urbanizzazione ha determinato la deforestazione: di conseguenza l'orso bruno scompare gradualmente, mentre la lepre, animale dei pascoli che si adatta bene ai terreni coltivati, diventa molto diffusa nel Bronzo Tardo.

Sono presenti anche attività di caccia "particolari", testimoniate da rari resti di leone (Tardo Calcolitico 4), leopardo e elefante (di datazione incerta). L'elefante probabilmente è stato introdotto artificialmente nell'area.

La selvaggina diminuisce notevolmente dal livello VII al VIA; va tuttavia sottolineato che la caccia ha avuto un ruolo marginale e nessun significato pratico nell'approvvigionamento della carne nel Tardo Calcolitico.

La caccia doveva essere dunque una forma di auto-rappresentazione, legata a modelli arcaici, utilizzata per rafforzare il prestigio dell'élite (Bartosiewicz, 2004; 2010).

4- METODI

4.1 Geochimica isotopica

Tra la fine degli anni '40 e l'inizio degli anni '50 si è sviluppata, raggiungendo in poco tempo un ottimo livello qualitativo, una branca della geochimica isotopica interamente dedicata alla determinazione quantitativa dei rapporti di abbondanza dei diversi isotopi di un elemento all'interno di un composto e allo studio di ciò che avviene isotopicamente durante la maggior parte dei fenomeni fisici e chimico-fisici.

Questi studi si sono rivelati di estrema importanza nel campo delle Scienze della Terra, in particolare in campo paleoclimatico e stratigrafico: studi geochimico isotopici sui foraminiferi nei sedimenti oceanici hanno fornito le curve paleoclimatiche di riferimento. Anche lo studio delle carote di ghiaccio, perforate nelle calotte polari in Groenlandia e in Antartide, ha permesso la misurazione di parametri direttamente legati alle condizioni atmosferiche nel passato. Oltre alle Scienze della terra anche molti altri campi di ricerca, grazie all'elevata versatilità delle tecniche, hanno raggiunto risultati importanti. Tra queste la Medicina, le Scienze Ambientali, la Scienza dell'Alimentazione e l'Archeologia.

4.1.1 Isotopi

Atomi caratterizzati dal medesimo numero atomico **Z** (cioè appartenenti allo stesso elemento), ma diverso numero di massa (**A**) prendono il nome di isotopi. Il termine "isotopo" deriva dal greco e significa "stesso posto" (*ἴσος*= *isos* τόπος=*topos*) dato che hanno la medesima collocazione nella tavola periodica.

Essi hanno lo stesso numero atomico quindi lo stesso numero di elettroni e protoni, cambia solamente il numero dei neutroni, che possono essere in eccesso o difetto. I diversi isotopi di uno stesso elemento hanno uguali proprietà chimiche ma, a causa della differenza di peso, differenti proprietà fisiche.

Gli isotopi si dividono in due tipologie: gli isotopi stabili (circa 260) che subiscono frazionamento isotopico, dovuto a processi chimico-fisico-biologici ma non decadono nemmeno sul lungo periodo; e gli isotopi radioattivi o instabili, utilizzati per le datazioni, che si trasformano nel tempo fino a formare ulteriori isotopi che possono essere a loro volta stabili o instabili.

L'analisi isotopica consiste nella determinazione dell'abbondanza degli isotopi di un elemento in un campione che per motivi bio-geo-chimici ha subito una deviazione dai valori

medi in natura poiché ogni elemento ha una abbondanza naturale media (Tabella 3). Questa deviazione è fondamentale per capire il tipo di processo a cui è stato sottoposto il campione.

	Isotopi	Abbondanza naturale media%
Idrogeno	^1H	99.985
	^2H	0.015
Carbonio	^{12}C	98.892
	^{13}C	1.108
Azoto	^{14}N	99.6337
	^{15}N	0.3663
Ossigeno	^{16}O	99.7587
	^{18}O	0.2039

Tabella 3: Distribuzioni medie degli isotopi considerati sulla Terra

Per poter procedere all'analisi isotopica è necessario separare i diversi isotopi in un campione precedentemente trattato (spiegazione dettagliata delle procedure chimiche in Appendice 1) e trasformato in un gas, utilizzando uno spettrometro di massa (spiegazione dettagliata dello strumento in Appendice 2).

4.1.2 Frazionamento isotopico

Ogni atomo ha una precisa energia di legame direttamente proporzionale alla massa: più l'isotopo è pesante (con un numero di massa maggiore) più l'energia di legame sarà alta, quindi, il risultato sarà una concentrazione non proporzionata di una forma isotopica nel prodotto della reazione rispetto al reagente.

Si possono distinguere due diversi tipi di frazionamento isotopico:

- frazionamento all'equilibrio, dipende dalle differenti proprietà termodinamiche delle molecole costituite da isotopi diversi;
- frazionamento cinetico, dipende dalle diverse velocità degli isotopi con una massa più piccola rispetto a quelli con una massa maggiore.

Le abbondanze relative degli isotopi di un elemento variano nei differenti composti e dipendono dal processo subito.

Il rapporto di abbondanza tra gli isotopi in un certo elemento in un composto si indica con **R**; esso presenta al numeratore l'isotopo più pesante e al denominatore quello più leggero che solitamente in natura è il più abbondante, almeno nel caso degli elementi leggeri. Ad esempio, il rapporto isotopico dell'ossigeno sarà: $R = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$

Il *fattore di frazionamento isotopico* **α** (o fattore di separazione) è il rapporto fra i rapporti isotopici R di due composti chimici o di due diverse fasi di un composto chimico che partecipano ad uno processo: **$\alpha = R_1/R_2$** . Solitamente si mette al numeratore il composto con un più alto valore di R in modo da avere sempre **$\alpha > 1$** . Dato che i valori di α nei processi naturali sono sempre prossimi a 1 è utile utilizzare il *fattore di arricchimento*, indicato con la lettera **ϵ** e definito come: **$\epsilon\text{‰} = (\alpha - 1) \cdot 1000$** .

Per semplificare: Il frazionamento isotopico (**α**) è il risultato di un processo naturale (fisico, chimico o biologico) a carico dei diversi isotopi che, presentando una diversa massa atomica, avranno una differente concentrazione relativa.

Dato che lo spettrometro di massa non consente di determinare con estrema precisione le abbondanze isotopiche assolute ma solo quelle relative, che rappresentano la differenza tra il rapporto isotopico R del campione in esame e lo stesso rapporto in una sostanza presa come riferimento a livello internazionale (spiegazione dettagliata degli standards in Appendice 3), viene introdotto un parametro che si indica con la lettera **δ** , definito come (IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry):

$$\delta = \frac{R}{R_{ST}} - 1$$

R= rapporto isotopico, in numero di atomi, per il campione, R_{ST} = rapporto isotopico, in numero di atomi, per lo standard internazionale.

Dato che le variazioni di composizione isotopiche sono molto piccole e che δ in genere assume un valore molto minore di 1, spesso si utilizza **$\delta \cdot 10^3$** ; moltiplichiamo e dividiamo $[(R/R_{ST}) - 1]$ per 10^3

$$\delta = \left[\left(\frac{R}{R_{ST}} - 1 \right) \cdot 10^3 \right] 10^{-3} \equiv \left[\left(\frac{R}{R_{ST}} - 1 \right) \cdot 10^3 \right] \text{‰}$$

dove ‰ indica che il valore numerico tra parentesi quadra deve essere diviso per 10^3 al fine di ottenere il valore di **$\delta = \frac{R}{R_{ST}} - 1$** .

Questa notazione è estremamente utile perché evidenzia con facilità quanto il campione in esame è arricchito o impoverito in isotopi pesanti rispetto allo standard di riferimento.

4.2 Analisi isotopica di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$: la ricostruzione della dieta e dell'ambiente

Per la ricostruzione della dieta delle popolazioni antiche si utilizzano soprattutto due elementi: il carbonio, presente sia nella fase organica sia in quella inorganica dell'osso, e l'azoto, presente solo nella componente organica. Le informazioni ottenute dalla dieta, opportunamente interpretate, consentono di ricostruire alcune caratteristiche dell'habitat come la copertura vegetale in cui l'animale analizzato viveva.

4.2.1 Isotopi del carbonio

Il carbonio possiede due isotopi stabili, 12 e 13. L'abbondanza in natura degli isotopi è: $^{12}\text{C}=98,892\%$ $^{13}\text{C}=1,108\%$.

La riserva più importante di carbonio è l'anidride carbonica atmosferica, la quale viene utilizzata dai vegetali per la fotosintesi. Attualmente il valore isotopico della CO_2 atmosferica si aggira attorno a -8% e si ritiene si sia positivizzato a causa della rivoluzione industriale: deve essere applicata una correzione dell' $-1,5\%$ se consideriamo periodi antecedenti il XIX secolo (Friedli et al., 1986).

Dato che il valore $\delta^{13}\text{C}$ è strettamente legato alla componente vegetale assunta e che la base della catena trofica è sempre rappresentata da vegetali, i quali sintetizzano C partendo da quello atmosferico, è utile distinguere le varie tipologie di piante che, a seconda del meccanismo della fissazione del carbonio svolto durante la fotosintesi clorofilliana, si suddividono in:

- Piante C_3 (ciclo di Calvin) zuccheri a 3 atomi di carbonio,
- Piante C_4 (ciclo di Hatch-Slack) zuccheri a 4 atomi di carbonio,
- Piante CAM (Metabolismo Acido delle Crassulacee).

La fotosintesi è il meccanismo biochimico mediante il quale le piante, a partire da luce solare, acqua e CO_2 , producono composti organici e liberano ossigeno. Nella prima fase la luce solare viene assorbita dalla clorofilla e convertita in energia chimica (ATP e NADPH), nella seconda fase, chiamata "ciclo di Calvin", a opera di diversi enzimi la CO_2 viene convertita in carboidrati. In relazione alle reazioni che avvengono in questa seconda fase le piante si distinguono in piante C_3 e C_4 , adatte a crescere in ambienti diversi.

La fotosintesi nelle piante verdi avviene nei cloroplasti e avviene per tappe riassumibili in due fasi: la fase luminosa, dipendente dalla luce, e la fase di fissazione del carbonio o fase oscura, indipendente dalla luce. All'interno dei cloroplasti si trova un sistema di membrane

che formano strutture, dette grana, costituite da pile di tilacoidi. All'interno di queste membrane troviamo le molecole di clorofilla ed altri pigmenti ed enzimi. Tra di esse hanno una importanza fondamentale i due centri di assorbimento dell'energia solare chiamati fotosistema I e il fotosistema II. I fotosistemi sono unità strutturali-funzionali, un insieme di molecole di pigmenti che circondano una molecola di clorofilla speciale detta "a trappola". L'energia luminosa è convertita in energia chimica nei due fotosistemi: il fotosistema I genera potenziale di riduzione sotto forma di NADPH, mentre il fotosistema II scinde l'acqua per produrre O_2 e generare un riducente l'ATP. L'ATP e il NADPH sono usati per ridurre la CO_2 a carboidrati con una serie di reazioni chiamate Ciclo di Calvin che avvengono al buio (fase oscura) nello stroma del cloroplasto. Il processo fissa un atomo di carbonio proveniente da una molecola di CO_2 gassosa su una molecola a 5 atomi di carbonio, il ribulosio-1,5-bisfosfato (RuDP), grazie ad un enzima chiamato RuBisCO (ribulosio-1,5-bisfosfato carbossilasi ossigenasi). Ciò porta alla formazione di un composto instabile a 6 atomi di carbonio, che immediatamente si decompone in due molecole a 3 atomi di carbonio, il 3-fosfoglicerato (acido 3-fosfoglicerico). Ogni molecola di acido 3-fosfoglicerico si lega poi ad un gruppo fosfato proveniente dalla scissione dell'ATP (formato durante la fase luminosa) trasformandosi così in 1,3-bisfosfoglicerato. Quest'ultimo, utilizzando l'energia che deriva dall'ossidazione del $NADPH_2$, anch'esso proveniente dalla fase luminosa, e dalla rottura di un legame fosforico, viene infine ridotto a 3-fosfogliceraldeide. Il NADP, ormai ossidato, ritorna quindi nella catena di trasporto degli elettroni della fase luminosa.

4.2.2 Piante C_3 e C_4

A seconda del tipo di reazioni che avvengono nella seconda parte della fotosintesi si distinguono piante C_3 e C_4 . Per le C_3 il primo composto organico della fotosintesi è la gliceraldeide 3-fosfato, mentre per le piante C_4 in cui CO_2 reagisce con il fosfoenolpiruvato (PEP) nelle cellule del mesofillo. Questa reazione è catalizzata dall'enzima PEP carbossilasi e produce ossalacetato a quattro atomi di carbonio e da questo la denominazione C_4 .

Esistono anche delle piante denominate CAM che hanno un processo fotosintetico simile alle C_4 in cui però la fase luminosa e la fase oscura sono separate: durante la notte la pianta apre gli stomi permettendo l'ingresso dell'anidride carbonica che si addiziona al PEP formando degli acidi carbossilici a quattro atomi di carbonio come nel caso delle piante C_4 . Il giorno seguente, a stomi chiusi, quando vi sarà bisogno di produrre anidride carbonica, gli

acidi accumulati nel corso della notte verranno decarbossilati producendo piruvato e anidride carbonica che verrà metabolizzata successivamente nel ciclo di Calvin.

Le piante C_3 rappresentano circa l'80% delle piante esistenti, le specie erbacee di ambienti temperati, i legumi e gli alberi da frutto oltre orzo, avena, segale, riso e le radici e i tuberi coltivati; le C_4 compongono il 15% delle piante esistenti, il gruppo è composto dal miglio, sorgo, mais, canna da zucchero e specie erbacee tropicali. Le CAM sono solo il 5% delle piante esistenti sul pianeta e rientrano in questa categoria le Crassulacee, come l'ananas, e le Cactacee.

Le C_4 si ritrovano generalmente nei climi caldi e resistono anche a periodi di estrema aridità, mentre le C_3 nei climi temperati. Nelle piante di tipo C_4 il tasso di fotosintesi per unità di area fogliare (CO_2 assorbita/peso in mg della clorofilla) raggiunge il suo massimo intorno ai 40°C con elevata intensità luminosa, mentre nelle C_3 tale massimale si aggira attorno ai 20 °C con moderata intensità luminosa (Arms e Camp, 1998).

I campi di valori isotopici per queste tipologie di piante sono perfettamente separati e dunque distinguibili. Le piante C_3 sono più discriminanti verso il ^{13}C rispetto alle C_4 : le prime hanno un valore di $\delta^{13}C$ medio di -26,5‰ mentre la C_4 -12,5‰ (Fig. 18). Le CAM hanno valori intermedi (-30/-10‰) (Smith, 1972).

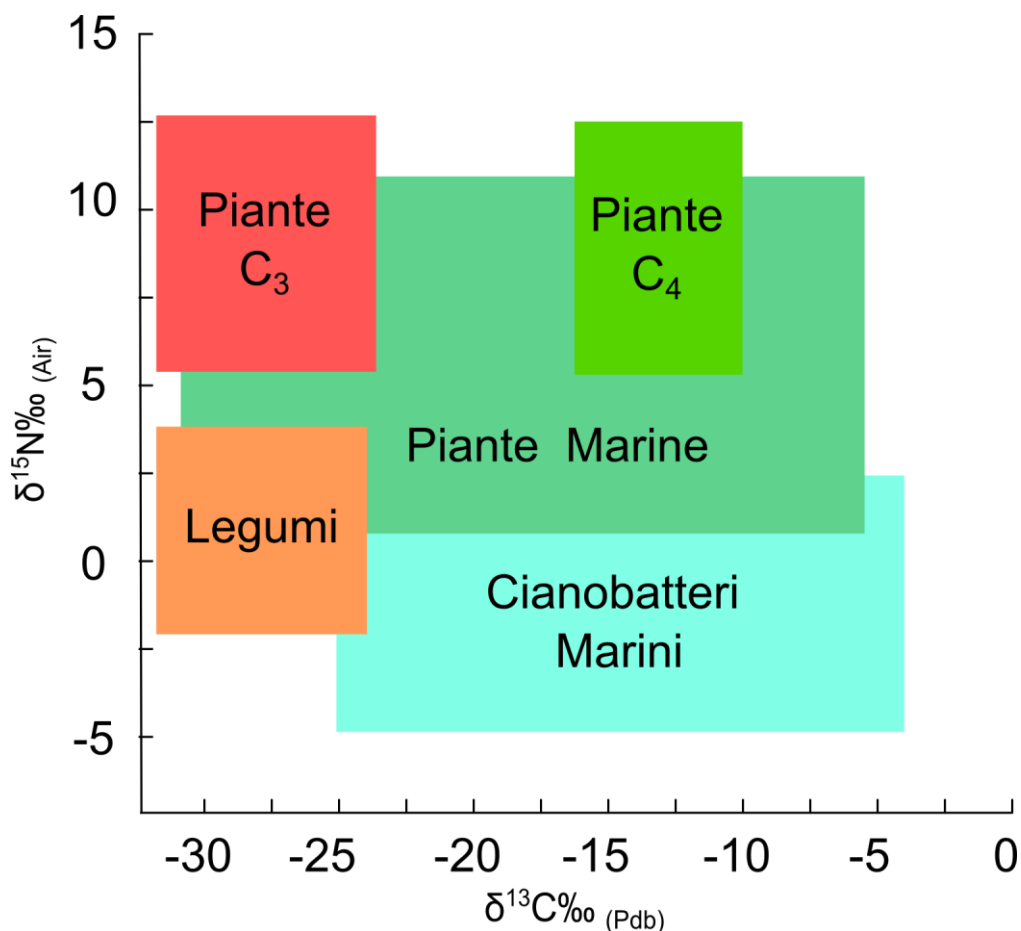


Figura 18: Relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e il $\delta^{13}\text{C}$ delle piante più diffuse. (Ridisegnata da White 2009)

4.2.3 Fattori che influenzano i valori di $\delta^{13}\text{C}$ nelle piante

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per le piante possono però variare, rispetto al valore medio, in risposta al tipo di ambiente, soprattutto per le C_3 .

- Il valore del $\delta^{13}\text{C}$ ha un'oscillazione in ambienti aperti di prateria o steppa,
- tende a negativizzarsi in ambienti chiusi o di foresta per via dell'effetto "copertura", cioè un ambiente in cui non penetra la luce nel sottobosco e c'è poco ricambio di aria con la parte soprastante; il valore di $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 , emessa dalle altre piante nella respirazione, è simile al valore di $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 assorbita per compiere il processo di fotosintesi, per cui il valore si negativizza (Medina e Minchin, 1980).

Altri parametri da tenere in considerazione sono:

- quando vengono a mancare la temperatura, l'irraggiamento e l'apporto nutritivo il valore si negativizza (Farquhar et. al., 1982),
- l'umidità: con il suo aumento il rapporto si negativizza (Stuiver e Brazunias, 1987);
- la salinità: con il suo aumento il rapporto si positivizza,

- la pressione atmosferica dell'anidride carbonica P_{CO_2} (se aumenta la pianta chiude gli stomi e il valore del $\delta^{13}C$ si negativizza, al contrario, se diminuisce il valore di positivizza: questo dipende dalla regolazione interna della pressione della pianta rispetto alla pressione atmosferica di CO_2 : P_i/P_a . Questo rapporto deve mantenersi all'equilibrio (O'Leary, 1981).

4.2.4 Il $\delta^{13}C$ nei tessuti

Lo studio del carbonio permette di confrontare la frazione organica e quella inorganica essendo presente in entrambe. Tra le due abbondanze isotopiche vi è una correlazione. Esiste una positivizzazione del valore del $\delta^{13}C$ del collagene (+7‰ negli erbivori, +4‰ nei carnivori) rispetto al valore dello stesso nel carbonato (Sullivan e Krueger, 1981, 1983); la correlazione dei due valori permette, nel caso in cui il collagene non sia ben preservato, di ricavarlo dai valori del carbonato.

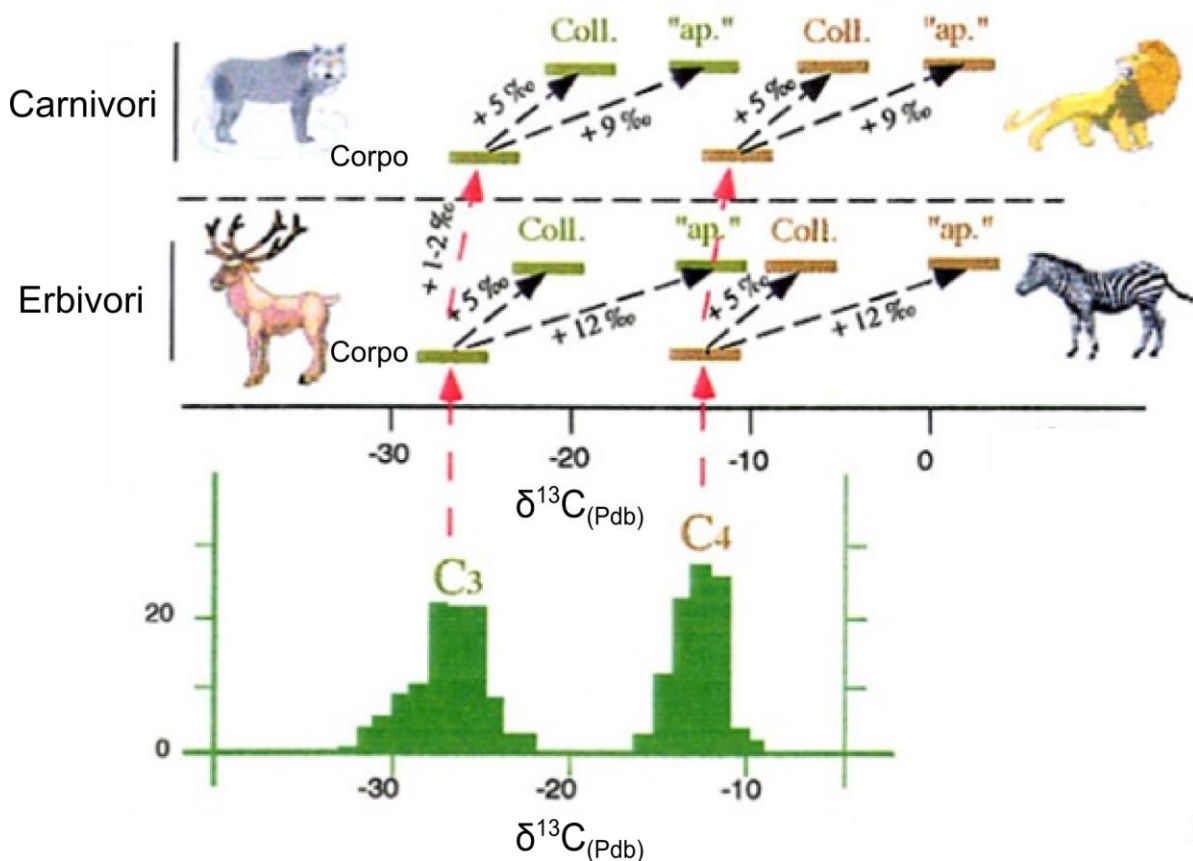


Figura 19: Arricchimento dei valori del $\delta^{13}C$ rispetto alla dieta negli erbivori e nei carnivori. (Ridisegnata da Bocherens, 2001)

Le piante costituiscono l'alimentazione degli erbivori, che utilizzano il carbonio per sintetizzare i loro tessuti. Diversi tessuti hanno differenti frazionamenti (O'Connell et al., 2001; Jim et al., 2004; Passey et al., 2005)

I valori del $\delta^{13}\text{C}$ della componente inorganica danno informazioni su tutti i costituenti della dieta, mentre i valori della parte organica forniscono informazioni solamente sull'apporto proteico.

La differenza tra la composizione isotopica del $\delta^{13}\text{C}$ nel carbonato e nel collagene dipende anche dal livello trofico al quale appartiene l'essere vivente analizzato.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per gli erbivori, essendo in correlazione diretta con i valori relativi alle piante, risulteranno essere simili. I valori nel collagene sono arricchiti del +5‰ rispetto alla dieta, mentre nel carbonato dell'apatite del +12‰ (Fig. 19).

Nel passaggio della catena trofica da erbivoro a carnivoro l'arricchimento nella carne del predatore è pari a +1-2‰ (arricchimento trofico da erbivoro a carnivoro-onnivoro), a cui bisogna aggiungere +5‰ nel caso del collagene, oppure +9‰ nel caso dell'apatite. Questi valori riportati sono una media dei valori ottenuti da molti studi. È necessario considerare anche le taglie dei vari animali: i piccoli mammiferi hanno un arricchimento compreso tra 0,5 e 4,6‰ mentre i grandi tra il 4,7 e 6,6‰. La composizione dei tessuti, infatti, varia in base alla taglia: un tessuto contenente una percentuale maggiore di materia grassa avrà, a causa di un rinnovamento del carbonio maggiore rispetto ad uno che ne è privo, dei valori di $\delta^{13}\text{C}$ inferiori (Tieszen et al., 1983).

Oltre alla taglia bisogna anche considerare la metanogenesi. I ruminanti presentano un arricchimento dei valori dell'apatite di circa 12-14‰ (Ambrose e Kriegbaum, 2003; Passey et al., 2005).

4.2.5 Il $\delta^{13}\text{C}$ dieta

Dai valori di $\delta^{13}\text{C}$ dell'apatite è possibile calcolare i valori della dieta ($\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}$) attraverso l'equazione proposta da Iacumin et al. (2014) che tiene conto di un frazionamento di 9‰-10‰ tra il valore del $\delta^{13}\text{C}$ delle piante ingerite e quello del carbonato dell'osso e dello smalto dei denti (Passey et al., 2005).

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}} = 0,98838 * \delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}} - 11,6.$$

Risalire alla tipologia della dieta può essere molto utile per ricostruire il tipo di copertura vegetale spontanea, presente nell'area del sito archeologico, se l'animale analizzato è selvatico o lasciato libero di pascolare in campi non coltivati mentre se l'animale è allevato è utile per capire il tipo di vegetale che gli veniva somministrato.

È inoltre possibile stimare la percentuale approssimativa di piante C₄ assunte nella dieta attraverso una semplice equazione (Schwarcz et al., 1985): $\%C4 = \left(\frac{\delta_{dieta} - \delta_3}{\delta_4 - \delta_3} \right) * 100$

dove, δ_3 , δ_4 e δ_{dieta} sono rispettivamente i valori isotopici medi del carbonio delle piante C₃ e C₄ della zona e il valore della dieta di ogni singolo individuo.

4.2.6 Il $\delta^{15}\text{N}$ nel collagene

L'azoto costituisce il 78% dell'atmosfera terrestre oltre ad essere il costituente fondamentale delle molecole organiche più importanti dal punto di vista bio-chimico come il DNA, le proteine e alcune vitamine.

In natura è presente sotto forma di due isotopi stabili, 14 e 15. Le abbondanze relative sono: $^{14}\text{N} = 99,6337\%$ $^{15}\text{N} = 0,3663\%$.

I valori di azoto, ricavati dalla frazione organica del reperto osteologico, sono strettamente legati alla dieta ma si possono ricavare informazioni anche sull'ambiente.

Le proteine sono l'unica fonte di azoto: dunque, il suo rapporto isotopico darà informazioni sul livello trofico che è pari a $\sim +3/+5\%$ (Bocherens e Drucker, 2003) per ogni passaggio di livello della catena alimentare. Nell'ambiente terrestre i passaggi della catena trofica di solito sono limitati a 2 o 3, diversamente da quanto accade nell'ambiente marino in cui si possono avere catene trofiche anche a 7 passaggi dove possono esserci carnivori che predano altri carnivori e questo comporta un notevole arricchimento in isotopi pesanti (Fig. 20).

Nell'uomo la dieta del tutto o in parte marina determina valori elevati sia per $\delta^{13}\text{C}$ (-10/-15‰) che per $\delta^{15}\text{N}$ (>25‰), mentre una dieta con una componente di pesci d'acqua dolce registrerà valori meno elevati in azoto ma più negativi in carbonio.

Nelle piante i valori del $\delta^{15}\text{N}$ sono molto variabili, compresi fra -7 e +18‰, con un'unica eccezione rappresentata dalle leguminose, che sono vegetali azoto-fissatori di N₂ atmosferico, ed hanno un valore attorno allo 0‰ (Mariotti et al., 1980; Fig. 18).

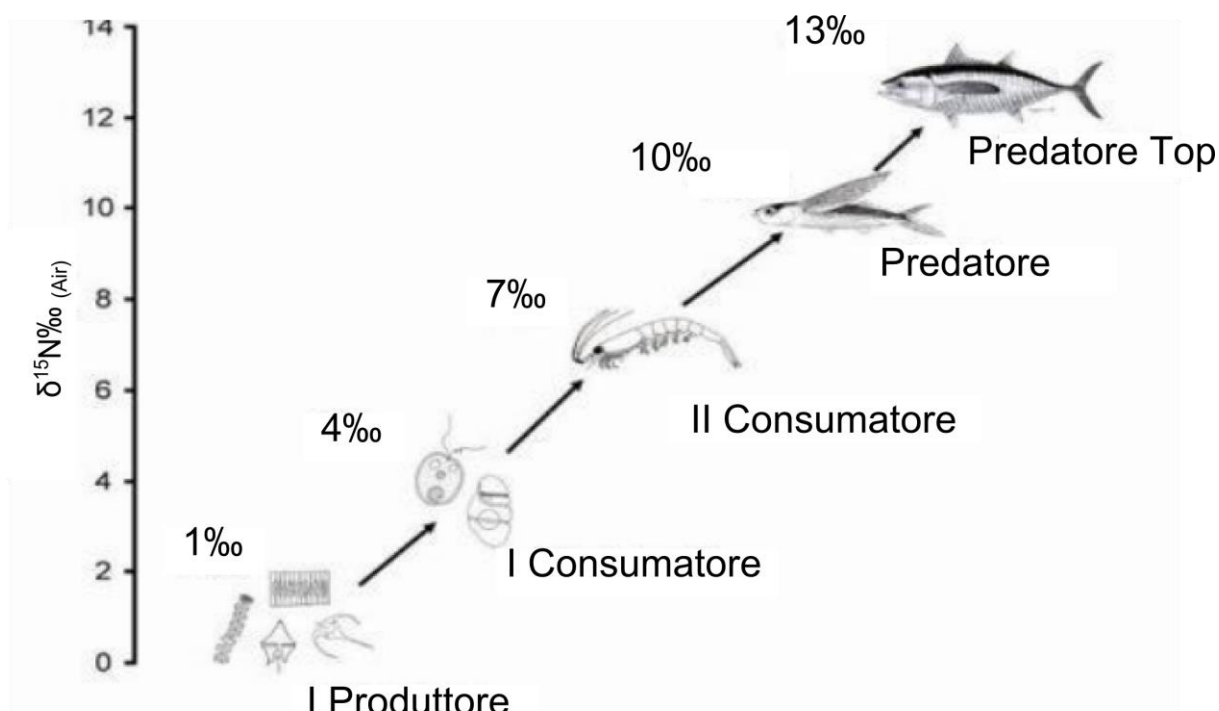


Figura 20: Rappresentazione dell'arricchimento del $\delta^{15}\text{N}$ in ambiente marino. (Ridisegnata da O'Connel et al., 2012)

Il valore del $\delta^{15}\text{N}$ nelle piante può essere influenzato da una serie di parametri ambientali come la temperatura, la disponibilità di acqua e di composti azotati e l'eventuale presenza di simbiosi.

Dove la quantità di composti azotati è elevata, ad esempio in ambienti tropicali, il valore di $\delta^{15}\text{N}$ sarà inferiore rispetto ai suoli temperati con una bassa disponibilità di azoto; questo va ricordato anche per l'uso dei fertilizzanti che a seconda che siano naturali o di sintesi influenzeranno i valori in maniera diversa.

Anche la quantità di precipitazioni influisce sul valore così come la temperatura; per terreni umidi e freddi, tipici delle foreste, si osservano valori di più negativi rispetto ai terreni assolati equatoriali (Amundson et al., 2003).

Per quanto riguarda le simbiosi, dato che questo studio è basato principalmente sull'analisi di animali e alcuni di essi come i cinghiali, i maiali e in condizioni particolari anche i cervi si nutrono di radici, non vanno trascurate le micorrize cioè quel particolare tipo di associazione simbiotica tra un fungo ed una pianta superiore, localizzata sull'apparato radicale del simbionte vegetale: esse influiscono sul valore di $\delta^{15}\text{N}$ della pianta (Högberg, 1990).

Anche nei tessuti corporei il valore di $\delta^{15}\text{N}$ può essere influenzato dalle condizioni atmosferiche: ad esempio in caso di stress idrico un organismo trattiene l'acqua e attraverso

l'urina viene espulsa una maggior quantità di urea (isotopicamente impoverita) che comporterà l'arricchimento dei tessuti in $\delta^{15}\text{N}$ (es. Ambrose, 1986).

Non solo le condizioni atmosferiche influenzano il valore di $\delta^{15}\text{N}$ nei tessuti corporei, anche l'allattamento comporta una positivizzazione del valore; negli umani il neonato allattato si colloca ad un livello trofico superiore rispetto all'adulto (Bumsted, 1985) mentre negli erbivori, come ad esempio nei vitelli, i cuccioli prima dello svezzamento presentano valori assimilabili ai carnivori (Balasse, 1999).

4.3 La ricostruzione del paleoclima: $\delta^{18}\text{O}$ nel fosfato e nel carbonato dell'apatite

L'ossigeno si trova in natura sotto forma di tre isotopi stabili: 16, 17, 18 e dieci isotopi radioattivi.

In natura le abbondanze relative sono: $^{16}\text{O}= 99,763\%$, $^{17}\text{O}= 0,0375\%$ e $^{18}\text{O}= 0,1195\%$ (Morse e Mackenzie, 1990).

L'ossigeno può essere analizzato a partire dall'anidride carbonica (masse 44 e 46) oppure dal monossido di carbonio (masse 28 e 30).

Il gruppo fosfato dell'apatite trae l'ossigeno costituente dall'acqua introdotta nel corpo (bevuta e contenuta nel cibo), dalle molecole organiche degli alimenti e dall'aria respirata (Luz et al., 1984).

L'ossigeno proveniente dall'aria ha un rapporto fisso (+23‰), mentre quello metabolizzato, sotto forma di acqua introdotta nel corpo, è il più abbondante e costituisce la variabile principale e dipende principalmente dalla temperatura di condensazione delle precipitazioni atmosferiche e dalle condizioni ambientali.

La formazione della parte minerale dello scheletro e dei denti avviene in equilibrio con l'acqua corporea a una temperatura pressoché costante (36°C per l'uomo), l'acqua corporea deriva da quella ingerita quindi da quella ambientale; è stato dimostrato che il $\delta^{18}\text{O}$, nel fosfato e nel carbonato, delle ossa, è strettamente legato al valore del $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua meteorica locale (Luz et al., 1984) legata a sua volta da una relazione positiva e lineare con la temperatura annua al suolo (Dansgaard, 1964).

Non tutto l'ossigeno assunto, però, viene assimilato perché una parte è espulsa in forma liquida (sudore e urine) o come scarto della respirazione (CO_2); la composizione isotopica dell'acqua corporea è il risultato di una media tra l'acqua ingerita e quella espulsa.

L'espulsione dell'ossigeno comporta un frazionamento isotopico e si è osservato che il frazionamento metabolico è specifico di ogni specie di mammifero (Longinelli e Deganello, 1999). È stata costruita una scala isotopica del $\delta^{18}\text{O}$ del gruppo fosfato, in relazione all'acqua meteorica locale, per diverse specie di mammiferi tra cui l'uomo (Fig. 21).

La correlazione, tra il valore $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua ingerita e quello dell'acqua corporea, è stata dimostrata attraverso esperimenti condotti sui ratti a cui sono state somministrate acque con rapporto isotopico crescente ed è stata osservata una positivizzazione dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ nel sangue (Longinelli e Peretti Paladino, 1980).

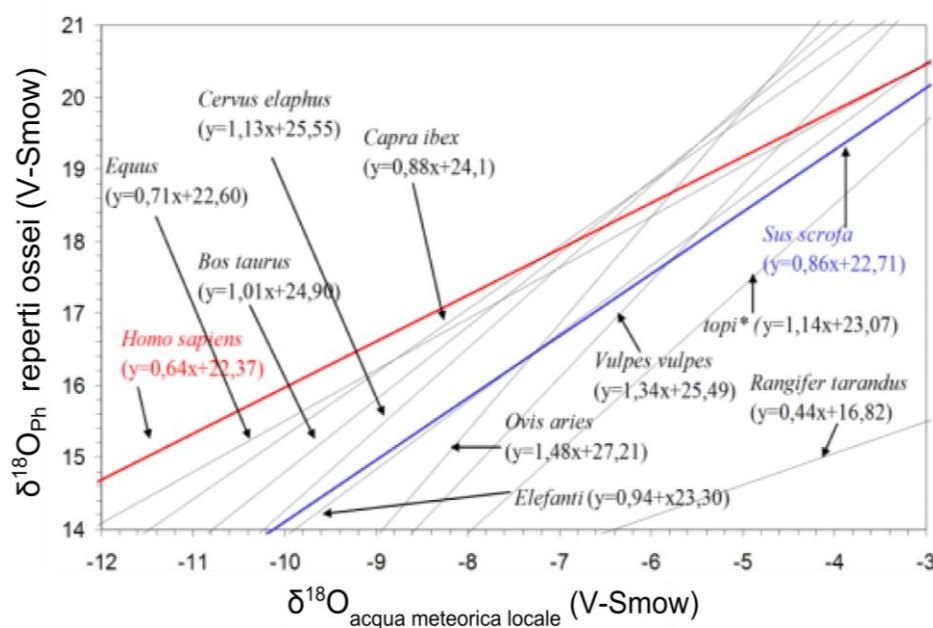


Figura 21: Scale isotopiche del $\delta^{18}\text{O}_{\text{fosf.}}$ in funzione dell'acqua meteorica locale per diverse specie di mammiferi. (Ridisegnata da Longinelli e Deganello, 1999)

Altri studi condotti da Longinelli (1984) hanno ulteriormente confermato una relazione positiva tra il valore $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua ingerita e quello del gruppo fosfato dell'idrossiapatite.

Così come il fosfato, anche la composizione isotopica dell'ossigeno del gruppo carbonato delle ossa può essere correlata ai liquidi corporei (Longinelli, 1984). Risulta evidente che carbonato e fosfato sono all'equilibrio isotopico fra loro e con la sorgente comune, rappresentata dal sangue. Vi è dunque una relazione non solo fra la composizione isotopica

delle ossa e quella dell'ambiente in cui il soggetto è vissuto, ma anche fra il $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato e quello del fosfato (Iacumin et al., 1996).

La relazione esistente fra carbonato e fosfato è rappresentata da due rette parallele però con intercetta diversa: infatti, il carbonato ha sempre valori più positivi rispetto al fosfato perché fraziona di più l'ossigeno (la differenza tra i due è di circa +9‰; Fig. 22).

Entrambe le analisi danno informazioni climatico-ambientali. Tuttavia le analisi del gruppo carbonato sono più frequenti, sia per la facilità nell'estrazione che per la facilità nella misura; inoltre, estraendo il gruppo carbonato è possibile svolgere in contemporanea misure su carbonio e ossigeno. Il gruppo carbonato però è maggiormente alterabile a contatto con l'acqua rispetto al fosfato: questo è dovuto alla maggior debolezza dei legami tra carbonio e ossigeno rispetto a quelli tra fosforo e ossigeno. Il contatto con l'acqua presente nel terreno di seppellimento comporta la negativizzazione del valore isotopico dell'ossigeno sia del carbonato che del fosfato perché presenta valori più negativi rispetto all'acqua corporea.

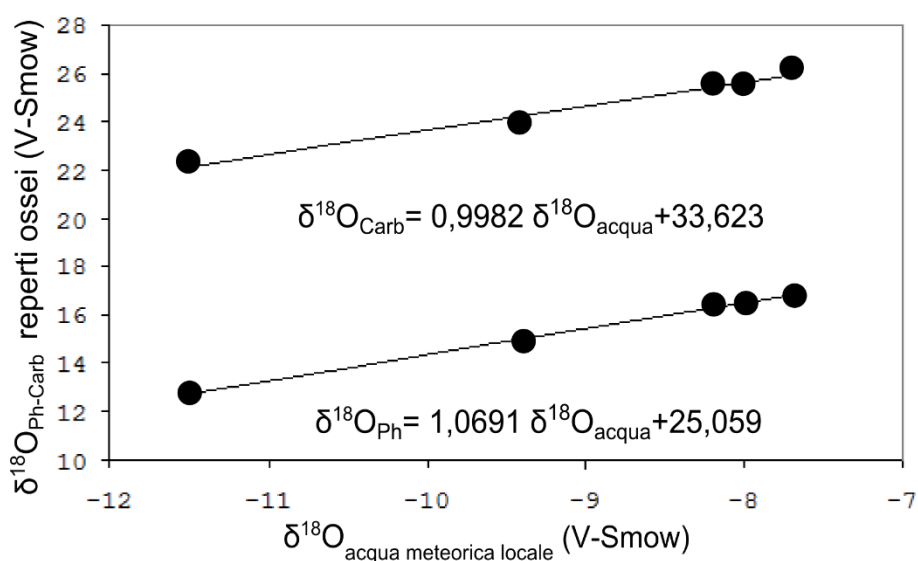


Figura 22: Relazioni $\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonato}}/\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua meteorica}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{fosfato}}/\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua meteorica}}$. (Ridisegnata da Iacumin et al., 1996)

Sono state ricavate alcune rette di equilibrio tra $\delta^{18}\text{O}_{\text{fosfato}} (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}})$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonato}} (\delta^{18}\text{O}_{\text{c}})$ utili per i mammiferi terrestri (es. Iacumin et al., 1996) $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} = 0,98 (\pm 0,031) * \delta^{18}\text{O}_{\text{c}} - 8,5 (\pm 0,806)$ che permettono anche di ricavare il valore di $\delta^{18}\text{O}_{\text{c}}$ o $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ nel caso in cui non siano state eseguite entrambe le analisi (Fig. 23).

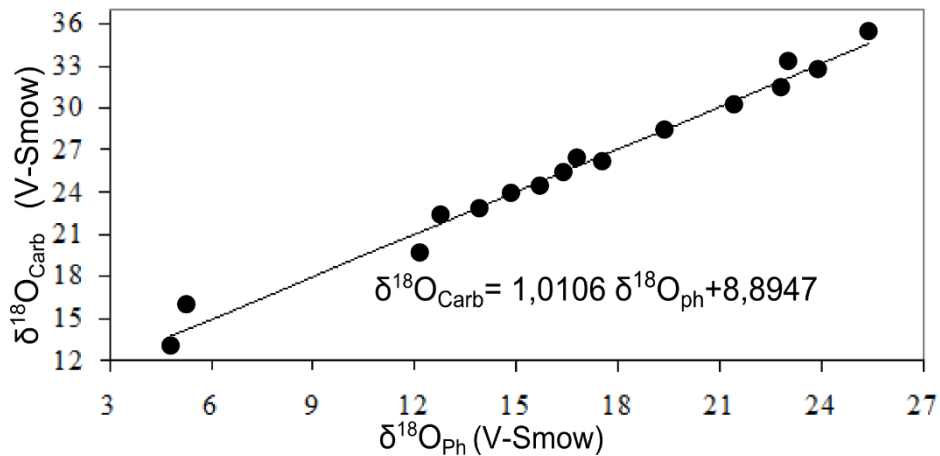


Figura 23: Correlazione lineare tra $\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonato}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{fosfato}}$. (Ridisegnata da Iacumin et al., 1996)

Utilizzando le equazioni, formulate per molte specie di mammiferi (Longinelli e Deganello, 1999), che correlano $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ /acqua meteorica, si può risalire alla composizione dell'ossigeno dell'acqua bevuta ($\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$). In dettaglio:

- Buoi: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 24,9)/1,01$
- Capra: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 24,1)/0,88$
- Pecora: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 27,21)/1,48$
- Suini: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 22,71)/0,86$
- Equini: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 22,6)/0,71$
- Cervo: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 25,55)/1,13$
- Volpe: $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} - 25,49)/1,34$

Iacumin e Venturelli (2015) hanno dimostrato che l'utilizzo delle relazioni $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ Vs $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$ per gli umani, proposte da vari autori (Longinelli, 1984; Luz et al., 1984; Levinson et al., 1987; Daux et al., 2008), comporterebbero una grande incertezza: ne deriva di dover valutare in maniera attenta i risultati ottenuti.

Iacumin e Venturelli (2015) propongono per gli umani la seguente relazione:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{w}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} * 1,8469) - 38,4$$

4.3.1 Fattori che influenzano il $\delta^{18}\text{O}$ nelle precipitazioni

La composizione isotopica dell'ossigeno nell'apatite è in stretta relazione con l'acqua ambientale e dunque con il ciclo isotopico dell'acqua. Nello studio del paleo-clima e dei paleo-ambienti, i fattori che influenzano il valore del $\delta^{18}\text{O}$ risultano di fondamentale importanza. I fattori coinvolti sono: la temperatura, la latitudine, l'altitudine, la continentalità, il susseguirsi delle stagioni e l'abbondanza delle precipitazioni (Clark e Fritz, 1997; Fig. 24).

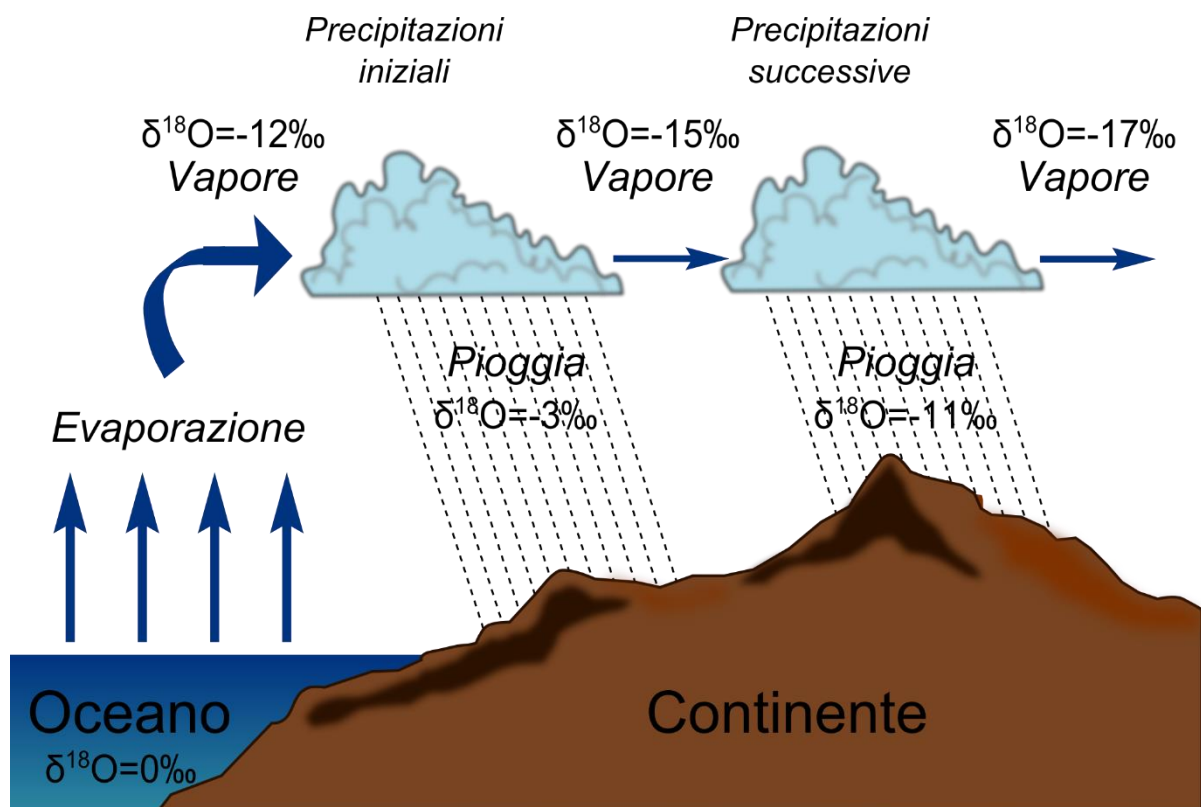


Figura 24: Rappresentazione schematica del frazionamento isotopico del $\delta^{18}\text{O}$ nelle diverse fasi del ciclo idrogeologico. (Modificata da Hoefes, 1997 e Coplen, 2000)

Latitudine:

La composizione isotopica dell'ossigeno è dipendente dalla temperatura media di formazione delle precipitazioni che varia in funzione della latitudine: è più bassa ad alte latitudini per poi aumentare progressivamente a latitudini inferiori. Anche la composizione isotopica segue lo stesso andamento con un contenuto in isotopi pesanti variabile: si avranno valori di $\delta^{18}\text{O}$ minori per latitudini maggiori e valori di $\delta^{18}\text{O}$ maggiori per latitudini minori.

All'aumentare della latitudine i valori isotopici diventano sempre più negativi (-20/-30‰ nelle aree polari, -4/-5‰ nelle aree temperate) ed il gradiente di variazione aumenta progressivamente (Clark e Fritz, 1997). Osservando la carta isotopica delle precipitazioni nelle varie parti del mondo si può vedere questo andamento anche se le linee di isotopicità non sono parallele fra loro per via dell'influenza di diversi fattori climatici.

Continentalità:

Una massa di vapore che si genera dall'oceano e si sposta verso il continente è soggetta, lungo il suo percorso, ad un graduale impoverimento in isotopi pesanti causato da condensazioni parziali, che ad ogni abbassamento della temperatura portano precipitazioni.

Dunque le precipitazioni che avvengono in zone interne al continente presentano un contenuto in isotopi pesanti inferiore rispetto alle zone costiere.

Un esempio di questa progressiva negativizzazione si osserva nel continente europeo dove la maggior parte delle precipitazioni proviene dall'Atlantico. Spostandosi in direzione ovest-est, si osservano valori da -6‰, misurati sulle coste atlantiche, fino ai -11‰, misurati in Polonia (D'Amelio et al., 1994).

Altitudine:

Quando una massa satura di vapore acqueo incontra un rilievo montuoso per oltrepassarlo si innalzerà raggiungendo quote più elevate e caratterizzate da una pressione atmosferica minore. La massa d'aria tenderà quindi ad espandersi in modo adiabatico; inoltre a quote elevate si ha un abbassamento della temperatura che causerà la parziale condensazione del vapore acqueo. La progressiva diminuzione della temperatura comporterà, quindi, una negativizzazione dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ nelle precipitazioni formatesi a quote più elevate rispetto a quelle originate in pianura o nelle zone costiere.

Quando le precipitazioni si formano dopo aver superato il rilievo si determinerà il cosiddetto "effetto ombra": consiste nel mantenimento in quota delle masse di vapore e nel loro ulteriore impoverimento in isotopi pesanti a causa delle eventuali condensazioni avvenute durante la fase di ascesa.

L'effetto altitudine genera un gradiente isotopico verticale associato alle precipitazioni in cui il valore del $\delta^{18}\text{O}$ è mediamente compreso tra -0,15 e -0,5‰ ogni 100 metri di quota.

In Italia, i valori più negativi delle piogge si misurano su Alpi e Appennini (-9‰), quelli meno negativi lungo le coste (-6/-5‰), a causa dell'azione mitigante della temperatura sul mare (Longinelli e Selmo, 2003; Fig. 25).

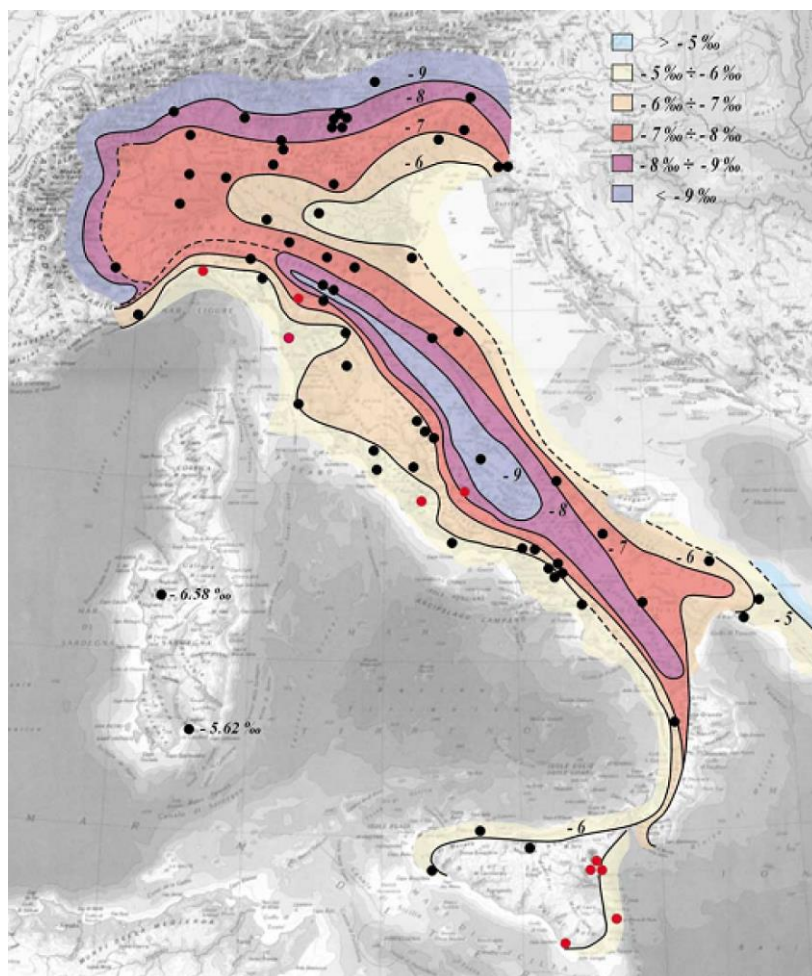


Figura 25: Variazione della composizione isotopica delle piogge in Italia. (Da Longinelli e Selmo, 2003)

Stagionalità:

Analizzando la composizione isotopica delle precipitazioni, raccolte in un anno in un determinato luogo, si osserva un andamento quasi sinusoidale legato alle variazioni stagionali della temperatura. Le precipitazioni estive avranno un valore $\delta^{18}\text{O}$ più positivo rispetto a quello del periodo invernale, caratterizzato da temperature più rigide. Dunque, la variazione di composizione isotopica sarà strettamente legata alle differenze delle temperature tra le varie stagioni.

Ammontare delle precipitazioni:

La composizione isotopica di un singolo evento di precipitazione non si mantiene costante durante tutto il suo corso ma varia assumendo valori sempre più negativi.

Per riassumere, il valore del $\delta^{18}\text{O}$ delle precipitazioni è fortemente correlato dalla temperatura. La massa d'aria che si origina dall'oceano ($\delta^{18}\text{O}=0$) a seguito dell'evaporazione subisce una negativizzazione, le piogge che si origineranno da essa invece saranno arricchite

rispetto al vapore; il vapore e le piogge man mano che percorrono il continente e salgono di quota subiranno una progressiva negativizzazione (Clark e Fritz, 1997).

4.3.2 Fattori che influenzano il $\delta^{18}\text{O}$ nella bio-apatite (metabolico-comportamentali)

Oltre ai fattori che dipendono dall'ambiente e dalla temperatura non bisogna trascurare, analizzando campioni di tessuto scheletrico, fattori legati ai comportamenti alimentari e agli effetti metabolici.

Un importante fattore da considerare è quello relativo alle diverse abitudini per l'approvvigionamento dell'acqua tra uomini e animali. L'uomo è obbligato a bere acqua corrente e non stagnante, mentre gli animali bevono prevalentemente da bacini chiusi. I valori di $\delta^{18}\text{O}$ saranno, quindi, sempre in riferimento a quelli di un fiume, di una sorgente o di un pozzo per l'uomo, mentre per gli animali, che solitamente bevono l'acqua piovana raccolta in bacini o pozzanghere che tende ad evaporare, si avranno valori di $\delta^{18}\text{O}$ più positivi.

I fiumi raccolgono le acque in quota così come le falde acquifere e quindi hanno valori di $\delta^{18}\text{O}$ che rispecchiano le altitudini più elevate (più negative), e non sono rappresentativi dell'acqua piovana del luogo di vita dell'individuo. In questo modo possono essere monitorati gli spostamenti degli individui.

In caso di ambienti aridi nei leporidi e nei macropodidi non si verifica la correlazione tra l'acqua ingerita e l'acqua corporea: in questi animali, infatti, la composizione isotopica del fosfato non è correlabile alla composizione isotopica dell'acqua meteorica ma all'umidità relativa. Si tratta di specie erbivore legate, quindi, al valore di $\delta^{18}\text{O}$ derivante dall'acqua dei vegetali (in ambiente secco la traspirazione fogliare è più efficiente, Adar et al., 1995), che assumono nella dieta, che dipende dal terreno in cui crescono e, in seconda relazione, dall'acqua meteorica (Ayliffe e Chivas, 1990).

Altro importante fattore da considerare nei mammiferi, dunque anche nell'uomo, è l'arricchimento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ dovuti all'assunzione del latte materno, che risulta in relazione con l'acqua ingerita dalla madre (Bryant, 1995). Questa informazione è osservabile dal dato isotopico fornito dai denti: infatti, alcuni cristallizzano nei primi mesi di vita come il primo molare.

Eseguendo studi paleo-ambientali da mammiferi terrestri è necessario considerare anche spostamenti altitudinali o latitudinali legati a strategie di sopravvivenza, di riproduzione e di ricerca del cibo, che influenzano i valori del $\delta^{18}\text{O}$ della bio-apatite.

Stambecchi e cervidi che sono soliti spostarsi nel corso dell'anno ad altitudini maggiori a seconda delle stagioni (Stevens et al., 2010) presenteranno valori più impoveriti dato che le temperature sono più rigide, effetto osservabile anche per gli animali che si spostano orizzontalmente (es. mandrie di buoi o bufali, cavalli).

PARTE III

RISULTATI

5- RISULTATI DELLE ANALISI ISOTOPICHE

Dato l'elevato numero di campioni analizzati in ogni livello è necessario presentare i dati utilizzando la statistica descrittiva. Per ogni specie in ogni livello archeologico sono stati determinati:

- il valore minimo,
- il valore massimo,
- la variabilità,
- il valore medio,
- l'errore standard della media,
- la deviazione standard.

Questi parametri consentono di sintetizzare i dati ottenuti. Nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati ottenuti per le diverse specie in funzione del livello archeologico (le specie riportate sono quelle con il maggior numero di campioni analizzati).

Le osservazioni di tipo statistico che seguono sono state ottenute eseguendo opportuni test che permettono di evidenziare se esiste una uguaglianza tra il valore medio dei vari gruppi (Test T per campioni indipendenti, spiegazione completa in Appendice 5). Il livello di significatività p (p -value) è stato fissato a 0,05.

Per riassumere: i valori di $\delta^{13}\text{C}$ della frazione inorganica dei reperti scheletrici consentono di ricostruire la dieta dell'animale analizzato permettendo di riconoscere facilmente il ciclo fotosintetico adottato dalla piante: il ciclo C_3 o il ciclo C_4 e, in maniera indiretta tramite scostamenti dal valore medio, l'ambiente in cui l'animale ha vissuto. Il $\delta^{13}\text{C}$ della frazione organica invece restituisce i rapporti di abbondanza isotopica delle proteine assunte nella dieta, siano esse vegetali o animali (la frazione inorganica comprende anche informazioni su carboidrati e lipidi). L'azoto dà informazioni sull'origine della frazione proteica (livello trofico) ed è un buon indicatore ambientale (umidità e disponibilità idrica), mentre l'ossigeno è strettamente correlato alla temperatura di condensazione dell'acqua meteorica.

I risultati sono riportati rispetto V-PDB per carbonio, rispetto a N_2 atmosferico per azoto e V-SMOW per ossigeno.

I risultati completi, suddivisi per livello, sono riportati nell' Appendice 7.

5.1 Erbivori

○ *Bos taurus- Bos primigenius*

Il bue domestico e l'uro (ora estinto) sono due mammiferi ruminanti di grossa taglia. L'uro è presente solo in tre livelli (VIII-VII-VIB2) per un totale di otto campioni, mentre il bue domestico è presente in tutti i livelli (51 campioni). Sono stati effettuati confronti tra le specie, nonostante il numero esiguo di campioni di uro, al fine di poter discriminare tra variazioni del segnale isotopico attribuibile a variazione di carattere ambientale e quelle legate alla tipologia di allevamento. I test statistici non hanno mostrato differenze nei due livelli del Tardo Calcolitico tra il bue domestico e l'uro mentre nel il livello VIB2 si differenziano per $^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ e $^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e non per azoto e ossigeno.

<i>Bos primigenius Bojanus 1827</i>								
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$					Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$			
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	
I	*	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*	*
VA	*	*	*	*	*	*	*	*
VID	*	*	*	*	*	*	*	*
VIC	*	*	*	*	*	*	*	*
VIB2	3	-12,3	-10,8	1,5	-11,7	0,5	0,8	
VIB1	*	*	*	*	*	*	*	*
VIA	*	*	*	*	*	*	*	*
VII	3	-11,9	-10,3	1,6	-11,2	0,5	0,8	
VIII	2	-11,9	-10,1	1,8	-11,0	0,9	1,3	

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$					Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$			
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	
I	*	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*	*
VA	*	*	*	*	*	*	*	*
VID	*	*	*	*	*	*	*	*
VIC	*	*	*	*	*	*	*	*
VIB2	3	-20,6	-18,8	1,8	-19,8	0,5	0,9	
VIB1	*	*	*	*	*	*	*	*
VIA	*	*	*	*	*	*	*	*
VII	3	-19,1	-17,6	1,5	-18,6	0,5	0,8	
VIII	2	-19,6	-17,3	2,3	-18,5	1,2	1,6	

Tabella 4: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Bos primigenius*.

Il bue domestico, rispetto a tutti gli altri animali, si posiziona sia per valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ che $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ verso valori mediamente più positivi ma con delle eccezioni come per i livelli VIA, VIB1, VIC e III per $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e VIC per $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ in cui altri animali presentano valori più positivi. L'arricchimento del carbonio può essere da imputare sia alla metanogenesi sia alla grossa taglia dell'animale.

Bos taurus L. 1758															
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{petite}}$								Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{petite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	4	-11,3	-9,8	1,5	-10,8	0,3	0,7	I	4	25,4	27,8	2,4	26,4	0,5	1,0
III	5	-12,5	-10,6	1,9	-11,2	0,3	0,8	III	5	24,5	27,5	3,0	25,9	0,6	1,3
VA	5	-10,3	-9,0	1,3	-9,5	0,2	0,5	VA	5	25,1	28,9	3,8	27,0	0,6	1,4
VID	5	-10,6	-8,7	1,9	-9,3	0,3	0,8	VID	5	26,4	28,2	1,8	27,4	0,3	0,6
VIC	5	-13,2	-9,5	3,7	-11,4	0,7	1,5	VIC	5	26,2	29,7	3,5	27,9	0,6	1,3
VIB2	5	-9,5	-8,8	0,7	-9,0	0,1	0,3	VIB2	5	24,6	28,7	4,1	26,8	0,7	1,5
VIB1	6	-14,1	-9,5	4,6	-11,5	0,6	1,6	VIB1	6	24,9	29,0	4,1	26,4	0,6	1,5
VIA	5	-11,3	-9,1	2,2	-10,0	0,4	0,9	VIA	5	26,9	29,4	2,5	28,4	0,4	0,9
VII	5	-12,5	-9,8	2,7	-10,7	0,5	1,1	VII	5	25,0	27,5	2,5	26,3	0,4	1,0
VIII	6	-11,0	-9,9	1,1	-10,5	0,2	0,5	VIII	6	26,9	30,6	3,7	29,1	0,6	1,5

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$								Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	4	-19,5	-19,0	0,5	-19,2	0,1	0,2	I	4	5,6	6,9	1,3	6,1	0,3	0,6
III	5	-20,1	-18,5	1,6	-19,3	0,3	0,7	III	5	4,7	7,6	2,9	5,7	0,5	1,2
VA	5	-17,4	-16,7	0,7	-17,1	0,1	0,3	VA	5	7,5	9,1	1,6	8,3	0,3	0,7
VID	5	-18,3	-15,4	2,9	-17,2	0,5	1,1	VID	5	7,1	8,1	1,0	7,5	0,2	0,5
VIC	3	-20,2	-18,7	1,5	-19,5	0,4	0,8	VIC	3	5,5	8,4	2,9	6,9	0,8	1,5
VIB2	5	-18,8	-16,5	2,3	-17,6	0,4	0,8	VIB2	5	4,7	7,1	2,4	6,4	0,4	1,0
VIB1	3	-20,7	-18,5	2,2	-19,6	0,6	1,1	VIB1	3	4,7	8,5	3,8	6,9	1,1	2,0
VIA	4	-19,6	-17,0	2,6	-18,7	0,6	1,2	VIA	4	5,6	8,7	3,1	7,5	0,7	1,3
VII	5	-19,8	-17,4	2,4	-18,7	0,4	1,0	VII	5	5,3	6,2	0,9	5,8	0,2	0,4
VIII	6	-18,8	-17,6	1,2	-18,2	0,2	0,4	VIII	6	6,5	8,3	1,8	7,0	0,3	0,6

Tabella 5: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Bos taurus*.

I valori più positivi si osservano nei livelli VIB2, VID e VA ($^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ e $^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) che potrebbero far pensare all'introduzione nella dieta dell'animale di una componente C_4 .

Osservando i valori medi dell'azoto il bue ha valori più positivi rispetto agli altri ruminanti analizzati, il valore medio più positivo si può osservare nel livello VA (8,3‰) mentre il meno positivo nel livello VII (5,8‰). I valori elevati di azoto di queste due specie sono dovuti probabilmente all'assunzione di alimenti poco proteici: l'escrezione di urea è proporzionale al contenuto proteico degli alimenti perciò tanto più basso sarà il contenuto proteico e tanto minore sarà l'escrezione di urea; l'urea è impoverita in $\delta^{15}\text{N}$ e quindi i tessuti corporei dell'animale risulteranno arricchiti (Ambrose, 1991).

I valori dell'ossigeno sono mediamente meno positivi fatta eccezione per il livello più antico (VIII), in cui il cervo mostra valori più negativi rispetto al bue. I valori dell'ossigeno mediamente meno positivi rispetto agli altri ruminanti possono essere imputati alla grande quantità di acqua ingerita rispetto ai caprini e al cervo ma anche alla taglia dell'animale e all'attività metabolica. Solo gli onnivori presentano valori meno positivi del bue (cane, uomo e maiale).

○ **Caprini (*Caprinae*)**

I campioni di *Capra hircus*, *Capra aegagrus*, *Ovis aries* e *Ovis orientalis* sono stati riuniti in un'unica sottofamiglia, i caprini, sia perché dopo i test statistici non sono state individuate significative differenze ($p > 0,05$) tra le varie specie (*Ovis aries* Vs *orientalis*, *Capra hircus* Vs *aegagrus*, *Capra hircus* Vs *Ovis aries*), sia perché molti campioni erano stati classificati dall'equipe archeo-zoologica come ovis/capra a causa delle difficoltà incontrate nella distinzione osteo-morfologica. I campioni di caprini analizzati sono 143.

I caprini sono erbivori ruminanti di media taglia, presenti in tutti i livelli del sito archeologico; come già riportato sono i più rappresentati e occupano un settore importante nell'economia del sito.

Caprini(Capra hircus L. 1758 - Capra aegagrus Erxleben 1777 - Ovis aries L. 1758 - Ovis orientalis Gmelin 1774)															
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$								Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	16	-13,0	-9,1	3,9	-11,4	0,3	1,4	I	16	26,3	31,6	5,3	29,1	0,4	1,8
III	8	-13,6	-11,6	2,0	-12,6	0,3	0,8	III	8	28,3	31,1	2,8	29,7	0,4	1,0
VA	13	-12,5	-9,9	2,6	-11,4	0,2	0,7	VA	13	24,8	31,5	6,7	29,6	0,5	1,8
VID	15	-16,5	-10,1	6,4	-12,1	0,4	1,4	VID	15	19,1	31,0	11,9	28,8	0,7	2,8
VIC	7	-12,2	-8,3	3,9	-11,1	0,5	1,3	VIC	7	27,8	30,6	2,8	29,4	0,3	0,9
VIB2	11	-13,2	-11,1	2,1	-11,9	0,2	0,6	VIB2	11	26,8	30,4	3,6	28,7	0,4	1,2
VIB1	23	-14,7	-10,5	4,2	-12,0	0,2	0,9	VIB1	23	25,6	31,4	5,8	28,7	0,3	1,3
VIA	10	-13,4	-9,6	3,8	-11,6	0,4	1,2	VIA	10	27,5	30,7	3,2	28,6	0,3	1,0
VII	19	-14,5	-8,9	5,6	-11,7	0,3	1,3	VII	19	26,1	33,4	7,3	28,8	0,4	1,6
VIII	21	-13,7	-10,9	2,8	-12,1	0,1	0,7	VIII	21	24,7	33,8	9,1	29,3	0,4	1,9

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$								Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	12	-20,0	-14,7	5,3	-18,6	0,5	1,9	I	12	3,0	7,2	4,2	4,6	0,4	1,4
III	8	-20,4	-18,4	2,0	-19,3	0,3	0,8	III	8	3,9	6,1	2,2	4,9	0,3	0,8
VA	10	-19,0	-16,3	2,7	-18,3	0,3	0,8	VA	10	2,9	6,7	3,8	5,2	0,4	1,2
VID	11	-19,7	-17,4	2,3	-18,9	0,2	0,7	VID	11	3,5	6,1	2,6	5,0	0,2	0,7
VIC	7	-20,0	-17,9	2,1	-18,8	0,3	0,7	VIC	7	5,2	7,5	2,3	6,4	0,3	0,9
VIB2	11	-20,0	-18,1	1,9	-19,1	0,2	0,6	VIB2	11	4,0	6,5	2,5	5,2	0,3	0,8
VIB1	18	-20,2	-17,1	3,1	-18,9	0,2	0,8	VIB1	17	3,5	8,9	5,4	5,9	0,4	1,5
VIA	9	-20,8	-17,9	2,9	-19,5	0,3	1,0	VIA	9	4,5	8,1	3,6	6,3	0,4	1,3
VII	18	-20,3	-16,9	3,4	-18,8	0,2	1,0	VII	18	3,1	9,3	6,2	6,0	0,4	1,8
VIII	21	-20,2	-17,5	2,7	-19,2	0,1	0,7	VIII	21	3,4	7,5	4,1	5,3	0,3	1,2

Tabella 6: Parametri di statistica descrittiva per i caprini.

Osservando i valori isotopici si osserva che per tutti i segnali nei livelli c'è una grande omogeneità. Per i valori di $\delta^{18}\text{O}$ in tutto il record archeologico non sono state evidenziate differenze dal punto di vista statistico. I caprini rispetto agli altri ruminanti si posizionano verso valori di $\delta^{18}\text{O}$ più positivi.

Il valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ non mostrano differenze nei livelli Tardo Calcolitici (1-5) e nel Bronzo antico I, nel Bronzo Antico II il valore si positivizza e risulta diverso dal livello più antico

(Tardo Calcolitico 1-2). Nel Bronzo Antico II il valore medio è il più positivo di tutto il record (-11,1‰), mentre il più negativo (-12,6‰) è stato misurato nel livello dell'Età del Ferro (III).

I valori medi del $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ mostrano lo stesso andamento del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ dal livello VIC fino al top del record archeologico.

L'andamento dei valori medi del $\delta^{15}\text{N}$ ricalca quello del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, il valore medio più positivo 6,4‰ misurato nel livello VIC.

○ *Cervus elaphus*

Il cervo nobile o cervo rosso è un mammifero erbivoro ruminante appartenente alla famiglia dei Cervidi.

<i>Cervus elaphus</i> L. 1758							
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apelite}}$							Dev. std.
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	3	-12,7	-12,3	0,4	-12,5	0,1	0,2
VID	1	*	*	*	-12,1	*	*
VIC	*	*	*	*	*	*	*
VIB2	4	-14,1	-12,1	2,0	-13,2	0,4	0,8
VIB1	3	-13,1	-12,5	0,6	-12,7	0,2	0,3
VIA	3	-13,3	-12,3	1,0	-12,8	0,3	0,5
VII	5	-13,1	-10,7	2,4	-12,0	0,4	0,9
VIII	5	-13,9	-11,5	2,4	-12,7	0,4	0,9

Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apelite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	3	25,0	30,3	5,3	28,0	1,6	2,7
VID	1	*	*	*	28,4	*	*
VIC	*	*	*	*	*	*	*
VIB2	4	27,9	28,7	0,8	28,3	0,2	0,4
VIB1	3	26,8	27,8	1,0	27,3	0,3	0,5
VIA	3	28,6	29,2	0,6	28,9	0,2	0,3
VII	5	26,8	29,4	2,6	27,8	0,5	1,1
VIII	5	25,6	28,9	3,3	27,2	0,5	1,2

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	1	*	*	*	-20,0	*	*
VID	1	*	*	*	-18,9	*	*
VIC	*	*	*	*	*	*	*
VIB2	4	-20,2	-18,8	1,4	-19,7	0,3	0,6
VIB1	1	*	*	*	-19,7	*	*
VIA	1	*	*	*	-19,5	*	*
VII	4	-20,6	-18,6	2,0	-19,3	0,5	0,9
VIII	5	-20,4	-19,8	0,6	-20,1	0,1	0,2

Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	1	*	*	*	5,4	*	*
VID	1	*	*	*	4,6	*	*
VIC	*	*	*	*	*	*	*
VIB2	4	2,7	5,6	2,9	3,5	0,7	1,4
VIB1	1	*	*	*	4,7	*	*
VIA	1	*	*	*	4,0	*	*
VII	4	3,4	4,3	0,9	3,9	0,2	0,4
VIII	5	4,4	7,2	2,8	5,8	0,5	1,1

Tabella 7: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Cervus elaphus*.

Nel sito archeologico di Arslantepe sono stati rinvenuti 24 reperti di *Cervus elaphus*. I campioni non coprono però l'intero arco temporale ma solamente il periodo che va dal 6000 al 3750 BP (campioni assenti nel livello VIC).

L'habitat originario del cervo è costituito dalle zone boschive con presenza di radure o aree di boscaglia poco fitta, generalmente in ambiente pianeggiante o a basse altitudini.

Lo studio di questo animale dal punto di vista isotopico può aiutare a ricostruire dal punto di vista ambientale le zone circostanti al sito archeologico, dove si presume vivesse e dove

veniva cacciato; solo successivamente veniva portato all'interno del villaggio per essere consumato, spiegando così il suo rinvenimento all'interno del sito.

Il cervo è un animale selvatico e per questo i risultati ottenuti possono essere considerati esenti dall'intervento umano.

Confrontato con gli altri ruminanti, il cervo presenta valori di $\delta^{13}\text{C}$ (carb e coll) più negativi, probabilmente per un effetto copertura, mentre per il $\delta^{18}\text{O}$ si posiziona tra i caprini (taglia media) e il bue (taglia grossa, maggiore del cervo). Come per il bue, anche il cervo mostra nel livello VIA il valore più positivo ($\delta^{18}\text{O}=28,9\text{‰}$) valore che diminuisce nel Bronzo Antico I (27,3‰).

I valori medi del $^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ occupano un intervallo molto ristretto (1‰) e non sono state riscontrate differenze dal punto di vista statistico tra i vari livelli. Nel livello più antico il cervo presenta lo stesso valore di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ del daino, mentre con $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ la differenza è maggiore di 1‰ (daino più positivo). Nei livelli del Tardo calcolitico i valori del $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ sono perfettamente sovrapponibili a quelli del maiale domestico.

L'azoto, così come l'ossigeno, mostra una maggior variabilità e, rispetto agli altri ruminanti, i valori sono mediamente meno positivi. Il valore medio più positivo è misurato nel livello VIII mentre il meno positivo nel VIB2.

○ *Lepus capensis*

La lepre del Capo è un animale selvatico ritrovato in tutti i livelli archeologici studiati. Sono stati analizzati 33 campioni.

Prima di procedere all'analisi dei dati va ricordato che per la lepre, così come i conigli e altri animali di piccola taglia che assumono l'acqua prevalentemente dalle foglie delle piante, la relazione che lega il $\delta^{18}\text{O}$ del fosfato e del carbonato delle ossa all'acqua meteorica non è verificata. Esiste invece una relazione inversa con l'umidità relativa. Questo è dovuto al fatto che, in aree caratterizzate da scarse precipitazioni, il tasso di evapotraspirazione delle piante è elevato e le foglie quindi risulteranno isotopicamente più arricchite (Delgado Huertas et al. 1995).

Lo studio di questo animale può aiutare dunque ad individuare periodi con maggiore aridità ed essendo un animale selvatico l'uomo non ha modificato il suo comportamento.

Tra i campioni dei vari livelli per il $\delta^{18}\text{O}$ non sono state riscontrate differenze statisticamente significative ($p>0,05$)

Il valore del $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato mostra delle differenze tra il livello VIA e tutti gli altri livelli.

Il valore medio del $\delta^{13}\text{C}$ carbonato per i livello VIA è di -10,0‰, mentre gli altri livelli presentano valori più negativi. Anche i valori del $\delta^{13}\text{C}$ del collagene si comportano come quelli del $\delta^{13}\text{C}$ carbonato.

<i>Lepus capensis</i> L. 1758							
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{petite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	-13,6	*	*
III	5	-13,7	-9,9	3,8	-12,0	0,7	1,7
VA	2	-12,8	-12,6	0,2	-12,7	0,1	0,1
VID	6	-14,2	-11,5	2,7	-13,0	0,4	1,0
VIC	2	-13,8	-12,3	1,5	-13,1	0,8	1,1
VIB2	4	-13,9	-13,3	0,6	-13,7	0,1	0,3
VIB1	2	-15,4	-13,9	1,5	-14,7	0,8	1,1
VIA	3	-10,9	-9,0	1,9	-10,0	0,6	1,0
VII	3	-15,6	-12,9	2,7	-13,9	0,8	1,5
VIII	5	-14,0	-10,8	3,2	-12,6	0,6	1,3

Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{petite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	25,7	*	*
III	5	28,6	31,4	2,8	29,6	0,5	1,1
VA	2	29,1	31,7	2,6	30,4	1,3	1,8
VID	6	23,5	31,0	7,5	28,0	1,1	2,7
VIC	2	28,1	31,4	3,3	29,8	1,7	2,3
VIB2	4	26,9	29,5	2,6	28,0	0,6	1,1
VIB1	2	28,1	32,3	4,2	30,2	2,1	3,0
VIA	3	26,1	28,7	2,6	27,5	0,8	1,3
VII	3	28,5	31,5	3,0	29,9	0,9	1,5
VIII	5	29,2	30,7	1,5	29,7	0,3	0,7

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	-21,4	*	*
III	5	-20,6	-15,7	4,9	-18,5	1,1	2,5
VA	2	-20,1	-20,1	0,0	-20,1	0,0	0,0
VID	6	-21,5	-18,8	2,7	-19,9	0,4	1,0
VIC	2	-21,5	-20,4	1,1	-21,0	0,6	0,8
VIB2	4	-22,1	-20,3	1,8	-21,5	0,4	0,8
VIB1	2	-21,7	-20,8	0,9	-21,3	0,4	0,6
VIA	3	-18,2	-17,6	0,6	-18,0	0,2	0,3
VII	3	-21,3	-19,8	1,5	-20,6	0,4	0,8
VIII	5	-22,2	-17,7	4,5	-19,8	0,8	1,7

Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	3,7	*	*
III	5	2,1	5,4	3,3	3,6	0,7	1,6
VA	2	3,4	3,6	0,2	3,5	0,1	0,1
VID	6	0,8	7,5	6,7	4,5	1,0	2,5
VIC	2	2,5	3,3	0,8	2,9	0,4	0,6
VIB2	4	2,6	3,2	0,6	2,9	0,1	0,2
VIB1	2	3,0	4,2	1,2	3,6	0,6	0,8
VIA	3	7,9	9,4	1,5	8,4	0,5	0,8
VII	3	1,6	2,8	1,2	2,1	0,4	0,6
VIII	5	2,5	5,9	3,4	4,0	0,6	1,4

Tabella 8: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Lepus capensis*.

I valori de $\delta^{15}\text{N}$ mostrano una differenza statisticamente significativa tra il livello VIA e tutti gli altri livelli. I valore medio dei livelli statisticamente uguali tra loro è di 3,4‰. Il valore medio di $\delta^{15}\text{N}$ per i campioni del livello VIA è di 8,4‰ ed è il più positivo.

Si osserva che i campioni provenienti dall'intervallo 5350-5000 BP (VIA) sono più positivi in ^{15}N rispetto agli altri livelli di circa 5‰. Condizioni di stress idrico causano nelle piante un arricchimento isotopico dell'azoto, che può riflettersi nei valori riscontrati nell'animale; le stesse condizioni causano una ulteriore positivizzazione del segnale per effetti metabolici (urea).

La lepre rispetto agli altri erbivori analizzati si colloca verso valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ più negativi a causa della tipologia di habitat prediletto da questo animale: radure piuttosto che aree densamente vegetate.

5.2 Onnivori

○ *Sus scrofa domesticus* - *Sus scrofa ferus*

Il maiale e il cinghiale sono mammiferi che appartengono alla categoria degli onnivori, il maiale è presente in tutto il record archeologico. Stati analizzati 37 campioni di maiale e 16 di cinghiale. Come per il bue e l'uro è utile confrontare questi due animali, uno classificato convenzionalmente come domestico e l'altro come selvatico, al fine di poter discriminare tra variazioni del segnale isotopico attribuibile a variazione di carattere ambientale e quelle legate alla tipologia di allevamento e dunque legate all'uomo.

Sus scrofa ferus L. 1758															
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apelite}}$								Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apelite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*	I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*	III	*	*	*	*	*	*	*
VA	1	*	*	*	-13,3	*	*	VA	1	*	*	*	24,9	*	*
VID	1	*	*	*	-11,4	*	*	VID	1	*	*	*	25,2	*	*
VIC	1	*	*	*	-12,2	*	*	VIC	1	*	*	*	25,4	*	*
VIB2	5	-13,5	-11,0	2,5	-12,4	0,6	1,3	VIB2	5	24,4	30,2	5,8	25,9	1,1	2,4
VIB1	1	*	*	*	-10,4	*	*	VIB1	1	*	*	*	24,6	*	*
VIA	*	*	*	*	*	*	*	VIA	*	*	*	*	*	*	*
VII	3	-14,0	-12,6	1,4	-13,2	0,4	0,7	VII	3	26,4	27,9	1,5	27,3	0,4	0,8
VIII	4	-13,7	-12,0	1,7	-12,9	0,4	0,7	VIII	4	23,3	25,5	2,2	24,6	0,5	1,1

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$								Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*	I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*	III	*	*	*	*	*	*	*
VA	*	*	*	*	*	*	*	VA	*	*	*	*	*	*	*
VID	1	*	*	*	-20,3	*	*	VID	1	*	*	*	4,6	*	*
VIC	1	*	*	*	-20,4	*	*	VIC	1	*	*	*	6,5	*	*
VIB2	5	-20,4	-18,7	1,7	-19,6	0,3	0,7	VIB2	5	4,3	5,6	1,3	4,8	0,2	0,6
VIB1	1	*	*	*	-20,3	*	*	VIB1	1	*	*	*	6,0	*	*
VIA	*	*	*	*	*	*	*	VIA	*	*	*	*	*	*	*
VII	3	-19,6	-19,4	0,2	-19,5	0,1	0,1	VII	3	2,8	5,7	2,9	4,5	0,9	1,5
VIII	4	-21,1	-19,7	1,4	-20,3	0,3	0,6	VIII	4	3,1	5,6	2,5	4,8	0,6	1,1

Tabella 9: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Sus scrofa ferus*.

I campioni di cinghiale provengono dai livelli archeologici dall'VIII al VA ad esclusione del livello VIA, però in molti livelli (VIB1, VIC, VID e VA) è stato analizzato un solo campione ed è difficile fare considerazioni statistiche. Nei livelli più antichi non ci sono differenze tra il maiale e il cinghiale per tutti i segnali isotopici mentre per i livelli successivi, dove però il numero di osservazioni è esiguo, risultano diversi. Per $\delta^{15}\text{N}$ il test però potrebbero essere inficiati dalla presenza di valori anomali (outliers) di *Sus domesticus* per livello (VIII e VII), che si distaccano dagli altri e mostrano valori più negativi simili a quelli dei cinghiali, lo stesso avviene per il segnale isotopico dell'ossigeno.

Nei maiali i valori medi del carbonio (collagene e carbonato) sono abbastanza omogenei e la differenza tra il valore massimo e minimo delle medie è di 1,3‰ per il carbonato e 1,5‰ per il collagene.

I segnali dell'ossigeno e dell'azoto invece mostrano una maggior variabilità del valore medio. Dato che il maiale è un animale, che se allevato è particolarmente in simbiosi con l'uomo, per poter capire se il segnale isotopico sia correlato all'attività umana è necessario confrontare i valori isotopici delle due specie. Per i livelli Tardo Calcolitici (1-5) il confronto uomo-maiale rivela differenze statisticamente significative ($p < 0,05$) solamente per il segnale del $\delta^{15}\text{N}$, il maiale mostra valori mediamente meno positivi rispetto all'uomo. Il valore medio minimo è osservabile nel livello VID (4,5‰) mentre il più positivo nel livello VIC (7,4‰ 1 cp.). Dai livelli dell'Età del Bronzo iniziano ad esserci delle differenze anche negli altri segnali isotopici.

Sus scrofa domesticus L. 1758															
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$								Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	-12,8	*	*	I	1	*	*	*	27,2	*	*
III	5	-13,6	-12,3	1,3	-13,0	0,2	0,5	III	5	24,2	25,9	1,7	24,9	0,3	0,7
VA	5	-13,8	-12,7	1,1	-13,2	0,2	0,5	VA	5	23,9	24,9	1,0	24,5	0,2	0,4
VID	4	-14,3	-13,5	0,8	-13,8	0,2	0,4	VID	4	24,1	27,6	3,5	26,5	0,8	1,7
VIC	1	*	*	*	-13,2	*	*	VIC	1	*	*	*	24,9	*	*
VIB2	4	-14,2	-12,1	2,1	-13,1	0,4	0,9	VIB2	4	24,7	25,9	1,2	25,2	0,3	0,5
VIB1	2	-12,6	-12,5	0,1	-12,6	0,0	0,1	VIB1	2	27,4	29,9	2,5	28,7	1,3	1,8
VIA	5	-13,2	-11,6	1,6	-12,5	0,3	0,7	VIA	5	23,9	28,9	5,0	25,6	0,9	1,9
VII	5	-13,5	-12,4	1,1	-13,1	0,2	0,5	VII	5	23,0	27,3	4,3	24,9	0,7	1,6
VIII	5	-14,0	-11,7	2,3	-12,8	0,4	1,0	VIII	5	24,3	28,4	4,1	25,6	0,7	1,6

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$								Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	-18,8	*	*	I	1	*	*	*	6,9	*	*
III	4	-19,7	-19,0	0,7	-19,3	0,2	0,3	III	4	2,9	7,6	4,7	6,0	1,1	2,1
VA	5	-19,4	-19,0	0,4	-19,2	0,1	0,2	VA	5	5,9	7,9	2,0	6,8	0,3	0,7
VID	4	-19,7	-19,3	0,4	-19,5	0,1	0,2	VID	4	3,0	6,4	3,4	4,5	0,7	1,5
VIC	1	*	*	*	-20,3	*	*	VIC	1	*	*	*	7,4	*	*
VIB2	3	-20,1	-19,6	0,5	-19,9	0,2	0,3	VIB2	3	5,8	6,8	1,0	6,2	0,3	0,5
VIB1	1	*	*	*	-19,5	*	*	VIB1	1	*	*	*	5,4	*	*
VIA	5	-20,6	-18,7	1,9	-19,6	0,3	0,7	VIA	5	3,3	8,2	4,9	4,8	0,9	2,0
VII	5	-19,6	-19,3	0,3	-19,4	0,0	0,1	VII	5	4,5	7,3	2,8	6,4	0,5	1,1
VIII	5	-20,8	-19,5	1,3	-20,0	0,2	0,5	VIII	5	4,2	7,5	3,3	6,5	0,6	1,3

Tabella 10: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Sus scrofa domesticus*.

○ ***Canis lupus familiaris***

Sono stati analizzati 25 campioni provenienti da otto livelli archeologici (dal Tardo Calcolitico 1-2 al Medio Bronzo). Nei livelli VII e VID però è stato analizzato un solo campione di cane.

I valori isotopici del cane mostrano per alcuni livelli una variabilità elevata, per esempio nel livello VA l'intervallo di variazione dei valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ è di 4,2. Questa variabilità si riscontra anche nei segnali $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{15}\text{N}$ mentre è decisamente inferiore per il $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$. Questa dispersione dei valori fa sì che i test t non evidenzino differenze tra i vari livelli.

<i>Canis lupus familiaris</i> L. 1758							
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apelite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	6	-13,6	-9,4	4,2	-12,0	0,6	1,4
VID	1	*	*	*	-11,5	*	*
VIC	3	-13,3	-13,0	0,3	-13,2	0,09	0,15
VIB2	2	-14,1	-11,3	2,8	-12,7	1,4	2,0
VIB1	2	-11,7	-11,7	0,0	-11,7	0,0	0,0
VIA	5	-12,1	-8,9	3,2	-11,2	0,6	1,3
VII	1	*	*	*	-13,2	*	*
VIII	5	-14,5	-12,5	2	-13,2	0,4	0,9

Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apelite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	6	23,8	25,8	2,0	24,8	0,3	0,8
VID	1	*	*	*	27,9	*	*
VIC	3	25,1	28,4	3,3	26,5	1,0	1,7
VIB2	2	26,6	28,4	1,8	27,5	0,9	1,3
VIB1	2	24,4	26,1	1,7	25,3	0,9	1,2
VIA	5	25,1	27,3	2,2	25,9	0,4	0,9
VII	1	*	*	*	25,9	*	*
VIII	5	25,4	29,5	4,1	27,6	0,7	1,6

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	5	-19,2	-18,0	1,2	-18,7	0,2	0,5
VID	1	*	*	*	-17,8	*	*
VIC	3	-20,1	-19,1	1,0	-19,6	0,3	0,5
VIB2	2	-18,8	-18,5	0,3	-18,7	0,2	0,2
VIB1	2	-19,1	-18,1	1,0	-18,6	0,5	0,7
VIA	5	-19,6	-18,7	0,9	-19,0	0,2	0,4
VII	1	*	*	*	-18,9	*	*
VIII	5	-20,1	-18,7	1,4	-19,3	0,2	0,5

Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	*	*	*	*	*	*	*
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	5	7,2	8,4	1,2	7,8	0,2	0,4
VID	1	*	*	*	6,0	*	*
VIC	3	4,7	8,2	3,5	6,9	1,1	1,9
VIB2	2	7,8	8,0	0,2	7,9	0,1	0,1
VIB1	2	7,4	10,3	2,9	8,9	1,5	2,1
VIA	5	6,5	10,5	4,0	8,5	0,8	1,9
VII	1	*	*	*	7,3	*	*
VIII	5	5,5	9,1	3,6	7,3	0,6	1,3

Tabella 11: Parametri di statistica descrittiva per la specie *Canis lupus familiaris*.

Essendo il cane un animale che vive da millenni a stretto contatto con l'uomo, la sua addomesticazione infatti è stimata attorno a 30.000 anni fa (Drake et al., 2015), è necessario confrontare i valori isotopici con quelli dell'uomo. Eseguendo i test statistici si osserva che nei livelli dal Tardo Calcolitico al Bronzo Antico I tra uomo e cane per tutti i segnali isotopici non ci sono differenze significative. Nel Bronzo antico II l'unico segnale che mostra una differenza significativa tra cane e uomo è il $\delta^{15}\text{N}$ ($p=0,041$), per i livelli seguenti per quasi tutti i segnali isotopici si rivelano differenze. Questo fa ipotizzare che l'uomo e il cane abbiano vissuto in stretta simbiosi almeno fino al Bronzo Antico II, periodo fino al quale gli

abitanti o parte di essi sono dediti alla pastorizia e poi probabilmente avviene un cambiamento.

Rispetto all'uomo il cane presenta sempre valori di $\delta^{15}\text{N}$ meno positivi ma più elevati del maiale, altro animale onnivoro molto rappresentato nel sito archeologico. I valori di $\delta^{18}\text{O}$ del cane sono i più positivi del gruppo degli onnivori, tranne che nel livello VIB1 in cui il maiale presenta una evidente anomalia positiva. Per i valori del carbonio (coll e carb) il cane si posiziona mediamente verso valori più positivi rispetto all'uomo e al maiale.

○ ***Homo sapiens***

Sono stati analizzati 146 reperti umani provenienti da nove livelli archeologici (livello III nessun campione). Dal livello più recente (Tardo Romano e Bizantino) provengono più della metà dei campioni umani analizzati, in questo periodo una parte del sito era occupata da una necropoli. Nei livelli più antichi invece le sepolture portate alla luce sono: in un caso (VIB2) una fossa comune che conteneva le vittime di un probabile massacro (Erdal, 2012), una tomba cosiddetta reale (VIB1) in cui sono state rinvenute le spoglie di un uomo di rilievo per la comunità e quattro adolescenti probabilmente sacrificati per lui (Frangipane et al., 2001). Gli altri umani rinvenuti appartenenti ad altri livelli archeologici provengono da sepolture sparse all'interno del villaggio.

Dove possibile è stato eseguito un campionamento multiplo (3 campioni per individuo): il primo molare (M1), il terzo molare (M3) (o canino) e un osso (solitamente una costa).

Gli individui analizzati sono 76+16(NMI livello VIB2).

Nella tabella sottostante sono riportati in dettaglio.

Livello	N Homo
I	36
III	*
VA	4
VID	3
VIC	6
VIB2	16 (NMI)*
VIB1	6
VIA	1
VII	17
VIII	2

Tabella 12: Numero di individui umani analizzati in funzione della cronologia del sito.

Osservando i valori isotopici si può notare che l'uomo per $\delta^{18}\text{O}$ si posiziona, rispetto a tutti gli altri animali, verso valori meno positivi: questo dipende dal fatto che a differenza degli

animali l'uomo non beve acqua stagnante. I valori di $\delta^{15}\text{N}$ sono i più positivi dato che l'uomo si colloca in cima alla catena trofica.

Il valore medio massimo per $\delta^{18}\text{O}$ (26,4‰) è osservabile nei livelli più recenti (VA e I) mentre il minimo (24,3‰) nel Bronzo antico I (VIB1). Per l'azoto il valore medio massimo è misurato nel livello VIA (11,2‰), dove c'è una evidente anomalia positiva, mentre il minimo nel VID (7,7‰).

I valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ dell'uomo sono sempre più negativi rispetto agli erbivori ruminanti (differenza di circa 2‰), mentre la differenza è minore per i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$. Il valore medio massimo per $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ è osservabile nel livello VIB2 (-12,8‰) mentre il minimo nel livello più antico (-13,7‰).

Per il $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ il valore massimo medio è osservabile nel livello VA (-17,7‰) mentre il minimo nel livello VID (-19,7‰).

La dispersione dei valori è contenuta per i livelli antichi mentre, per tutti i segnali, c'è una grande dispersione dei valori nel livello Tardo Romano e Bizantino probabilmente per l'ampio arco cronologico coperto.

Homo sapiens L. 1758							
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$				Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$			
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	63	-14,3	-6,8	7,5	-12,3	0,2	1,4
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	6	-13,0	-10,4	2,6	-12,2	0,4	1,0
VID	4	-13,2	-12,0	1,2	-12,8	0,3	0,5
VIC	9	-13,7	-12,6	1,1	-13,3	0,1	0,4
VIB2	29	-13,8	-11,9	1,9	-12,8	0,1	0,5
VIB1	6	-13,4	-11,8	1,6	-12,6	0,2	0,6
VIA	1	*	*	*	-13,4	*	*
VII	26	-13,9	-10,4	3,5	-12,7	0,2	0,9
VIII	2	-13,7	-13,6	0,1	-13,7	0,0	0,1

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$				Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$			
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	63	-19,5	-15,6	3,9	-18,4	0,1	0,8
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	6	-18,2	-16,8	1,4	-17,7	0,2	0,5
VID	4	-20,0	-19,3	0,7	-19,7	0,1	0,3
VIC	9	-19,9	-18,7	1,2	-19,3	0,2	0,5
VIB2	26	-19,7	-18,5	1,2	-19,2	0,1	0,3
VIB1	3	-19,2	-18,9	0,3	-19,0	0,1	0,2
VIA	1	*	*	*	-19,0	*	*
VII	24	-20,3	-18,3	2,0	-19,2	0,1	0,5
VIII	2	-19,5	-18,9	0,6	-19,2	0,3	0,4

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$				Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$			
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	63	22,7	28,2	5,5	26,4	0,1	1,1
III	*	*	*	*	*	*	*
VA	6	25,2	27,7	2,5	26,4	0,4	1,0
VID	4	25,2	25,4	0,2	25,3	0,0	0,1
VIC	9	23,6	26,9	3,3	25,4	0,3	0,9
VIB2	29	23,6	28,0	4,4	25,9	0,2	1,3
VIB1	6	23,5	25,0	1,5	24,3	0,3	0,7
VIA	1	*	*	*	25,4	*	*
VII	26	23,8	27,5	3,7	25,5	0,2	1,1
VIII	2	24,5	25,2	0,7	24,9	0,4	0,5

Tabella 13: Parametri di statistica descrittiva per la specie Homo.

5.2.1 Erbivori ruminanti-Onnivori

In quest'ultimo paragrafo vengono sintetizzati i valori delle due tipologie maggiormente analizzate: gli erbivori non ruminanti e gli onnivori.

La categoria degli erbivori ruminanti comprende caprini, cervi, buoi e l'uro per un totale di 226 campioni, ovviamente il peso maggiore sarà dato dai caprini (143 campioni) mentre la categoria degli onnivori comprende i suini e i cani. Dagli onnivori è stato escluso l'uomo dato che attua differenti strategie alimentari rispetto agli animali sia nell'assunzione del cibo che dell'acqua.

Gli erbivori ruminanti dal punto di vista isotopico presentano una dispersione di valori abbastanza elevata: questo può essere dovuto dall'unione di diverse specie che dal punto di vista isotopico si comportano in maniera leggermente diversa.

I valori medi del $\delta^{13}\text{C}$ tra i vari livelli non si differenziano molto, infatti si distribuiscono in un intervallo di circa 1δ ; solo i campioni del livello VA mostrano delle differenze significative con quelli provenienti dai livelli più antichi e dal livello dell'Età del Ferro. Il valore medio di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ è $-11,5\text{‰}$, il valore più negativo è misurato nel livello III ($-12,0\text{‰}$) mentre il più positivo nel livello VA ($-11,1\text{‰}$). Anche per il $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ si possono fare le medesime osservazioni di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, il valore medio più negativo ($-19,3\text{‰}$) è osservabile, come nel carbonato nel livello III (e nel livello VIA), mentre il più positivo nel livello VA ($-18,1\text{‰}$), anche per questo segnale isotopico la variazione del valore medio nei livelli è di circa 1δ . Anche per il $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ il valore medio del livello VA mostra differenze significative con tutti gli altri livelli ad esclusione del VIA, VID e del livello Romano Bizantino.

I valori del $\delta^{15}\text{N}$ per gli erbivori ruminanti si distribuiscono in un intervallo minore ma il valore medio tra i vari livelli è più differenziato rispetto al carbonio (circa $1,5\delta$). Il valore minimo è osservabile nel livello più recente (I) mentre il più positivo nel livello VIC.

I valori del $\delta^{18}\text{O}$ dei ruminanti risultano essere i più dispersi, questo è dovuto al diverso metabolismo dell'animale, alla differente taglia e alla diversa modalità di assunzione dell'acqua. Il valore medio dei livelli è $28,4\text{‰}$, il valore medio minimo, misurato nel livello VII è $27,9\text{‰}$ mentre il più positivo $28,9\text{‰}$ (livello VIII).

Erbivori Ruminanti															
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$								Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	20	-13,0	-9,1	3,9	-11,3	0,3	1,3	I	20	25,4	31,6	6,2	28,6	0,4	2,0
III	13	-13,6	-10,6	3,0	-12,0	0,3	1,0	III	13	24,5	31,1	6,6	28,2	0,6	2,2
VA	21	-12,7	-9,0	3,7	-11,1	0,3	1,2	VA	21	24,8	31,5	6,7	28,7	0,5	2,1
VID	21	-16,5	-8,7	7,8	-11,4	0,4	1,7	VID	21	19,1	31,0	11,9	28,4	0,5	2,5
VIC	12	-13,2	-8,3	4,9	-11,2	0,4	1,4	VIC	12	26,2	30,6	4,4	28,8	0,4	1,3
VIB2	23	-14,1	-8,8	5,3	-11,5	0,3	1,5	VIB2	23	24,6	30,4	5,8	28,1	0,3	1,4
VIB1	32	-14,7	-9,5	5,2	-12,0	0,2	1,1	VIB1	32	24,9	31,4	6,5	28,1	0,3	1,6
VIA	18	-13,4	-9,1	4,3	-11,3	0,3	1,4	VIA	18	26,9	30,7	3,8	28,6	0,2	0,9
VII	32	-14,5	-8,9	5,6	-11,5	0,2	1,2	VII	32	25,0	33,4	8,4	27,9	0,3	1,8
VIII	34	-13,9	-9,9	4,0	-11,8	0,2	1,0	VIII	34	24,7	33,8	9,1	28,9	0,3	1,9

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$								Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	16	-20,0	-14,7	5,3	-18,7	0,4	1,6	I	16	3,0	7,2	4,2	4,9	0,3	1,4
III	13	-20,4	-18,4	2,0	-19,3	0,2	0,7	III	13	3,9	7,6	3,7	5,2	0,3	1,0
VA	16	-20,0	-16,3	3,7	-18,1	0,3	1,0	VA	16	2,9	9,1	6,2	6,2	0,4	1,8
VID	17	-19,7	-15,4	4,3	-18,4	0,3	1,1	VID	17	3,5	8,1	4,6	5,7	0,3	1,4
VIC	10	-20,2	-17,9	2,3	-19,1	0,2	0,8	VIC	10	5,2	8,4	3,2	6,5	0,3	1,0
VIB2	23	-20,6	-16,5	4,1	-19,0	0,2	1,0	VIB2	23	2,7	8,4	5,7	5,4	0,3	1,5
VIB1	22	-20,7	-17,1	3,6	-19,1	0,2	0,8	VIB1	21	3,5	8,9	5,4	6,0	0,3	1,5
VIA	14	-20,8	-17,0	3,8	-19,3	0,3	1,0	VIA	14	4,0	8,7	4,7	6,4	0,4	1,5
VII	30	-20,6	-16,9	3,7	-18,8	0,2	0,9	VII	30	3,1	9,3	6,2	5,8	0,3	1,7
VIII	34	-20,4	-17,3	3,1	-19,1	0,1	0,8	VIII	34	3,4	8,3	4,9	5,7	0,2	1,3

Tabella 14: Parametri di statistica descrittiva per gli erbivori ruminanti.

Gli onnivori presentano una dispersione minore rispetto ai ruminanti probabilmente perché comprendono un numero inferiore di specie.

I valori medi di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ si distribuiscono in un intervallo di 1,3‰ dove il valore più negativo (-13,2‰) è osservabile nel livello VII mentre il più positivo (-11,9‰) nel livello VIA. Nel livello VIA, VIB1 e VIB2 i valori sono più positivi mentre negli altri livelli l'andamento è pressoché costante. Il livello VIA è statisticamente differente dagli altri. A differenza dei ruminanti, gli onnivori non mostrano lo stesso andamento di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$. Il valore meno negativo $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ si osserva nel livello Romano e Bizantino (-18,8‰) mentre il più negativo nel livello più antico (VIII) e nel VIC (-19,9‰). Come si può osservare la variabilità del valore medio è molto contenuta (<1‰). L'azoto e l'ossigeno, rispetto al carbonio, presentano una variazione dei valori medi nei livelli maggiore: 2,5‰ per entrambi. Il valore medio più positivo di ^{15}N è osservabile nei livelli VIB1 e VA (7,3‰) mentre il minore nel livello VID (4,8‰). L'ossigeno presenta il valore medio più positivo nel livello più recente (27,2‰) e il minimo nel livello VA (24,7‰). Il $\delta^{18}\text{O}$ di questo livello (VA) si differenzia, così come il $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, da tutti gli altri livelli escluso il VIB2 e il III.

Onnivori															
Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}}$								Statistiche descrittive $\delta^{18}\text{O}_{\text{apatite}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	-12,8	*	*	I	1	*	*	*	27,2	*	*
III	5	-13,6	-12,3	1,3	-13,0	0,2	0,5	III	5	24,2	25,9	1,7	24,9	0,3	0,7
VA	12	-13,8	-9,4	4,4	-12,6	0,3	1,2	VA	12	23,8	25,8	2,0	24,7	0,2	0,6
VID	6	-14,3	-11,4	2,9	-13,0	0,5	1,2	VID	6	24,1	27,9	3,8	26,5	0,6	1,5
VIC	5	-13,3	-12,2	1,1	-13,0	0,2	0,4	VIC	5	24,9	28,4	3,5	26,0	0,6	1,4
VIB2	11	-14,2	-11,0	3,2	-12,7	0,4	1,2	VIB2	11	24,4	30,2	5,8	25,9	0,5	1,8
VIB1	5	-12,6	-10,4	2,2	-12,5	0,4	0,9	VIB1	5	24,4	29,9	5,5	26,5	1,0	2,3
VIA	10	-13,2	-8,9	4,3	-11,9	0,4	1,2	VIA	10	23,9	28,9	5,0	25,8	0,4	1,4
VII	9	-14,0	-12,4	1,6	-13,2	0,2	0,5	VII	9	23,0	27,9	4,9	25,8	0,5	1,6
VIII	14	-14,5	-11,7	2,8	-13,0	0,2	0,8	VIII	14	23,3	29,5	6,2	26,0	0,5	1,9

Statistiche descrittive $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$								Statistiche descrittive $\delta^{15}\text{N}_{\text{collagene}}$							
Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.	Livello	N	Minimo	Massimo	Range	Media	Errore std. della media	Dev. std.
I	1	*	*	*	-18,8	*	*	I	1	*	*	*	6,9	*	*
III	4	-19,7	-19,0	0,7	-19,3	0,2	0,3	III	4	2,9	7,6	4,7	6,0	1,1	2,1
VA	10	-19,4	-18,0	1,4	-19,0	0,1	0,4	VA	10	5,9	8,4	2,5	7,3	0,3	0,8
VID	6	-20,3	-17,8	2,5	-19,4	0,3	0,8	VID	6	3,0	6,4	3,4	4,8	0,5	1,3
VIC	5	-20,4	-19,1	1,3	-19,9	0,2	0,6	VIC	5	4,7	8,2	3,5	6,9	0,6	1,4
VIB2	10	-20,4	-18,5	1,9	-19,5	0,2	0,7	VIB2	10	4,3	8,0	3,7	5,9	0,4	1,3
VIB1	4	-20,3	-18,1	2,2	-19,3	0,5	0,9	VIB1	4	5,4	10,3	4,9	7,3	1,1	2,2
VIA	10	-20,6	-18,7	1,9	-19,3	0,2	0,6	VIA	10	3,3	10,5	7,2	6,6	0,9	2,7
VII	9	-19,6	-18,9	0,7	-19,4	0,1	0,2	VII	9	2,8	7,3	4,5	5,9	0,5	1,5
VIII	14	-21,1	-18,7	2,4	-19,9	0,2	0,7	VIII	14	3,1	9,1	6,0	6,3	0,4	1,6

Tabella15: Parametri di statistica descrittiva per gli onnivori.

Facendo un confronto tra i valori medi di onnivori e erbivori ruminanti si può osservare che i primi presentano sempre valori più negativi rispetto ai ruminanti per i valori del carbonio (carb e coll) e dell'ossigeno mentre più positivi per $\delta^{15}\text{N}$. La differenza media tra le due tipologie di specie per $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ è di 1,3‰. Nei livelli VIA e VIB1 la differenza è minore (0,5‰). Anche per $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ nei livelli VA, VIB1, VIB2 e III la differenza tra onnivori e ruminanti è minore del valore medio (0,5‰).

Il segnale che mostra una differenza maggiore è l'ossigeno, la differenza media è di 2,5‰. Il livello che mostra la differenza più elevata è il livello VA (4‰).

Per i valori dell'azoto la differenza media tra le due tipologie è 0,6‰. La differenza minore è osservabile nei livelli VII e VIA. Nel livello VID si osserva una anomalia: gli onnivori presentano valori meno positivi rispetto ai ruminanti (4,8‰ i primi, 5,7‰ i secondi).

L'uomo rispetto a questi due gruppi si colloca mediamente verso valori più negativi per i segnali isotopici di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ e $\delta^{18}\text{O}$ mentre verso valori più positivi per $\delta^{15}\text{N}$. Per $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ invece si colloca tra i ruminanti, con valori più positivi, e gli onnivori che presentano valori più negativi, va ricordato che a differenza di $^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, $^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ restituisce solo la componente proteica della dieta e non quella energetica e lipidica dunque si può supporre che l'uomo

assumesse una frazione proteica più negativa in $\delta^{13}\text{C}$ rispetto agli animali onnivori (escluso livello VID).

5.3 $\delta^{18}\text{O}$ acqua ambientale

Come già descritto nel capitolo riguardante la ricostruzione del clima e degli ambienti, dal valore isotopico dell'ossigeno del fosfato è possibile ricalcolare la composizione isotopica dell'acqua ambientale ($\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$) utilizzando delle equazioni formulate per diverse specie di mammiferi (Longinelli e Deganello, 1999; Iacumin e Venturelli, 2015). Le equazioni utilizzate sono riportate nel capitolo 4.3

Nella tabella sottostante vengono riportati i valori medi dell'acqua ambientale calcolata per l'uomo e per gli animali in ogni livello del sito archeologico. Il valore degli animali è stato ottenuto mediando i valori di tutte le specie analizzate.

Livello	$\delta^{18}\text{O}_{\text{water (v-smow)}}$	
	Uomo	Animali
I	-7,8	*
III	*	-5,3
VA	-7,0	-4,4
VID	-8,4	-5,4
VIC	-8,8	-7,2
VIB2	*	-6,4
VIB1	-10,2	-7,4
VIA	-9,5	-6,4
VII	-9,3	-6,0
VIII	-8,9	-5,9

Tabella 16: Valori di $\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ in funzione della cronologia del sito.

La variazione del $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua ambientale ottenuta dagli animali segue un andamento concordante con quello ottenuto dai campioni umani. Gli animali mostrano un arricchimento medio di circa 3‰.

5.4 $\delta^{13}\text{C}$ dieta

Dai valori di $\delta^{13}\text{C}$ dell'apatite è possibile calcolare i valori della dieta ($\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}$) attraverso l'equazione proposta da Iacumin et al. (2014): $\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}} = 0,98838 * \delta^{13}\text{C}_{\text{apatite}} - 11,6$.

Nelle tabelle (Tab 17-18) sono riportati i valori della dieta in funzione della cronologia (dal più recente al più antico) per tutti gli animali analizzati.

L'andamento del valore medio ovviamente ricalca quello del carbonio nell'apatite: il *Bos taurus* presenta valori meno negativi rispetto alle altre specie, una differenza in positivo di circa 2‰.

<i>Sus scrofa domesticus</i>			<i>Homo sapiens</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (media‰)	Dev. std.	Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (media‰)	Dev. std.
I	-24,7	*	I	-24,2	1,4
III	-24,8	0,4	III	*	*
VA	-25,1	0,4	VA	-24,0	0,9
VID	-25,6	0,4	VID	-24,7	0,5
VIC	-25,1	*	VIC	-25,2	0,4
VIB2	-24,9	0,9	VIB2	-24,6	0,4
VIB1	-24,4	0,0	VIB1	-24,4	0,5
VIA	-24,3	0,7	VIA	-25,2	*
VII	-25,0	0,4	VII	-24,5	0,9
VIII	-24,7	1,0	VIII	-25,5	0,1

<i>Canis lupus familiaris</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (media‰)	Dev. std.
I	*	*
III	*	*
VA	-23,8	1,4
VID	-23,4	*
VIC	-25,0	0,2
VIB2	-24,6	2,0
VIB1	-23,6	0,0
VIA	-23,1	1,3
VII	-25,0	*
VIII	-25,0	0,9

Tabella 17: Valori del $\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ in funzione della cronologia del sito.

<i>Bos taurus</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (media‰)	Dev. std.
I	-22,7	0,6
III	-23,1	0,8
VA	-21,4	0,5
VID	-21,2	0,8
VIC	-23,2	1,5
VIB2	-20,9	0,3
VIB1	-23,4	1,5
VIA	-21,9	0,9
VII	-22,6	1,1
VIII	-22,3	0,4

<i>Bos primigenius</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (media‰)	Dev. std.
I	*	*
III	*	*
VA	*	*
VID	*	*
VIC	*	*
VIB2	-23,6	0,8
VIB1	*	*
VIA	*	*
VII	-23,1	0,8
VIII	-22,8	1,3

<i>Caprini</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (media‰)	Dev. std.
I	-23,3	1,4
III	-24,4	0,8
VA	-23,3	0,7
VID	-23,9	1,4
VIC	-23,0	1,3
VIB2	-23,8	0,6
VIB1	-23,9	0,9
VIA	-23,4	1,1
VII	-23,5	1,3
VIII	-23,9	0,6

<i>Cervus elaphus</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}$ (media‰)	Dev. std.
I	*	*
III	*	*
VA	-24,4	0,2
VID	-23,9	*
VIC	-23,0	1,3
VIB2	-25,0	0,8
VIB1	-24,6	0,3
VIA	-24,7	0,5
VII	-23,9	0,8
VIII	-24,5	0,9

<i>Lepus capensis</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}$ (media‰)	Dev. std.
I	-25,5	*
III	-23,8	1,7
VA	-24,6	0,2
VID	-24,9	1,0
VIC	-25,0	1,1
VIB2	-25,5	0,2
VIB1	-26,5	1,1
VIA	-21,9	1,0
VII	-25,7	1,5
VIII	-24,4	1,3

<i>Sus scrofa ferus</i>		
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}$ (media‰)	Dev. std.
I	*	*
III	*	*
VA	-25,2	*
VID	-23,3	*
VIC	-24,0	*
VIB2	-24,2	1,3
VIB1	-24,9	*
VIA	*	*
VII	-25,0	0,7
VIII	-24,8	0,7

Tabella 18: Valori del $\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ in funzione della cronologia del sito.

PARTE IV

ANALISI DEI DATI

6- STATO DI CONSERVAZIONE DEI REPERTI

6.1 Collagene

Per valutare il grado di conservazione del collagene si calcola il rapporto C/N in peso percentuale: deve essere compreso tra 2,9 e 3,6 (De Niro e Epstein, 1981; Ambrose, 1990). Si verifica inoltre il rendimento del collagene, cioè il rapporto tra mg di collagene estratto rispetto alla quantità in g dell'osso sottoposto al processo di estrazione. In un osso attuale questo rapporto è di circa 250 mg/g, mentre per le ossa antiche è variabile ma comunque dovrebbe essere maggiore o uguale a 50 mg/g.

La quantità di collagene estratto per quasi tutti i campioni si è rivelata sufficiente per l'analisi isotopica. I rendimenti ottenuti così come le percentuali elementari di C e N indicano che i campioni provenienti da Arslantepe sono ben conservati (tabella completa in Appendice 7)

I reperti che non presentavano i requisiti suggeriti da Ambrose (1990) sono stati eliminati (48 campioni su 515; 9,3%).

Per avere una ulteriore conferma e poter affermare che i valori misurati non siano stati interessati da fenomeni diagenetici, e dunque non alterati, i valori isotopici di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ sono stati messi in relazione con il rendimento (mg/g). Tra i valori isotopici e il rendimento non deve sussistere nessuna correlazione. Per i campioni analizzati il fattore di correlazione (R^2) è pari a zero sia per $\delta^{13}\text{C}$ che $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 26).

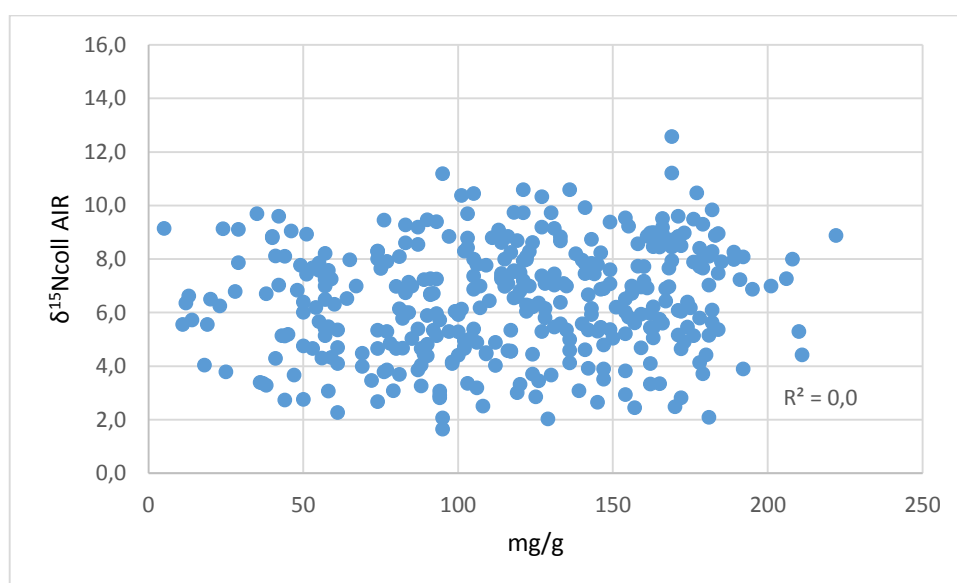


Figura 26: Correlazione tra il rendimento del collagene mg/g e $\delta^{15}\text{N}$.

Anche con il rapporto C/N si possono eseguire lo stesso tipo di osservazioni per valutare lo stato di conservazione dei reperti; anche in questo caso la correlazione è stata eseguita sia

con $\delta^{13}\text{C}$ che $\delta^{15}\text{N}$ e il fattore di correlazione per entrambe le variabili è prossimo allo zero (Fig. 27).

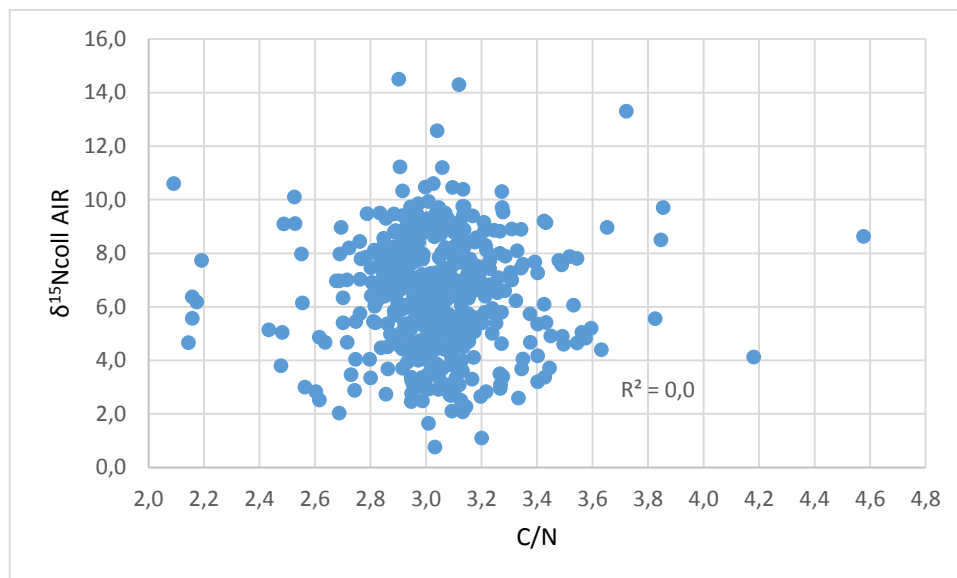


Figura 27: Correlazione tra il rapporto C/N e $\delta^{15}\text{N}$.

6.2 Carbonato

Per valutare se la frazione inorganica dei campioni abbia subito alterazione diagenetica è stata misurata la quantità di CO_2 estratta da ogni apatite attraverso un manometro Baratron ad altissima precisione (Model 600 Barocel, BOC EDWARDS) e un volume calibrato.

La quantità di CO_2 in peso ricavata da 376 misurazioni è del $3,41\% \pm 0,15$, valore non distante da quello delle ossa moderne (Elliott, 2002). La quantità media di carbonato presente nell'apatite biogenica è di $2,30 \text{ mg } (\text{CO}_3^{2-})$, (Tabella completa in Appendice 6).

Inoltre per circa 150 campioni sono state eseguite misure di $\delta^{18}\text{O}$ oltre che sul gruppo CO_3 anche sul gruppo PO_4 dell'idrossiapatite biogenica.

Come già spiegato nel capitolo 4.3, anche il confronto fra $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}/\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ permette di valutare lo stato di conservazione della frazione inorganica del reperto (Tabella completa in Appendice 7), dato che tale rapporto è pressoché costante ($\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{ph}} + \sim 9\text{‰}$).

Se nel reperto c'è relazione fra $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}/\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ molto probabilmente non c'è stata alterazione, in caso contrario il fosfato potrebbe non essere ancora stato alterato; il carbonato si altera più facilmente del fosfato a causa della maggiore affinità di legame dell' ^{18}O con il fosfato rispetto al carbonato.

In figura 28 si può osservare la correlazione tra i valori isotopici dei campioni studiati per entrambi i segnali; i campioni di scarsa qualità sono stati eliminati dalla trattazione sulla base di un calcolo statistico.

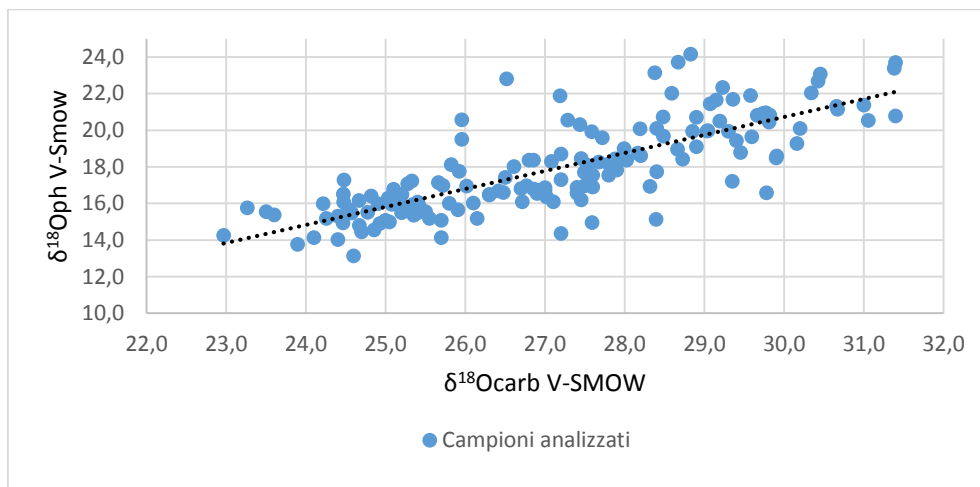


Figura 28: Correlazione tra i valori del $\delta^{18}\text{O}_{\text{ph}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$.

Dopo aver eseguito queste misurazioni sulla componente inorganica si può affermare che, così come per il collagene, anche il carbonato è ben conservato nella maggior parte dei campioni misurati provenienti da Arslantepe.

7- RICOSTRUZIONE PALEONUTRIZIONALE E TECNICHE DI ALLEVAMENTO

I valori isotopici del carbonio (apatite e collagene) forniscono informazioni sulla paleodietà ma con delle differenze: l'apatite restituisce la composizione della dieta nella sua totalità (proteine, lipidi, zuccheri) mentre il collagene è sbilanciato verso la parte proteica.

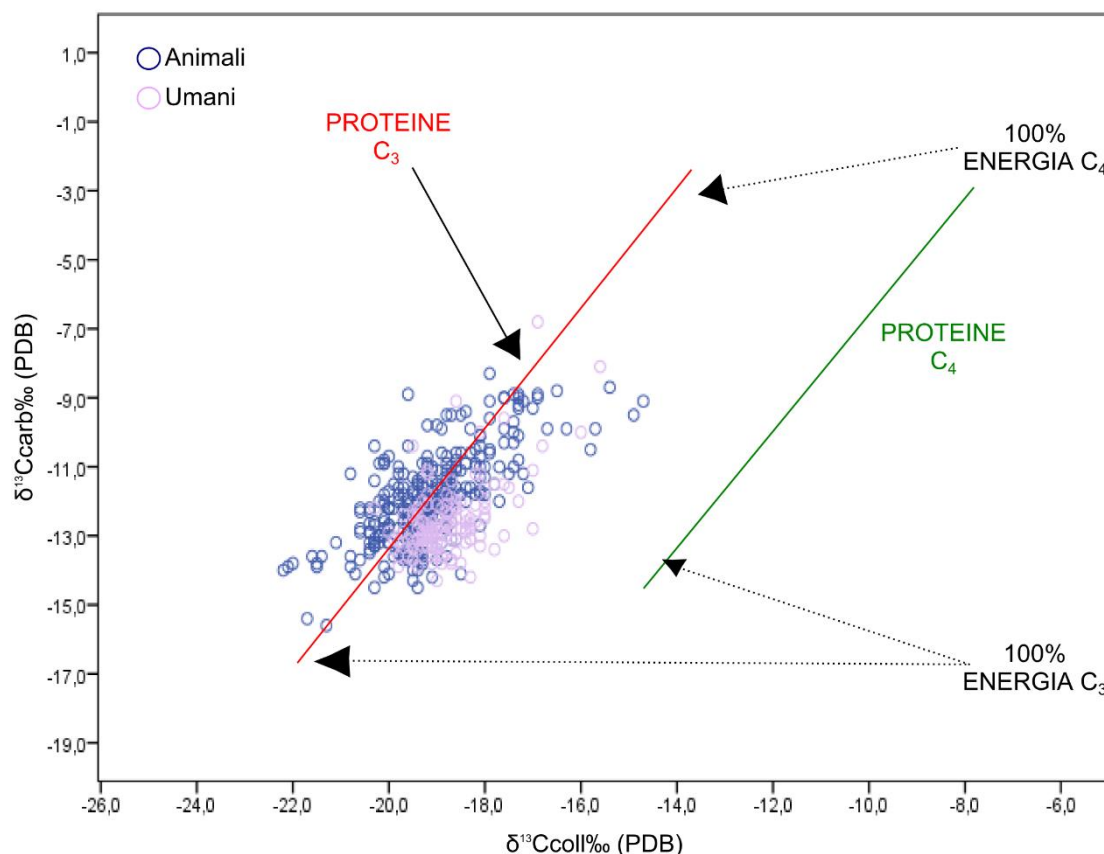


Figura 29: Correlazione dei valori di tutti i campioni analizzati del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ per la ricostruzione della paleodietà secondo il modello di Kellner e Schoeninger (2007).

I due valori ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) sono stati correlati nel grafico di Fig. 29 nel quale sono state riportate le rette per gli umani secondo il modello di Kellner e Schoeninger (2007) che, dal punto di vista isotopico, discriminano tra proteine derivanti da piante C_3 e quelle provenienti da piante C_4 . Nessun tipo di effetto trofico, né di dipendenza dalle dimensioni dell'individuo sembrerebbero interferire con queste relazioni. Oltre agli umani, in questo grafico sono stati riportati gli animali studiati e, osservando la disposizione dei campioni, la base della dieta è costituita principalmente da proteine provenienti da piante con ciclo fotosintetico C_3 ; tuttavia, data la collocazione di alcuni campioni in un campo intermedio tra le rette indicanti proteine C_3 e C_4 , non si può escludere la presenza di C_4 .

Per valutare la presenza di pesce nella dieta è necessario considerare anche i valori di $\delta^{15}\text{N}$. In ambiente marino le catene trofiche presentano più passaggi rispetto agli ambienti

terrestri e, dunque, l'ingestione di pesci marini positivizza sia il valore di $\delta^{15}\text{N}$ sia $\delta^{13}\text{C}$. Tuttavia i pesci in posizione trofica non elevata presentano valori di azoto simili a quelli degli animali terrestri. Per rivelarne la presenza è utile osservare se c'è una correlazione positiva tra i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Se questa correlazione è presente, è probabile nella dieta una componente marina. Trovandoci vicino all'Eufrate è possibile che i pesci consumati siano d'acqua dolce. E' stato possibile analizzare due campioni di *Esox lucius* (luccio), un pesce carnivoro molto probabilmente proveniente dal fiume Eufrate, rinvenuti in due livelli del sito archeologico (VIII e III). I valori sono riassunti nella tabella 19. Come si può osservare, presentano valori di carbonio e azoto abbastanza elevati. Da osservare che alcuni campioni di faune terrestri hanno valori simili e addirittura più elevati (Fig. 30).

<i>Esox lucius</i>				
Livello	$\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$	$\delta^{15}\text{N}$
III	-8,1	25,7	-18,3	9,1
VIII	-9,2	25,1	-17,7	9,2

Tabella 19: Valori isotopici dei pesci analizzati (*Esox lucius*) provenienti dal sito di Arslantepe.

Per poter capire se la dieta umana fosse caratterizzata oltre che dall'assunzione di piante C_3 , principalmente sotto forma di cereali (nel sito sono stati rinvenuti principalmente orzo e farro; Masi, 2014), anche da proteine animali, è utile mettere a confronto i valori di $\delta^{15}\text{N}$ dell'uomo e degli animali. L'uomo presenta valori di $\delta^{15}\text{N}$ arricchiti rispetto all'animale mediamente del 3,3‰. Questo indica che gli animali analizzati molto probabilmente erano una componente della dieta umana, anche se alcuni valori delle faune si sovrappongono a quelli dell'uomo.

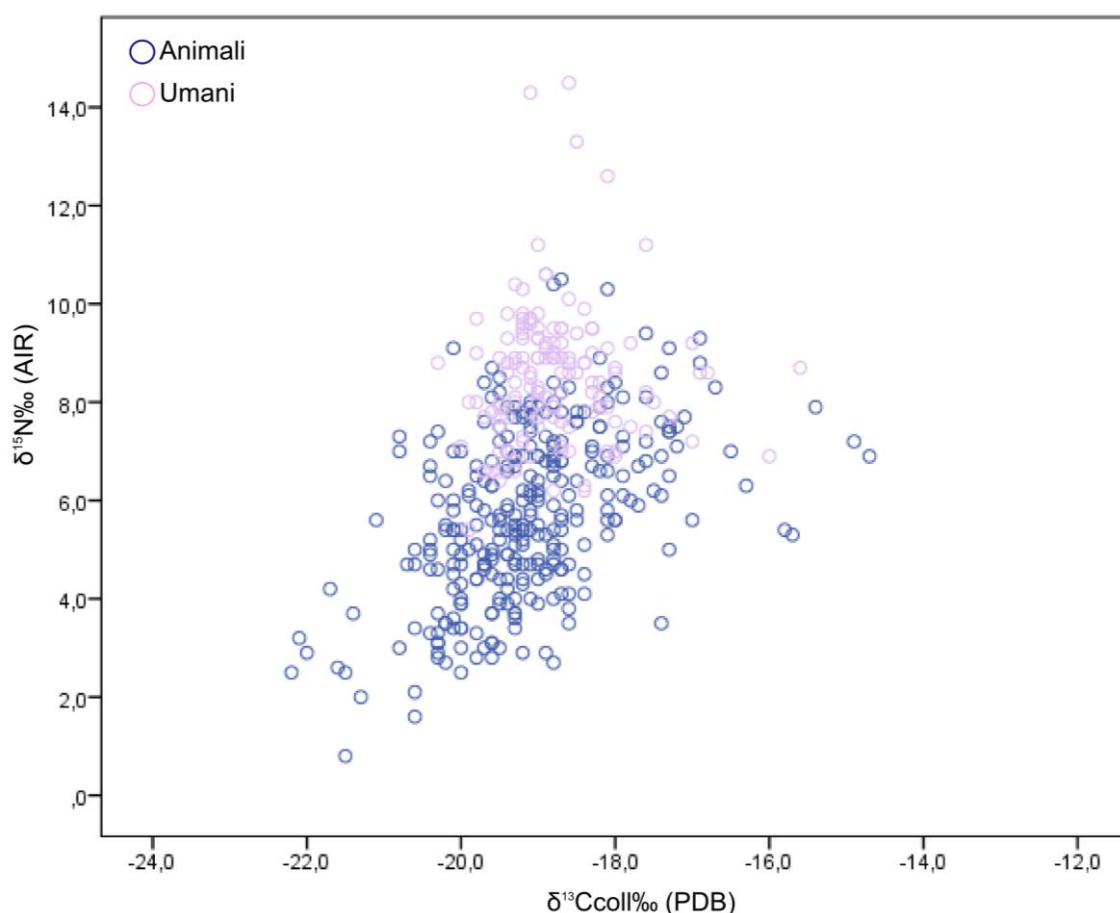


Figura 30: Andamento dei valori di tutti i campioni analizzati del $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ rispetto al $\delta^{15}\text{N}$ per osservare il livello trofico.

Per poter capire i cambiamenti di abitudini alimentari nell'intervallo temporale di occupazione del sito archeologico di Arslantepe è necessario analizzare i valori isotopici mettendo in risalto i livelli in cui gli animali, gli umani o entrambi mostrano delle caratteristiche diverse dall'andamento generale sopradescritto. È utile inoltre analizzare se vi sono stati dei cambiamenti nella tipologia di allevamento delle specie domestiche che possono aver influenzato il comportamento alimentare dell'uomo.

Analizziamo separatamente gli animali dall'uomo

Nella discussione che segue viene considerato il valore di $\sim -21\text{‰}$ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$) come valore limite tra una dieta costituita esclusivamente da piante C_3 ed una dieta in cui insieme alle C_3 è presente una componente C_4 . Bisogna sempre considerare che l'incertezza associata al calcolo del valore della dieta è di 0,79‰.

Dalla letteratura è possibile osservare che i valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ ricavati da resti carbonizzati di due cereali C_3 , orzo e farro, provenienti dai livelli dell'età del bronzo di Arslantepe sono rispettivamente -22,4‰ e -21,4‰ (Masi, 2014).

I buoi dei livelli VIA, VIB2, VID e VA presentano una dieta con un valore medio di ~ -21 forse riconducibile all'utilizzo di una piccola percentuale di piante C_4 . Anche negli altri livelli alcuni campioni di bue presentano valori in cui è ipotizzabile una componente C_4 pur presentando un valore medio della dieta più negativo (Fig. 31).

Solamente un uro di quelli analizzati (livello VIII) mostra una possibile componente di C_4 nella dieta.

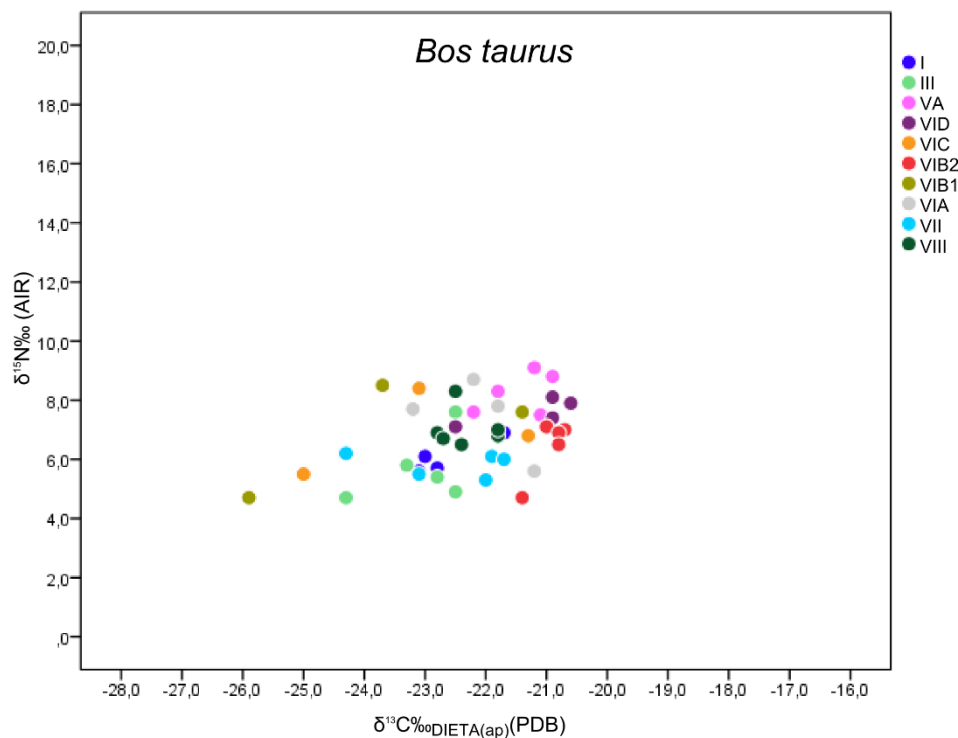


Figura 31: Valori dei campioni dei buoi analizzati $\delta^{15}N$ Vs $\delta^{13}C_{DIETA(ap)}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

La variabilità modesta dei valori isotopici del carbonio del bue domestico (valore medio fra i diversi livelli 2,2‰ -carbonato-, 1,8‰ -collagene- vedi tabelle nel capitolo dedicato ai risultati) e dell'azoto (2,2‰) suggerisce che la loro dieta non fosse molto varia: ne può derivare che la zona in cui vivevano era ristretta. Questo è supportato anche dai valori piuttosto elevati di $\delta^{15}N$, soprattutto per i livelli VIA, VID e VA, che fanno pensare a un'autoconcimazione dei terreni sui quali pascolavano.

Una maggiore dispersione di tutti i segnali isotopici si può osservare nel livello VIB1 (es. 4,6‰ -carbonato-): questo può indicare una maggiore mobilità di questi bovini riconducibile alla forte impronta pastorale del villaggio di questo periodo, oppure alla minor importanza dell'allevamento dei buoi nell'economia del villaggio che, in parte, potrebbero essere tornati liberi di pascolare nei campi.

I caprini presentano un valore medio dei segnali di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ di 5,5‰ e -23,6‰ più negativo rispetto ai bovini di ~1 unità δ . Anche in questo caso alcuni campioni presentano dei valori della dieta tra -20 e -22 che farebbero pensare a una piccola percentuale di risorse C_4 (Fig. 32). In questo caso, gli animali non sono riconducibili a dei livelli specifici.

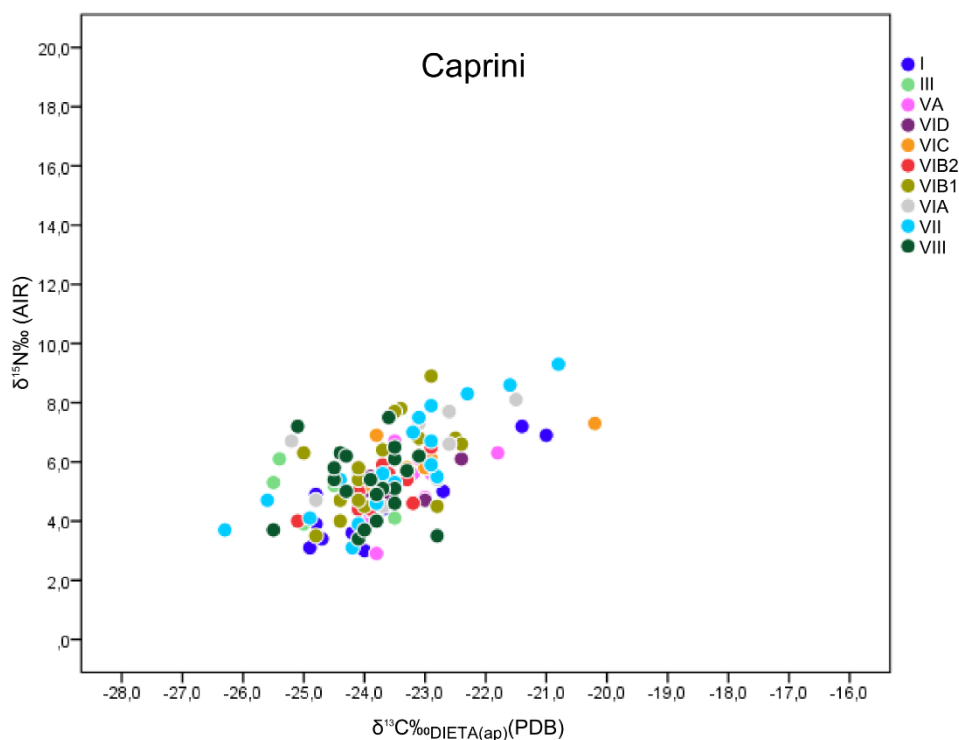


Figura 32: Valori dei campioni dei caprini (capre e pecore) analizzati $\delta^{15}\text{N}$ Vs $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIETA(ap)}}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

I caprini mostrano una variabilità dei valori isotopici maggiore rispetto ai buoi (differenza min-max $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ 2,7‰, differenza min-max $\delta^{15}\text{N}$ 3,7‰). Anche questo va a favore di una differenziazione nella pratica di allevamento tra le due specie. I caprini probabilmente venivano allevati in grandi greggi che occupavano zone ampie. Nel periodo Romano e Bizantino la dispersione dei valori aumenta, soprattutto per il carbonio del collagene (5,3‰): questo può indicare un allargamento dell'area di pascolo delle greggi e, dunque, una maggior varietà nell'alimentazione, oppure una frammentazione delle greggi, cioè piccoli gruppi di caprini che occupano ambienti diversi.

I cervi reali (*Cervus elaphus*) probabilmente vivevano in boschi con radure dove crescevano esclusivamente piante C_3 . Il valore medio della dieta è di -24,4‰. La sua presenza all'interno del sito è giustificata con la pratica della caccia (Fig. 33).

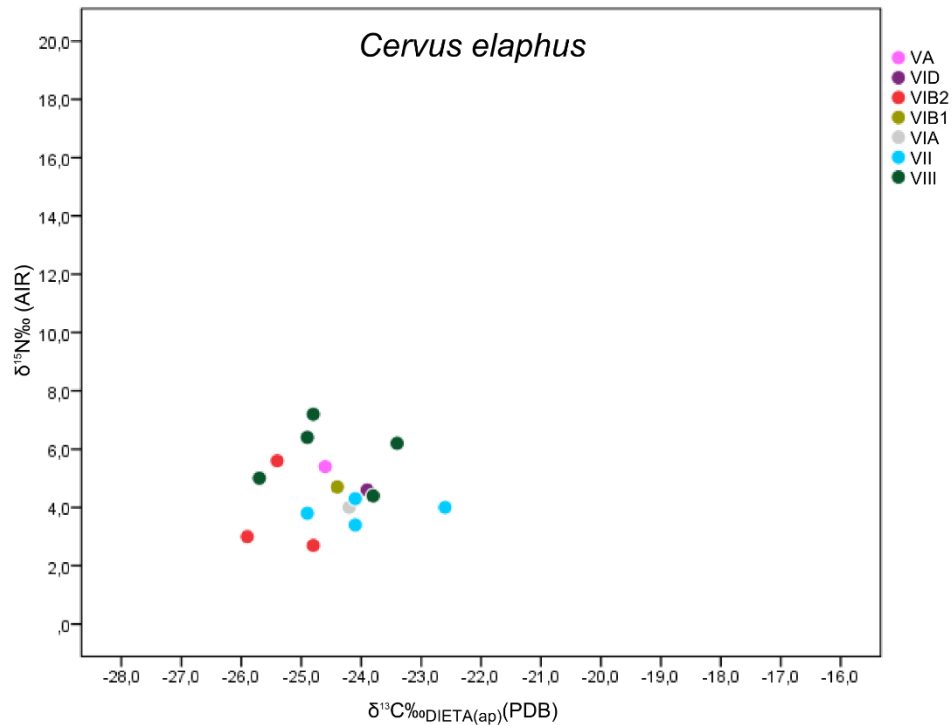


Figura 33: Valori dei campioni di cervo analizzati $\delta^{15}N$ Vs $\delta^{13}C_{DIETA(ap)}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

Gli onnivori (cani, maiali, cinghiali) in tutti i livelli, hanno dei valori medi della dieta riconducibili ad un consumo esclusivo di C_3 . Solo due campioni di cane (*Canis lupus familiaris*), nel livello VIA e uno nel VA, presentano oltre alle C_3 una modesta componente C_4 ($\delta^{13}C_{dieta(ap)}$ -20,8 livello VIA, $\delta^{13}C_{dieta(ap)}$ -21,3 livello VA, Fig. 34).

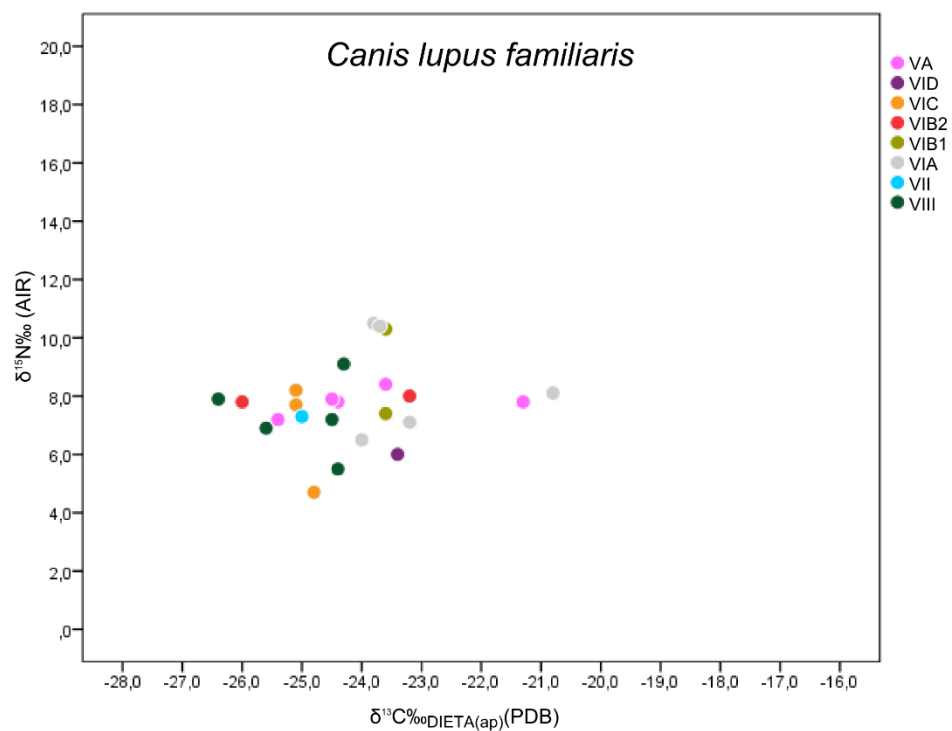


Figura 34: Valori dei campioni di cane analizzati $\delta^{15}N$ Vs $\delta^{13}C_{DIETA(ap)}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

I maiali nel record archeologico presentano alcune peculiarità; in alcuni livelli appartenenti alla fine del Tardo Calcolitico e al Bronzo Antico (VIA 3 campioni su 4, VIB1 1 campione su 1, VID 3 campioni su 4), i maiali hanno valori di azoto meno positivi tipici di animali che si nutrono esclusivamente di vegetali (Fig. 35). Questo potrebbe far supporre l'abbandono dell'allevamento del maiale in questi livelli; ipotesi suggerita anche dall'osservazione dei dati archeo-zoologici (Siracusano e Bartosiewicz, 2012) e al confinamento del maiale in zone esclusivamente con piante C_3 in cui vi era la presenza anche dei cinghiali. I cinghiali nei livelli VIII, VII, VIB2 e VIC presentano, rispetto ai maiali, valori di azoto mediamente inferiori di circa una unità δ mentre nei livelli VIB1 e VID i due animali non mostrano differenza (Fig. 36).

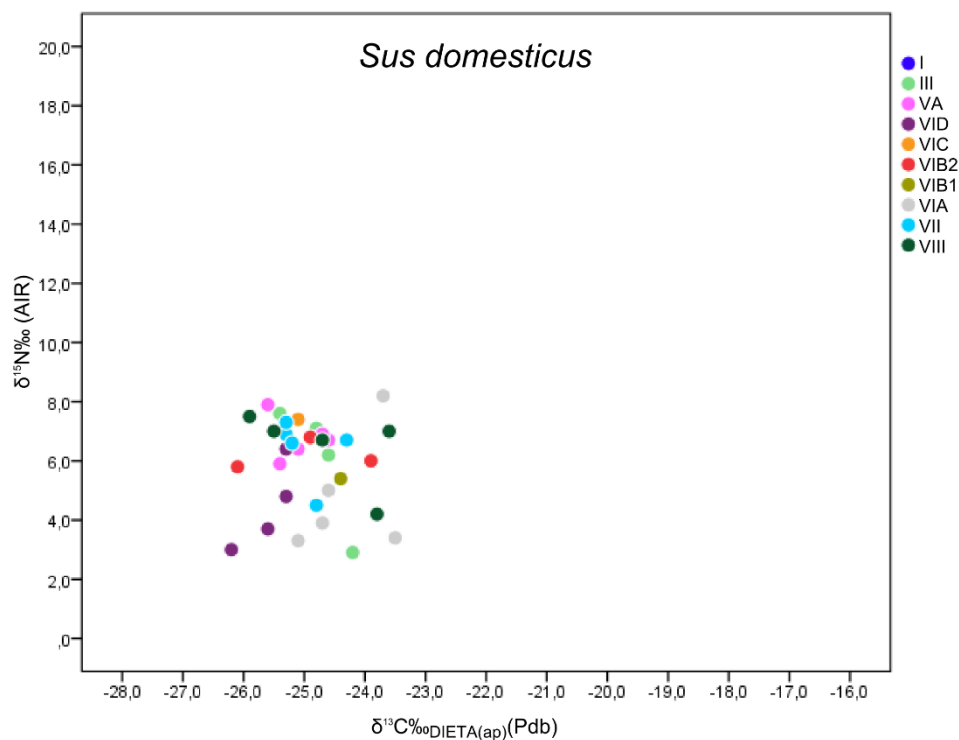


Figura 35: Valori dei campioni dei maiali analizzati $\delta^{15}N$ Vs $\delta^{13}C_{DIETA(ap)}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

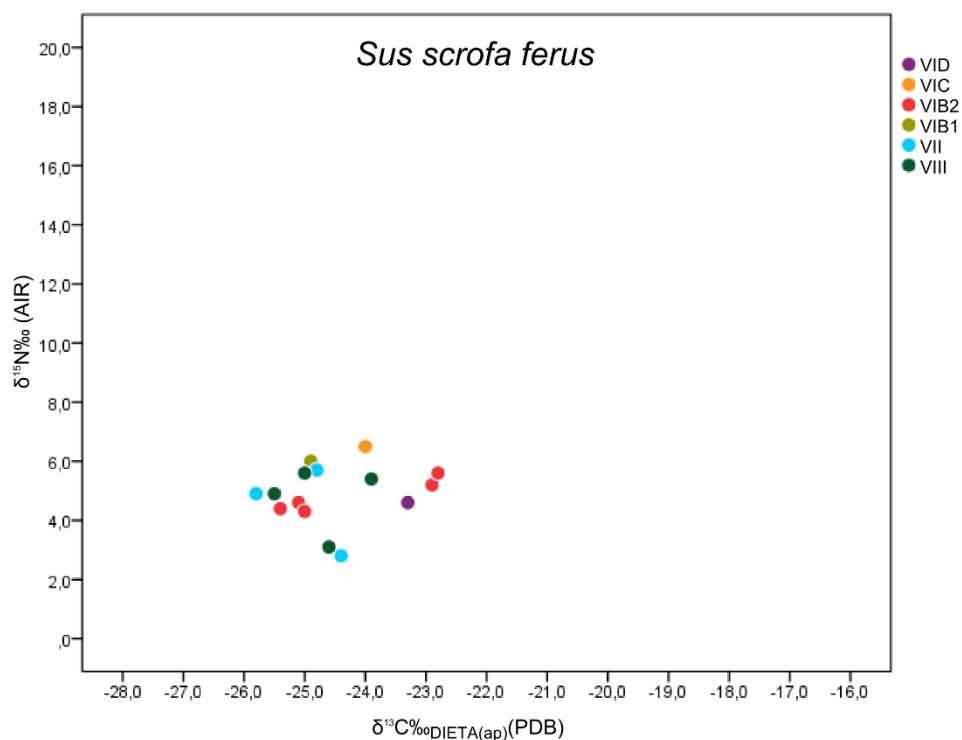


Figura 36: Valori dei campioni di cinghiale analizzati $\delta^{15}\text{N}$ Vs $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIETA(ap)}}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

La lepre, unico animali erbivoro non ruminante analizzato in tutto il record archeologico, ha una dieta costituita esclusivamente da piante C_3 con un valore medio della dieta di $-24,7\text{‰}$, solamente due livelli sembrerebbero mostrare una componente C_4 nella dieta: il livello VIA, dove tutti i campioni analizzati presentano questa componente e il livello III, dove due campioni sono esclusivamente C_3 mentre due presentano una dieta mista $\text{C}_3\text{-C}_4$ (Fig. 37).

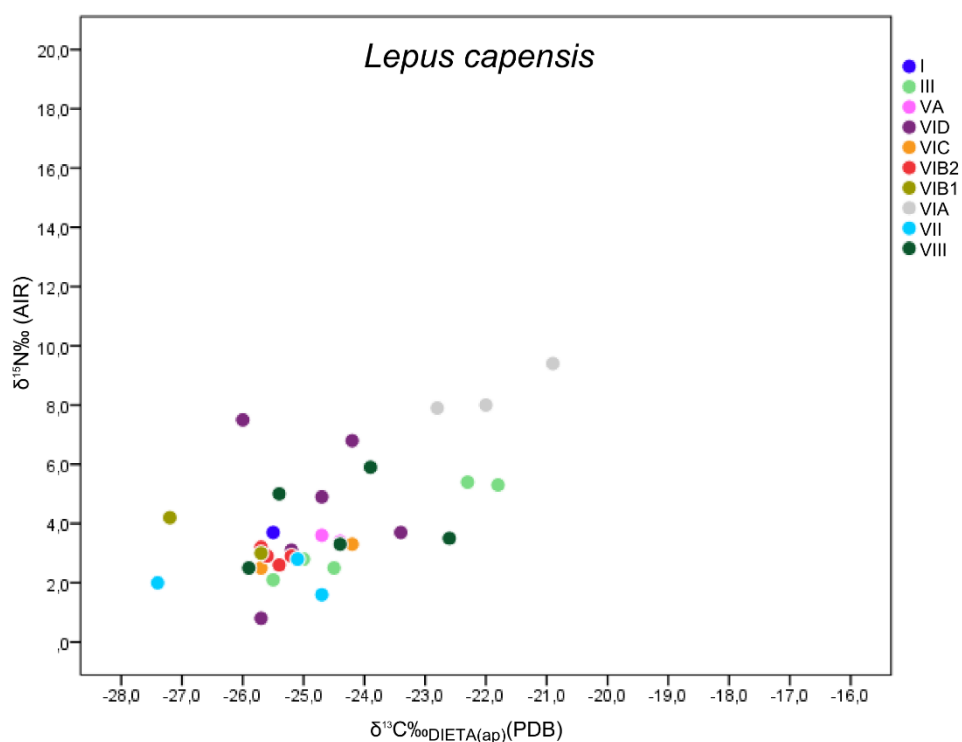


Figura 37: Valori dei campioni di lepre analizzati $\delta^{15}\text{N}$ Vs $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIETA(ap)}}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

Nel record archeologico sono stati rinvenuti anche altri animali selvatici di media taglia, come il capriolo, il daino, e di piccola taglia, come la volpe e il castoro, che presentano tutti una dieta a base esclusivamente di piante C_3 (piccola componente C_4 nel livello VA per la volpe visibile solo nei valori $\delta^{13}\text{C}_{\text{collagene}}$). In vari livelli inoltre sono stati ritrovati e analizzati resti di orso (*Ursus arctos*): anch'esso si nutre esclusivamente di proteine provenienti da piante C_3 . In questo animale si può osservare una particolarità: in alcuni livelli (VIII, VIB2 e VIC) si posiziona al livello trofico degli erbivori mentre nei livelli VII e VID si comporta come un animale onnivoro.

Oltre a questi animali selvatici sono stati studiati anche dei campioni di equini (*equus sp.*): nel livello più antico (VIII) presenta una dieta esclusivamente a base di C_3 , mentre nel livello VIB1 l'unico campione analizzato presenta una piccola componente C_4 così come uno dei tre campioni analizzati nel livello III.

7.1 La dieta dell'uomo

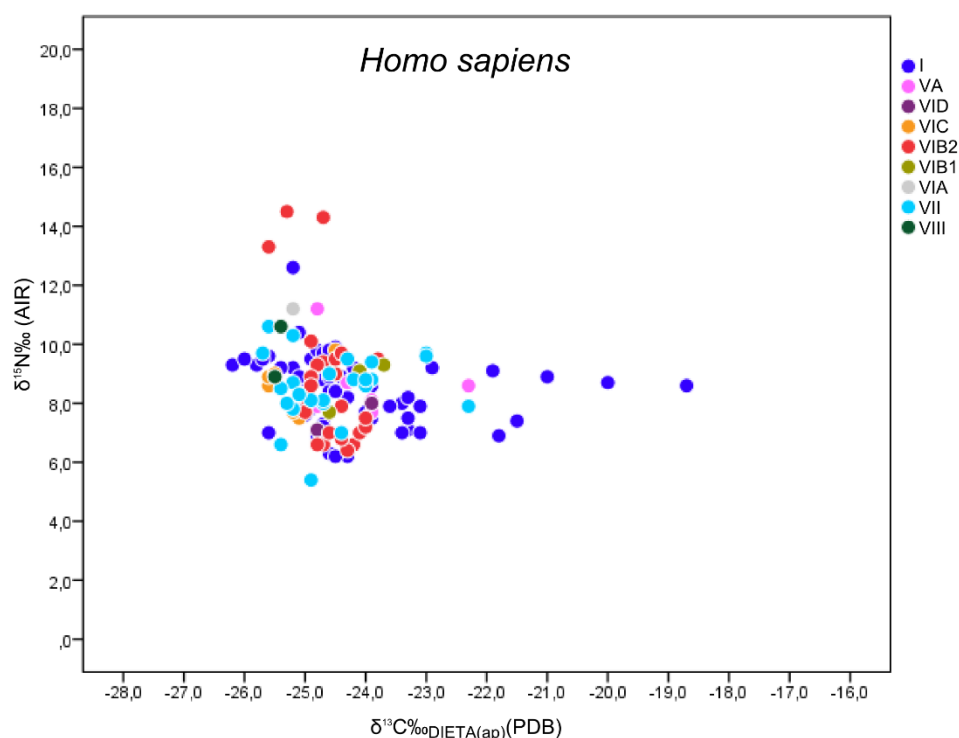


Figura 38: Valori dei campioni degli umani analizzati $\delta^{15}\text{N}$ Vs $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIETA(ap)}}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di lacumin et al., (2014).

7.1.1 I livelli antichi (6250-2700 BP)

I livelli con il maggior numero di sepolture sono il livello VII e VIB2 mentre negli altri il numero di individui analizzati è esiguo (Fig. 38).

Nel livello VII sono stati analizzati 26 campioni appartenenti a 17 individui: tre feti, quattro neonati, un bambino e nove donne adulte.

Dal punto di vista statistico i valori isotopici dei neonati (0-3 mesi) si differenziano da quelli delle donne adulte. I neonati hanno valori più positivi sia per $\delta^{18}\text{O}$ che $\delta^{15}\text{N}$. E' il latte che essendo l'unico alimento del lattante comporta un salto trofico (Sealy et al., 2001). I bambini (6-7 anni) invece non mostrano differenze con le donne adulte.

La base della dieta degli adulti è costituita da piante con ciclo fotosintetico C_3 . Solo due campioni presentano valori meno negativi per i quali si potrebbe supporre a una piccola componente C_4 che può essere stata assunta anche indirettamente. La dieta era caratterizzata, oltre che dal consumo di cereali, anche dal consumo di proteine animali di origine terrestre (carne e latte). La carne di animali terrestri consumata da questi individui era principalmente di caprini ($\delta^{15}\text{N}=6,0$) trovati in numero considerevole all'interno del sito. Così come per caprini, i valori di azoto dei buoi (5,8‰) sono compatibili con il salto trofico

(2-5‰), rispetto ai valori misurati nell'uomo. Il valore medio dei suini (6,4‰) invece non è coerente con il salto trofico dunque l'assunzione di questo animale era limitata.

Al livello VIB1 appartengono 5 individui rappresentati da un adulto e 4 adolescenti (Frangipane et al., 2001), sepolti nella cosiddetta "Tomba reale", ed un infante (0-6 mesi). La dieta di questi individui è caratterizzata principalmente dal consumo di carne di caprini che presentano un valore medio di $\delta^{15}\text{N}$ (5,9‰) adeguato rispetto all'uomo. Il consumo di maiale, osservando i dati archeo-zoologici (Siracusano e Bartosiewicz, 2012), si suppone fosse scarsa ma osservando i valori isotopici medi dell'azoto non si può escludere (5,4‰).

I valori di azoto dei bovini (6,9‰) si sovrappongono quasi completamente con quelli dei pochi umani studiati in questo livello, il loro consumo dunque era estremamente limitato, probabilmente riservato a occasioni speciali.

Gli umani del livello VIB2 appartengono alla grande fossa comune (S216) in cui sono state ritrovate le vittime di un probabile massacro (Erdal, 2012).

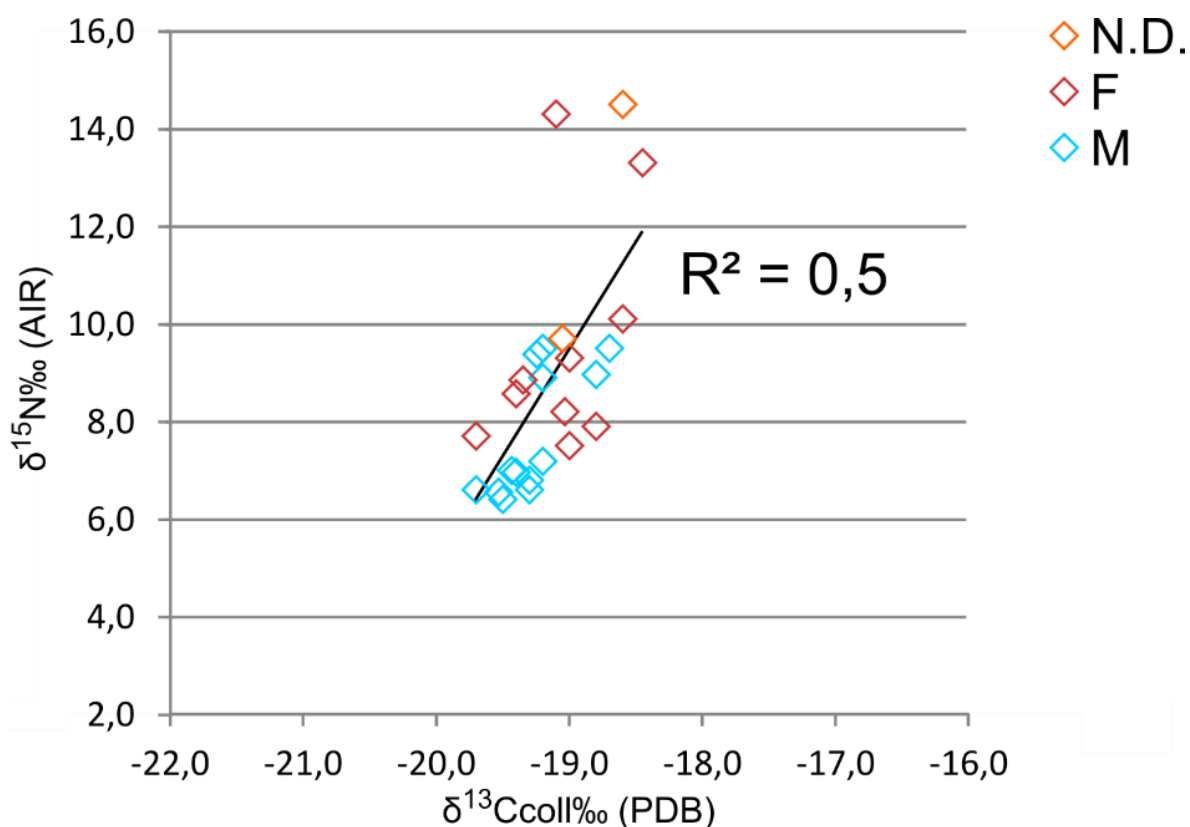
I campioni appartengono ad un minimo di 16 individui ma, avendo trovato i resti disarticolati, non è stato possibile associare le ossa lunghe ai crani. Otto inumati presentavano la mandibola o la mascella completa ed è stato possibile analizzare sia il primo (M1) che il terzo molare (M3). Questa doppia analisi è utile perché permette di vedere se ci sono delle differenze con la dieta della madre, dato che il primo molare inizia a mineralizzare in utero, mentre il terzo molare inizia a mineralizzare tra gli 8 e i 10 anni di vita, ed erompe in età adolescenziale (Hillson, 1986). I denti appartengono a 6 uomini e 2 donne.

Sono state inoltre analizzate 13 ossa (12 femori e una costa) appartenenti a 6 donne e 3 uomini di cui 9 adulti e 4 sub-adulti.

I valori isotopici del collagene mostrano alcune peculiarità: osservando i valori del $\delta^{15}\text{N}$ si può subito notare che tre individui, due donne adulte e un sub-adulto il cui sesso non è stato possibile identificare, si separano dal gruppo e mostrano un valore medio decisamente più elevato (14,0‰ contro 8‰). I valori dell'azoto mostrano inoltre una differenza significativa tra gli uomini e le donne, riscontrabile anche nei valori del $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato. Le donne presentano valori più positivi di azoto e valori più negativi di $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato. Queste differenze potrebbero essere interpretate come un diverso accesso alle proteine tra uomini e donne. I valori di $\delta^{15}\text{N}$ delle donne sono confrontabili con quelle dei livelli più antichi del sito archeologico (periodo VII): questo può significare che la pratica di differenziazione dell'alimentazione tra uomo e donna non sia un'introduzione del Bronzo Antico ma fosse

una pratica già in uso nel Tardo Calcolitico; tuttavia non è possibile confermarlo perché nel livello VII non sono stati analizzati individui di sesso maschile.

Osservando i valori del collagene si può inoltre osservare che c'è una buona correlazione tra i valori del $\delta^{15}\text{N}$ e quelli del $\delta^{13}\text{C}$ ($R^2=0,5$). Questa correlazione è solitamente leggibile con un consumo di pesce marino nella dieta degli individui; questo dato caratterizza in particolare le donne, mentre valori minori dell'azoto negli uomini suggeriscono che questi consumassero maggiori quantità di carne di erbivori (Fig. 39).



La carne consumata da tutti questi individui era principalmente di caprini (i cui valori di azoto sono compatibili con il calcolo del salto trofico); non si possono escludere dalla dieta i suini, dato che anche questi valori rientrano nel salto trofico. Uno scarso consumo di maiali è però confermato dai dati archeo-zoologici, dato che in questo livello solo l'1,5% dei campioni è rappresentato da suini, mentre il 82,1% da caprini (Siracusano e Bartosiewicz, 2012).

Il consumo da parte di questo gruppo di carne di bovino (*Bos taurus*) è sicuramente esiguo, dato che nei valori del $\delta^{15}\text{N}$ per alcuni campioni umani si sovrappongono con quelli dell'animale. Si può supporre che questo animale fosse utilizzato principalmente come forza lavoro, e che venisse consumato dall'uomo solamente in poche occasioni (feste, banchetti).

Nei livelli VIC e VID il consumo di bovino è da escludere: si osserva infatti una sovrapposizione dei valori di $\delta^{15}\text{N}$ di questo animale con quelli dell'uomo adulto. La componente proteica animale deriva principalmente dai caprini che mostrano invece un adeguato salto trofico (differenza uomo-caprini $\sim 2,5\text{‰}$).

Nel livello VA l'adulto analizzato presenta la stessa dieta degli umani dei livelli VIC e VID, mentre il neonato presenta valori più positivi di $\delta^{15}\text{N}$ a causa dell'allattamento. Uno dei due bambini (H290) presenta dei valori della dieta meno negativi forse riconducibili a una piccola componente C_4 . Il valore di azoto dei buoi (8,3‰) e dell'uomo adulto è uguale (8,2‰) dunque il consumo di questo animale è da escludere.

In questi livelli il consumo di maiale è ipotizzabile solamente per il livello VID (differenza media $\delta^{15}\text{N}$ uomo-maiale 3,2‰) ma le percentuali di rinvenimento di questo animale non si discostano di molto da quelle dei livelli precedenti (1,4%, Siracusano e Bartosiewicz, 2012).

7.1.2 La necropoli bizantina

L'ultima fase di occupazione del sito di Arslantepe è rappresentata da un sepolcreto di età romano-bizantina, rinvenuto nella zona sud-occidentale del pendio, risalente ad un periodo in cui probabilmente quest'area non era destinata ad uso abitativo.

Le prime sepolture furono rintracciate durante le ricerche alla fine degli anni '60, mentre la campagna di scavo del 2005 ha permesso il ritrovamento di altre tombe, circa cinquanta, situate poco più a nord, appartenenti alla medesima necropoli. In totale sono stati ritrovati all'incirca 160 individui (110 durante le prime campagne di scavo e circa 50 nel 2005), alcuni solo parzialmente conservati a causa della disintegrazione di varie sepolture da fosse scavate in momenti successivi.

La necropoli venne utilizzata per un periodo piuttosto lungo e dalla medesima comunità; ciò è dimostrato dalla concentrazione delle inumazioni, dal loro stesso orientamento e dall'ampia superficie su cui esse sono disposte (Alvaro et al. 2012).

Sono stati analizzati i resti di 36 individui. Data l'integrità delle sepolture e l'ottima integrità anatomica dei reperti, per alcuni individui adulti sono stati campionati oltre all'osso, solitamente una costa, anche il primo e il terzo molare. In tabella 20 vengono mostrati i valori ottenuti dall'analisi delle ossa e dei denti di questi individui sottoposti a campionamento multiplo.

N. homo	sesso	Osso				M1				M3				Canino				Premolare			
		$\delta^{13}C_{carb}$	$\delta^{18}O_{carb}$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C_{coll}$	$\delta^{13}C_{carb}$	$\delta^{18}O_{carb}$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C_{coll}$	$\delta^{13}C_{carb}$	$\delta^{18}O_{carb}$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C_{coll}$	$\delta^{13}C_{carb}$	$\delta^{18}O_{carb}$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C_{coll}$	$\delta^{13}C_{carb}$	$\delta^{18}O_{carb}$	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C_{coll}$
H257	M	-12,4	22,7	6,2	-18,4					-12,7	26,9	6,2	-18,8					-12,9	27,0	6,9	-19,1
H258		-12,1	26,6	7,5	-18,6	-13,4	28,2	7,7	-19,4	-12,1	27,0	7,7	-18,8								
H263		-11,6	26,8	8,0	-17,5					-11,5	27,6	8,2	-17,6	-12,4	27,5	8,2	-18,7				
H273A	M	-13,6	25,7	9,2	-18,9	-12,6	27,8	8,4	-18,2	-12,6	27,2	8,9	-18,8								
H275	F	-13,0	25,4	8,6	-19,1	-12,8	26,8	9,7	-19,1	-12,7	26,9	8,9	-19,0								
H277	M	-13,8	27,7	9,5	-18,7	-11,1	28,0	9,2	-17,0	-11,2	27,9	7,9	-18,2								
H268	F	-12,9	23,3	8,8	-19,3	-12,8	27,5	6,3	-18,4	-11,8	25,8	7,9	-18,8								
H242	M	-12,8	25,7	7,2	-17,0	-8,1	27,1	8,7	-15,6	-10,0	25,5	6,9	-16,0								

Tabella 20: Valori isotopici dei campionamenti multipli eseguiti su individui adulti del livelli I (necropoli romano-bizantina).

Nel gruppo degli adulti sono state riconosciute 8 donne e 12 uomini che statisticamente non presentano differenze tra loro: si può escludere una diversa alimentazione tra uomini e donne o un diverso accesso alle proteine. Suddividendo i campioni in classi di età invece si osserva una differenza tra i valori isotopici $\delta^{13}C_{carb}$ e $\delta^{15}N$ dei neonati con quelli dei bambini, degli adolescenti e degli adulti. I neonati mostrano valori per entrambi i segnali più positivi. Questo è un evidente effetto dell'allattamento materno.

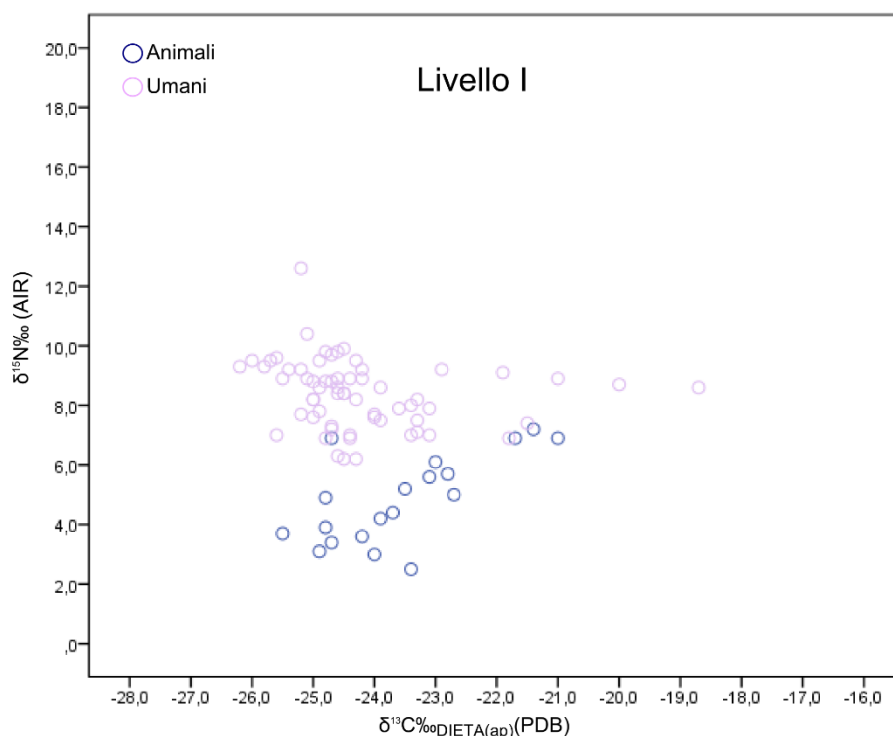


Figura 40: Andamento dei valori di tutti i campioni analizzati del livello I (umani e animali) $\delta^{15}\text{N}$ Vs $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIETA(ap)}}$. Il valore della dieta è stato calcolato con la retta di Iacumin et al., (2014).

Tutti gli inumati mostrano valori isotopici tipici di una dieta terrestre, basata su piante C_3 . Per gli individui che mostrano valori della dieta meno negativi è possibile supporre una componente variabile di C_4 (Fig. 40). Questa componente è visibile anche in alcuni campioni di animali (caprini e buoi). Il valore di $\delta^{15}\text{N}$ dell'unico maiale analizzato, proveniente da questo livello, portano ad escludere il consumo di questo animale da parte dell'uomo (differenza tra le due specie 1,5‰). Si può escludere l'assunzione di pesce marino oltre che per i valori non elevati di $\delta^{15}\text{N}$ anche per la mancanza di correlazione positiva tra i valori di carbonio e azoto.

7.2 Confronto con altri siti Anatolici

Grazie alla sua posizione strategica di comunicazione fra Asia ed Europa, l'Anatolia è stata la culla di numerose popolazioni e civiltà fin dall'età preistorica. Insediamenti neolitici sono stati trovati a Çatal Hüyük, Cayönü Tepesi, Nevalı Çori, Göbekli Tepe, solo per menzionarne alcuni. E' utile dunque cercare di confrontare, dove è possibile, i risultati ottenuti dall'analisi isotopica dei campioni umani e faunistici con i dati disponibili in letteratura. I siti relativamente vicini a Arslantepe di cui si dispone di un buon numero di dati sono Çatal Hüyük, Nevalı Çori e Asikli Hüyük (Fig. 41).

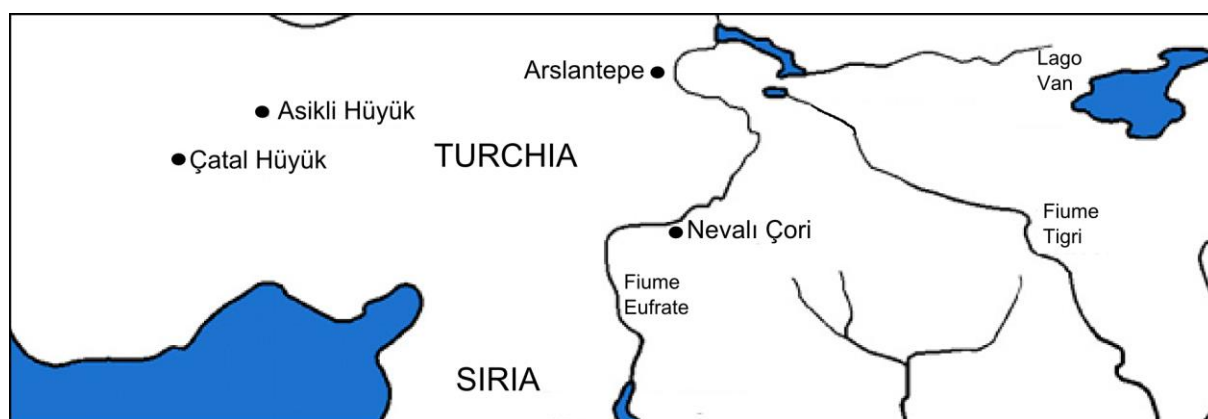


Figura 41: Localizzazione geografica dei siti archeologici confrontati con Arslantepe.

Çatal Hüyük è un sito neolitico datato 7000-8000 BP collocato nella zona centro meridionale dell'Anatolia e scavato, come Arslantepe, a partire dagli anni '60 del novecento. Asikli Hüyük sorge vicino a Çatal Hüyük. I livelli basali di Çatal Hüyük si sovrappongono a quelli terminali di Asikli Hüyük fornendo così un record quasi continuativo di 2.500 anni. A Çatal Hüyük sono state condotte analisi isotopiche della frazione organica sia su resti umani (Richards et al., 2003) che animali (Pearson et al., 2007), mentre ad Asikli Hüyük solo su resti faunistici (Pearson et al., 2007).

Nevalı Çori è il sito più antico (10.700-9.400 BP), sorge nella zona sud orientale dell'Anatolia. Anche questo sito è stato ampiamente scavato dal 1983 fino al 1992 e attualmente si dispone di analisi isotopiche di resti umani e faunistici condotte sia sulla frazione organica che inorganica dell'osso (Lösch et al., 2006). In questo sito le capre, le pecore e i buoi sono delle specie progenitrici di quelle attuali (*Bos primigenius*, *Capra aegarus* e *Ovis Orientalis*).

Come è possibile osservare dai grafici della figura 42, gli uomini di Arslantepe mostrano una variabilità del $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ minore rispetto agli abitanti di Nevalı Çori e maggiore rispetto a quelli di Çatal Hüyük. Il valore medio $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ di Nevalı Çori è il più negativo (-21,5‰) mentre sia Çatal Hüyük che Arslantepe hanno un valore medio pari a -19‰. L'intervallo dei valori di $\delta^{15}\text{N}$ di Çatal Hüyük e Nevalı Çori è variabile. Çatal Hüyük ha un valore medio di $\delta^{15}\text{N}$ più positivo rispetto ad Arslantepe di circa 2 unità δ (9‰), mentre Nevalı Çori ha un valore medio meno positivo (6‰).

A Nevalı Çori l'uomo non mostra delle differenze legate al sesso e, ad eccezione di un individuo, presenta esclusivamente proteine C_3 nella dieta; inoltre osservando i valori dell'azoto si può dedurre che la componente di proteine animali fosse esigua mentre era elevata la presenza di legumi (*Lens* spp., *Pisum* spp., *Lathyrus* spp. e *Vicia ervilia*) nella dieta. Gli uomini di Çatal Hüyük presentano una dieta composta da proteine vegetali e animali

prevalentemente C₃ con componente C₄ variabile. I bovini non sono una fonte proteica significativa nella dieta di questi individui, mentre lo sono i caprini. Probabilmente carne e derivati (latte) di capre e pecore erano la base dei pasti ordinari mentre la carne di bovino ed equino era destinata a momenti di festa come già osservato ad Arslantepe.

I bovini di Çatal Hüyük e Asikli Hüyük presentano gli stessi valori medi sia per $\delta^{15}\text{N}$ che $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$. Per entrambi i segnali però i campioni di Asikli Hüyük mostrano una variabilità più elevata. I bovini provenienti da Arslantepe mostrano un valore medio di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ simile a quello di Çatal Hüyük e Asikli Hüyük, mentre l'azoto è meno positivo di circa 3‰ (6‰ rispetto a 9‰). Il segnale dell'azoto dei buoi di Nevalı Çori è intermedio tra i valori degli altri siti (~8‰) mentre per il $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ il valore medio è più negativo.

A Nevalı Çori, il sito più antico, i buoi sono ancora non addomesticati (*Bos primigenius*) e si nutrono esclusivamente di C₃. Mentre a Çatal Hüyük e Asikli Hüyük oltre alle C₃ nella dieta è presente una quantità variabile di C₄ e lo stato domestico è ancora incerto ma non viene escluso.

Anche per i caprini la variabilità del $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e di $\delta^{15}\text{N}$ misurata ad Arslantepe comprende i valori misurati negli altri siti: il valore medio di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ di pecore e capre di Nevalı Çori è più negativo mentre le pecore di Çatal Hüyük mostrano un valore medio più positivo. Le capre di Çatal Hüyük e i caprini (capre e pecore) di Asikli Hüyük mostrano valori medi simili ad Arslantepe. Per l'azoto invece Arslantepe presenta un valore medio meno positivo rispetto agli altri siti (5,5‰). A Nevalı Çori i caprini mostrano una dieta esclusivamente C₃, nel sito di Çatal Hüyük, in cui la percentuale di caprini è circa il 70% della fauna rinvenuta, la variabilità dei valori fa supporre a grandi aree di pascolo intorno al sito o a diverse pratiche di pascolo adottate. In questi animali, così come nei buoi, sono state riscontrate quantità variabili di proteine derivanti da piante C₄ mentre ad Asikli Hüyük i caprini non registrano la presenza di piante C₄ nella dieta.

I valori di lepri, cervi e suini è possibile confrontarli solo con campioni provenienti da Nevalı Çori: in entrambi i siti le lepri mostrano una grande variabilità per l'azoto, mentre i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ a Nevalı Çori mostrano una variabilità inferiore rispetto ad Arslantepe. I cinghiali presentano nei due siti, un valore medio di $\delta^{15}\text{N}$ circa uguale mentre la variabilità del $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ di Arslantepe è maggiore e il valore medio è più positivo rispetto a Nevalı Çori. I maiali di Arslantepe (*Sus domesticus*) mostrano valori più positivi sia per carbonio che per azoto rispetto ai cinghiali (~1‰ per azoto).

Nel sito di Çatal Hüyük la percentuale di suini (*Sus scrofa ferus*) ritrovata è esigua e, osservando i valori di azoto, si suppone fossero selvatici e che vivessero in zone boschive.

Il cervo è l'unico animale che per i due siti presenta dei campi di variabilità distinti: i campioni di Nevalı Çori hanno valori più positivi di azoto (~7‰) e più negativi in $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ (~21‰) rispetto a quelli provenienti da Arslantepe.

Per quanto riguarda l'azoto degli umani il sito più antico (Nevalı Çori) presenta valori più bassi rispetto ad Arslantepe, e uguali o superiori nel caso delle diete degli animali. D'altra parte, buoi, caprini ed ovini di Nevalı Çori hanno valori più alti di azoto rispetto all'uomo, quindi non possono rappresentare la sua dieta proteica.

I campioni, sia umani che animali, di Çatal Hüyük e Asikli Hüyük presentano rispetto ad Arslantepe un valore di $\delta^{15}\text{N}$ più elevato. In questo caso gli animali possono rappresentare la dieta proteica dell'uomo.

Il sito di Nevalı Çori presenta anche valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ più negativi rispetto ad Arslantepe sia per l'uomo che per gli animali. L'uomo presenta un'elevata variabilità, dovuta ad un unico individuo che ha un valore di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ pari a -15,7‰ (questo individuo viene interpretato come straniero e proveniente da una regione più calda e arida in cui vi era abbondanza di piante C_4 ; Löscher et al., 2006); considerando solo gli altri individui prevale la componente C_3 .

Per gli umani e per gli animali di Nevalı Çori si esclude la possibilità della presenza nella dieta di piante C_4 . I siti di Çatal Hüyük e Asikli Hüyük presentano in genere gli stessi valori di Arslantepe, sia nel caso dell'uomo che degli animali.

Concludendo, il confronto tra i risultati del presente studio e i dati di letteratura relativi a siti di età neolitica permette di ipotizzare i seguenti cambiamenti nella paleodieta umana tra l'Olocene inferiore e medio.

La dieta dell'uomo nel periodo tra il 10700 e il 9400 BP (sito di Nevalı Çori) era principalmente erbivora, basata sul consumo di cereali C_3 , una grande quantità di legumi e uno scarso consumo di proteine animali (Löscher et al., 2006). Nei millenni successivi la dieta dell'uomo subisce un grande cambiamento: i cereali consumati sono, come nel periodo più antico, C_3 ma aumenta il consumo di proteine animali, principalmente carne di caprini (pecore e capre).

A margine di queste osservazioni si riporta che da circa 8000 BP inoltre è possibile riscontrare nella dieta di alcuni animali (buoi e caprini) una componente esigua di piante C_4 , che talvolta viene registrata anche nell'uomo.

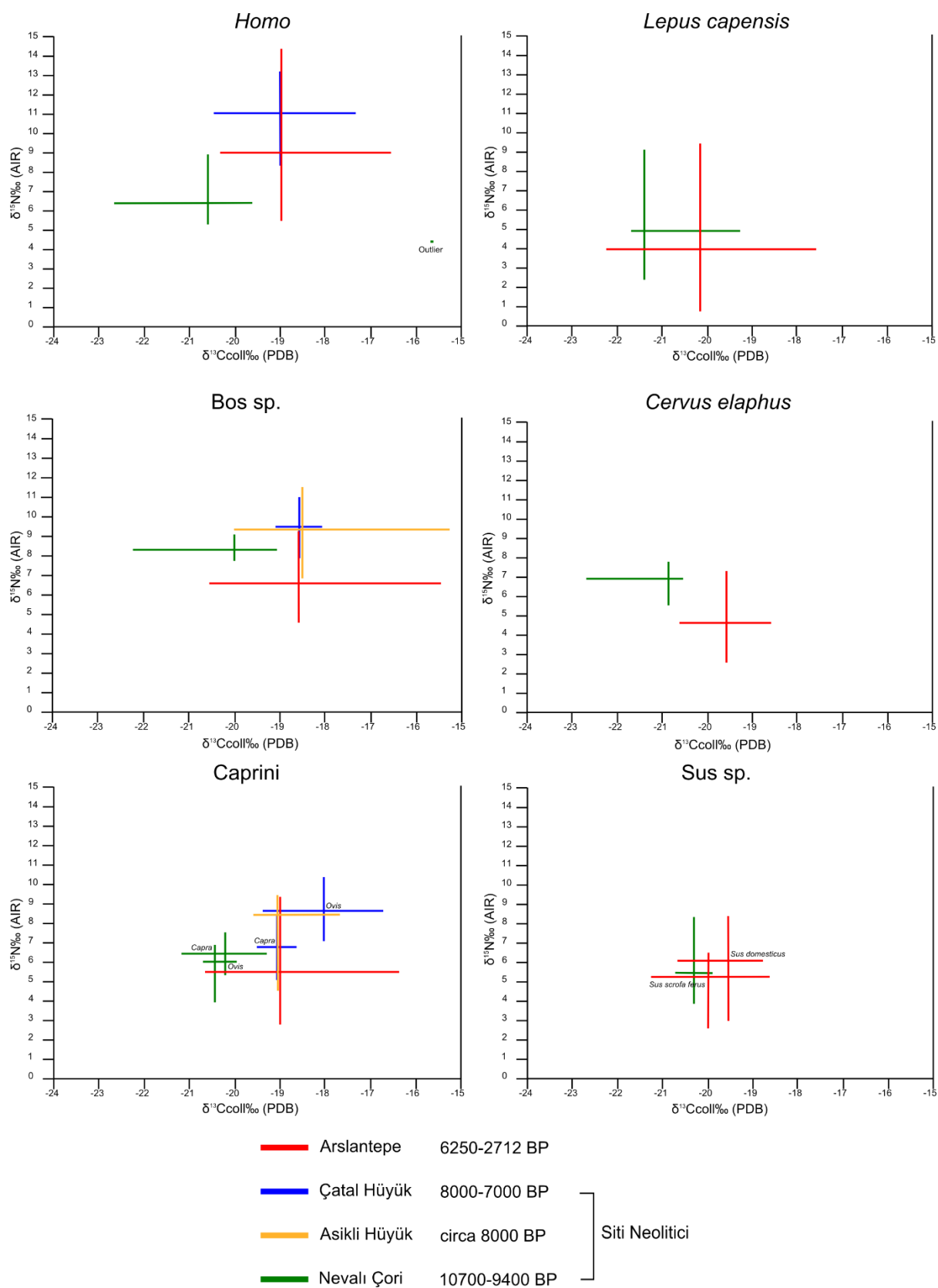


Figura 42: Confronto tra i valori isotopici di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e $\delta^{15}\text{N}$ misurati nei campioni provenienti ad Arslantepe e da campioni provenienti da altri siti anatolici disponibili in letteratura.

8- RICOSTRUZIONE PALEOCLIMATICA E PALEOMBIENTALE

I parametri isotopici analizzati in questo lavoro sono correlati in maniera diretta o indiretta alle caratteristiche ambientali e climatiche della zona di Arslantepe nell'intervallo cronologico 6250-2700 BP e tra il IV e VI sec d.C.

○ *Arslantepe livelli VIII-III*

8.1 $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato indicano una copertura vegetale costituita per la maggior parte da piante con un ciclo fotosintetico C_3 ; queste piante sono tuttora le più diffuse in Turchia e nella zona Anatolica. Come già descritto, il valore isotopico di queste piante è correlato con la disponibilità idrica, umidità ambientale, temperatura, irraggiamento e apporto nutritivo.

Per semplificare l'analisi dei dati e avere meno disturbi nel segnale isotopico dovuti al metabolismo, alla taglia e al comportamento intraspecifico, gli animali sono stati raggruppati in due grandi categorie: onnivori e erbivori ruminanti. Le lepri, unico erbivoro non ruminante di cui disponiamo di campioni in tutto il record archeologico, e l'uomo, sono stati trattati in maniera separata (Fig. 43).

I dati degli onnivori suggeriscono che nell'intervallo tra i livelli VIA e VIB1-2 la disponibilità idrica sia inferiore rispetto al resto del record archeologico, che appare invariata nei restanti livelli.

Per gli erbivori ruminanti il valore mostra un debole trend verso valori più positivi dal livello più antico sino al livello VA, dove si osserva il valore massimo; la scarsità d'acqua probabilmente non è l'unica causa della positivizzazione del $\delta^{13}\text{C}$, bisogna infatti considerare che in questo livello nella dieta del bue domestico sembra esserci un contributo di piante a ciclo fotosintetico C_4 .

I valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ della lepre (*Lepus capensis*) indicano un minimo di disponibilità idrica nei livelli VIA e III; così come per i ruminanti in questi livelli si osserva la presenza di piante C_4 nella dieta delle lepri, ma con un contributo ridotto che, in particolare nel livello VIA, non giustifica in termini puramente dietetici l'anomalia positiva riscontrata.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ dell'uomo mostrano una moderata variabilità.

8.2 $\delta^{13}\text{C}$ collagene

I valori $\delta^{13}\text{C}$ relativi alla frazione organica indicano che la positivizzazione del valore non è dovuta solamente a fattori ambientali ma anche dietetici a causa del contributo variabile di piante C_3 e C_4 .

Gli onnivori mostrano andamenti debolmente variabili e, come per i dati del carbonato, danno un'indicazione di relativa aridità negli intervalli più antichi (VII-VIA-VIB).

Nel livello VA vengono registrati i valori più positivi, valore apparentemente indicativo di un momento con minor disponibilità idrica.

Anche gli erbivori ruminanti mostrano valori concordanti con quelli dell'apatite; un trend verso valori più positivi dal livello VIII fino al VA. Come discusso in precedenza, è impossibile distinguere con certezza il contributo dietetico da quello climatico per questo parametro.

I valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ delle lepri presentano lo stesso andamento dei valori del carbonato. Anche questo segnale isotopico nel livello VIA mostra un valore molto più positivo rispetto a tutti gli altri livelli.

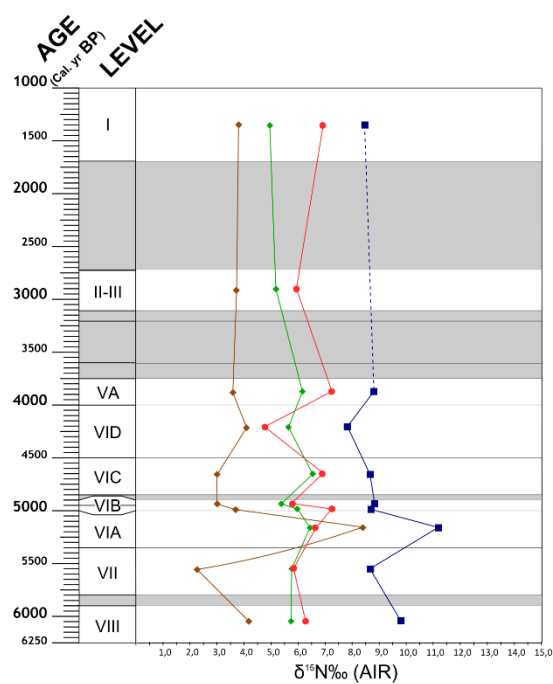
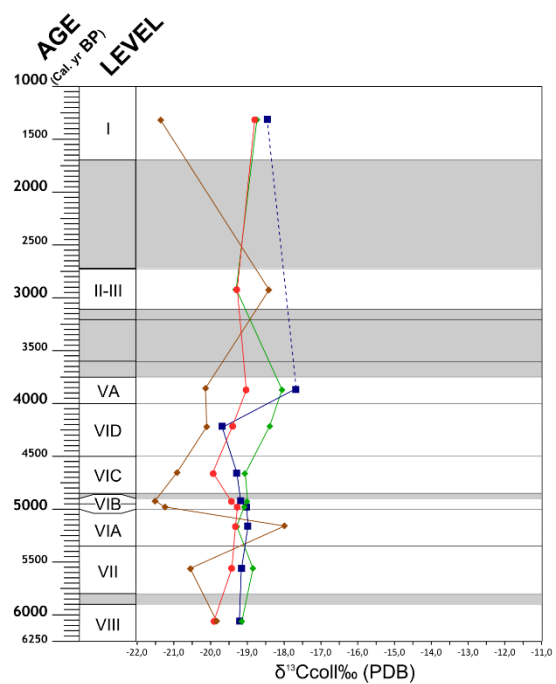
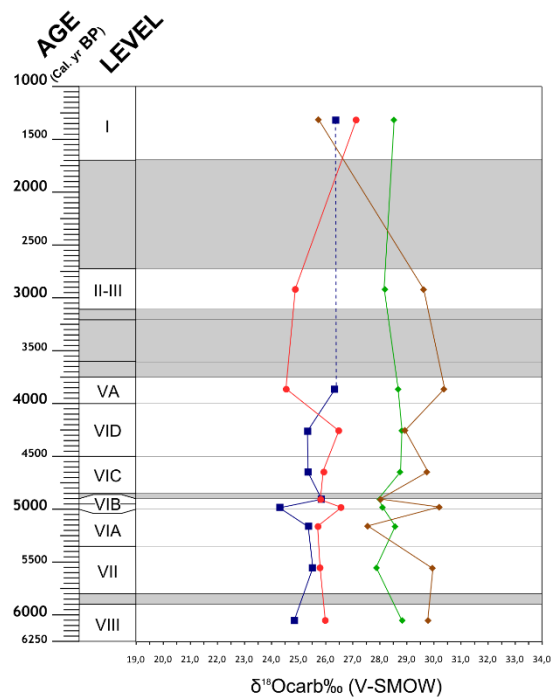
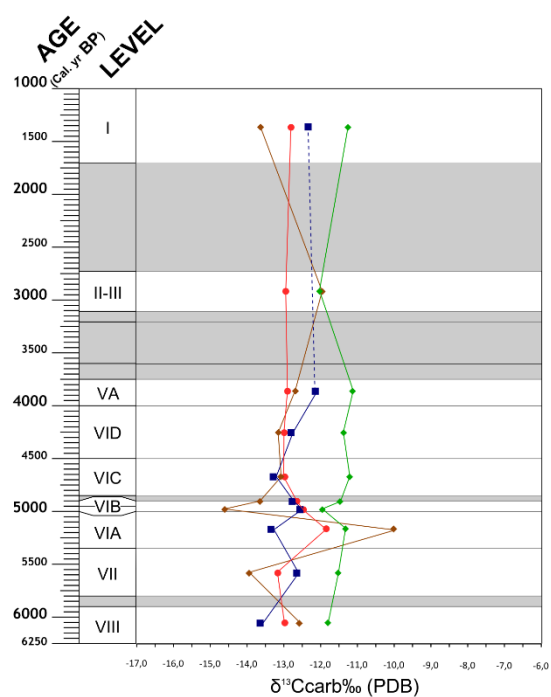
Il $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ dell'uomo mostra valori stabili nei livelli più antichi e un picco nettamente positivo nel livello VA.

8.3 $\delta^{15}\text{N}$

La composizione isotopica dell'azoto, oltre a fornire importanti informazioni riguardanti il livello trofico in cui l'animale si posiziona, può dare indicazioni ambientali relativi alla disponibilità idrica, dato che i tessuti corporei, dunque anche le ossa, risultano arricchiti in $\delta^{15}\text{N}$ quando l'organismo subisce uno stress idrico, eliminando attraverso le urine una maggior quantità di urea, arricchita dell'isotopo leggero.

Sulla base di queste considerazioni possiamo osservare che, per l'uomo, il valore di $\delta^{15}\text{N}$ indica un trend verso valori meno positivi dal livello più antico al VID con un picco positivo (periodo più arido) nel livello VIA. Per gli onnivori si osserva una omogeneità nei valori dal livello VIII fino al VIC, e andamenti irregolari nei livelli successivi. Gli erbivori ruminanti mostrano un andamento debolmente variabile e apparentemente correlato con quello degli onnivori.

Come osservato nei dati del carbonio, per le lepri e gli umani, sulla base dei dati dell'azoto il livello VIA sembra indicare un periodo di aridità particolarmente pronunciato rispetto al resto del record.



◆ Erbivori ruminanti ● Onnivori ◆ *Lepus capensis* ■ *Homo s.*

Figura 43: Variazione stratigrafica di $\delta^{13}C_{carb}$, $\delta^{18}O_{carb}$, $\delta^{13}C_{coll}$ e $\delta^{15}N$ per i gruppi trofici studiati in tutto il record archeologico.

8.4 $\delta^{18}\text{O}$ carbonato

La composizione isotopica dell'ossigeno del carbonato è in relazione con quella dell'acqua meteorica e, indirettamente, con la temperatura atmosferica media: per questo è un ottimo indicatore ambientale. La relazione che lega il $\delta^{18}\text{O}$ del fosfato e del carbonato delle ossa all'acqua meteorica riguarda in particolare le specie animali che bevono grandi quantità di acqua ed hanno una bassa attività metabolica (Luz et al., 1984).

I dati degli onnivori mostrano un andamento relativamente stabile tra i livelli VIII e VID, con una minore escursione positiva nel livello VIB1, ed una negativizzazione dei valori nel livello VA.

Nello stesso intervallo, l'uomo mostra valori relativamente costanti, ma escursioni opposte agli onnivori nei livelli VIB1 e VA.

Il valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ degli erbivori ruminanti risente notevolmente dei valori dei caprini che hanno valori costanti per tutto il record archeologico e “appiattiscono” la curva non mostrando differenze tra i vari livelli.

I valori di $\delta^{18}\text{O}$ della lepre in caso di scarse precipitazioni mostrano una correlazione inversa con l'umidità relativa, e questo accade perché gli animali di piccola taglia assumono l'acqua prevalentemente dall'ingestione delle piante: in aree caratterizzate da scarse precipitazioni, il tasso di evapotraspirazione delle piante è elevato, e le foglie, e quindi gli animali, risulteranno arricchiti dell'isotopo pesante (Delgado Huertas et al., 1995).

Sulla base di queste considerazioni, i valori medi di $\delta^{18}\text{O}$ delle lepri indicherebbero, a differenza degli altri segnali isotopici, che nel livello VIA potrebbe esserci stata una maggiore umidità rispetto agli altri livelli.

○ *Arslantepe, livello I*

La parte più recente dell'intervallo studiato presenta diversi problemi rispetto all'interpretazione, in particolare in termini paleoclimatici, soprattutto a causa della ridotta frequenza di campionamento rispetto agli intervalli VIII-VA.

Inoltre, nella fase Romana e Bizantina di Arslantepe i valori mostrano una notevole dispersione per l'uomo e i ruminanti, mentre per gli onnivori e le lepri è stato analizzato solamente un campione che non può fornire un quadro complessivo. Questo rende i dati difficilmente interpretabili in chiave ambientale o climatica

I dati di $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ e $\delta^{15}\text{N}$ di uomini e ruminanti indicano apparentemente che la disponibilità d'acqua sia maggiore rispetto ai livelli antichi, in particolare rispetto ai livelli VIA e VA.

8.5 Confronto dei risultati

Dal punto di vista della variazione stratigrafica i parametri precedentemente discussi mostrano spesso andamenti incoerenti tra loro, sia nell'ampiezza delle variazioni che nella collocazione dei valori minimi e massimi. Si è pertanto cercato di riassumere in una tabella le possibili interpretazioni paleoclimatiche per ogni singolo record, allo scopo di individuare con più chiarezza gli elementi di accordo e di contraddizione nei dati.

La figura 44 riassume in maniera semplificata le ipotesi discusse sopra, con particolare riferimento ai massimi e minimi di aridità; le caselle lasciate in bianco indicano livelli che non mostrano significative variazioni rispetto a quelli sottostanti. Questa rappresentazione mette in risalto diverse problematiche e contraddizioni tra i diversi record ottenuti. Alcune di queste trovano una possibile spiegazione nella diversa affidabilità di determinate specie, gruppi trofici o segnali isotopici rispetto al segnale paleoclimatico.

Un primo aspetto da considerare riguarda il fatto che gli esemplari rinvenuti all'interno di un sito archeologico, inclusi gli animali selvatici, non costituiscono un campione perfettamente rappresentativo dell'ambiente naturale, dato che la loro presenza nel sito dipende da una selezione antropica; inoltre l'uomo, con l'allevamento di alcune specie, può controllare sia il tipo di acqua che di alimenti forniti all'animale (questo in particolare potrebbe spiegare la sostanziale stabilità di alcuni segnali isotopici). Le osservazioni sul valore del $\delta^{18}\text{O}$ devono tenere conto dello sfruttamento e della canalizzazione delle acque nell'agricoltura: in particolare un sistema capillare di irrigazione può mitigare il segnale dell'aumento dell'aridità rispetto ad alcuni parametri (in particolare ne risentono $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$).

Infine bisogna considerare la disomogeneità dei campioni umani analizzati (un livello erano presenti solo con infanti, in un altro solo con donne etc.), oltre al diverso tipo di popolazioni che hanno occupato questo villaggio anatolico (pastori transumanti, agricoltori sedentari).

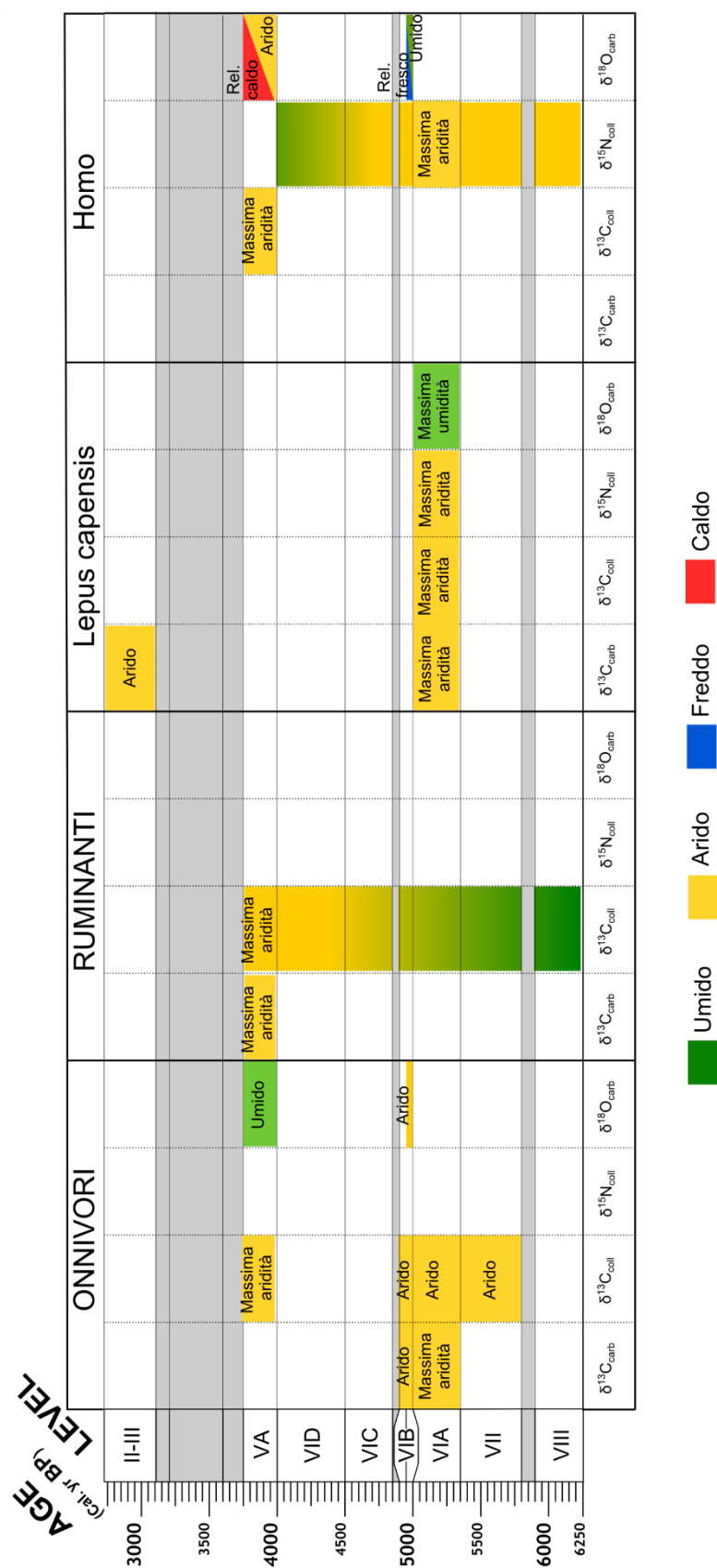


Figura 44: Sintesi schematica dei segnali climatici apparentemente indicati dalla variazione dei diversi valori isotopici indagati in questo lavoro.

Nonostante una possibile contraddizione legata al dato isotopico dell'ossigeno della lepre, il livello VIA più di ogni altro dà indicazioni di un periodo di maggiore aridità. Una situazione simile si osserva nel livello VA; anche in questo caso non tutti i dati sono coerenti.

Una possibile spiegazione della discrepanza che si osserva nei valori del $\delta^{18}\text{O}$ degli onnivori nel livello VA (segnale di momento di massima umidità) sia dovuta ad un cambiamento nel modo di abbeverare questi animali rispetto ai livelli precedenti.

L'apparente segnale di massima umidità osservabile nei valori dell'uomo nel livello VIB1 può essere spiegato dal fatto che gli occupanti di Arslantepe di quel periodo erano semi-nomadi (Frangipane, 2012b) pertanto la composizione isotopica dell'ossigeno è il risultato del consumo di acque provenienti da regioni diverse.

8.6 Anomalie siccitose

Nonostante le problematiche discusse sopra, il confronto con i record paleoclimatici regionali sembra confermare le osservazioni sugli episodi siccitosi dei livelli VIA e VA; va tenuto conto, in ogni caso, che anche i record in letteratura mostrano a volte aspetti contraddittori, forse influenzati da diversi fattori locali.

L'anomalia del livello VIA sembra coincidere con un episodio arido particolarmente pronunciato registrato in diversi record. Questo è espresso da un drastico incremento dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ in record speleotemici regionali - Grotte di Soreq, Israele - (Bar-Matthews e Ayalon, 1997; Fig. 45), datato 5200 BP, ed interpretato come un importante episodio di aridificazione e riscaldamento, che colpisce in vari modi la regione peri-mediterranea (Brooks, 2010). Anche i dati del $\delta^{18}\text{O}$ di carbonati lacustri nella regione anatolica mostrano una sostanziale corrispondenza (Roberts et al., 2011); tuttavia, i record lacustri mostrano episodi simili, avvenuti in periodi diversi, che non trovano corrispondenze nel nostro.

Anche l'anomalia arida nel livello VA corrisponde apparentemente ad un picco dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ nelle Grotte di Soreq in Israele (Fig. 45), andamento non registrato invece dal $\delta^{18}\text{O}$ misurato nei carbonati lacustri della regione (Roberts et al., 2011).

Le discrepanze tra i valori isotopici di Arslantepe e la curva di Roberts et al. possono essere causate dai diversi fattori (per esempio, variazioni locali nel contributo fluviale) che influiscono nel breve termine sulla composizione del $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$, oltre alla vastità dell'area considerata nella realizzazione della curva; i dati speleotemici, per contro, possono rappresentare un record più sensibile e preciso dei cambiamenti di temperatura e umidità.

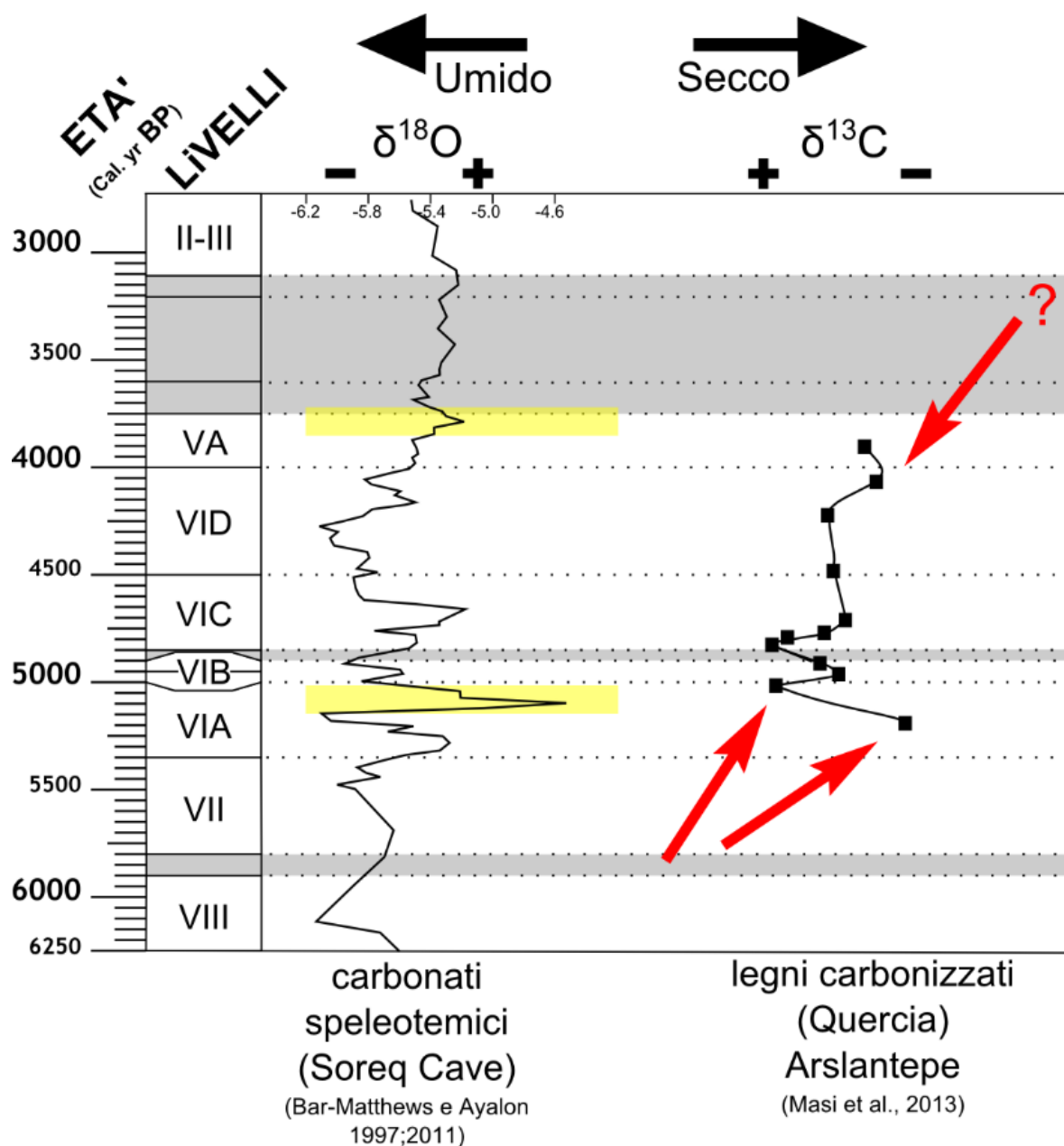


Figura 45: Confronto tra $\delta^{18}\text{O}$ speleotemi e $\delta^{13}\text{C}$ resti vegetali (quercia) provenienti da Arslantepe, sulla curva $\delta^{18}\text{O}$ speleotemi sono evidenziate le anomalie siccitose discusse nel testo, sulla curva $\delta^{13}\text{C}$ quercia sono indicate le corrispondenze discusse nel testo.

Il confronto con gli studi isotopici condotti sui macroresti carbonizzati di quercia (*Quercus* sp.) (Masi et al., 2012; Fig. 45) non è totalmente coerente con i valori ottenuti dall'analisi dei reperti scheletrici. La quercia indica una fase instabile da circa 5200 al 4900 BP (tra la fine del periodo VIA e l'inizio del VIB1). In questa fase sono registrati sia momenti più aridi che i più piovosi di tutto il record considerato; l'unica chiara corrispondenza con i dati dei campioni scheletrici consiste nel picco di aridità del livello VIA; i dati delle querce registrano inoltre un possibile segnale prossimo a quello del picco di aridità del livelli VA, che viene registrato in un aumento dell'aridità nella parte alta del periodo VID.

8.7 Record paleoclimatico dell'acqua ingerita

Dai valori del $\delta^{18}\text{O}$ dell'apatite è possibile stimare la composizione isotopica dell'acqua ingerita ($\delta^{18}\text{O}_w$).

Questo parametro è stato confrontato con gli andamenti dei valori del $\delta^{18}\text{O}$ dei carbonati lacustri dei laghi Van ed Eski Acigöl, utilizzando le curve normalizzate rispetto a valori medi regionali di Roberts et al. (2011); come descritto in precedenza, tali record rappresenterebbero prevalentemente l'alternarsi di condizioni umide e secche.

Per ottenere un confronto più efficace, la curva dei carbonati lacustri del Lago Van è stata collocata sulla stessa scala di valori del $\delta^{18}\text{O}_w$. Il valore più recente della curva del Lago Van è stato posto in corrispondenza del valore dell'acqua della zona di Arslantepe; come riferimento sono stati usati i valori misurati in pozzi e sorgenti collocati nell'area di studio (-9,0‰, primavera 2012; Selmo, com. pers.)

Sia umani che animali mostrano una buona correlazione tra le variazioni a lungo termine di $\delta^{18}\text{O}_w$ ed i record lacustri. Anche l'ampiezza delle variazioni misurate è simile a quella del record lacustre (Fig. 47). Inoltre, i valori ricalcolati dell'acqua ingerita negli umani approssimano efficacemente tale curva, con una differenza media inferiore all'1‰.

I principali aspetti di questa correlazione sono di seguito interpretati.

La composizione isotopica dell'ossigeno dell'acqua ambientale ($\delta^{18}\text{O}_w$) calcolata dal $\delta^{18}\text{O}_{ph}$ delle ossa degli animali mostra una debole correlazione positiva con i valori di $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 46). Questa relazione suggerirebbe che la variazione del $\delta^{18}\text{O}_w$ rifletterebbe variazioni nella composizione isotopica dell'acqua ambientale in buona parte controllate da variazioni di quantità di pioggia (Iacumin et al., 2004). Questo potrebbe spiegare la buona correlazione tra gli andamenti del $\delta^{18}\text{O}$ dei carbonati lacustri e quelli ricalcolati dell'acqua ingerita.

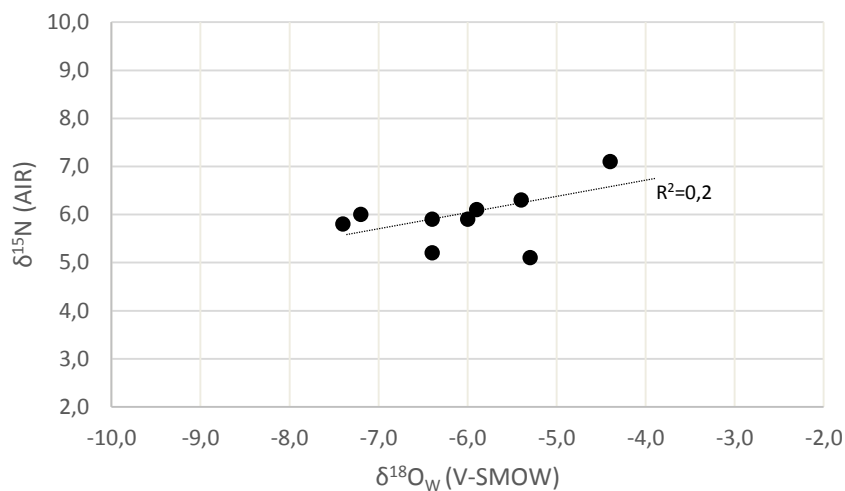


Figura 46: Valori isotopici medi del $\delta^{15}\text{N}$ del collagene e del $\delta^{18}\text{O}_w$ calcolato dai valori del $\delta^{18}\text{O}_{ph}$ degli animali analizzati.

Da questo punto di vista l'analoga correlazione del dato umano sembra porre un problema. E' evidente lo scostamento dei dati degli umani verso valori più negativi rispetto agli animali, che può essere spiegato dall'approvvigionamento di acqua da fonti meno influenzate dall'evaporazione (acqua corrente o pozzi); per la stessa ragione sembra difficile spiegare il fatto che l'ampiezza della variazione sia la stessa dei record lacustri e animali che, come discusso sopra, sarebbero prevalentemente rappresentativi delle variazioni dell'umidità ambientale.

Un tentativo di spiegazione può vertere sul fatto che la risoluzione del dato del $\delta^{18}\text{O}_w$ nel nostro caso sia adatta a rivelare variazioni a lungo termine, per le quali prevale l'influenza del segnale climatico regionale, nel nostro caso determinato da alternanze di periodi più o meno piovosi più che da variazioni della temperatura. Questo tipo di segnale (regionale, a lungo termine) avrebbe maggiori probabilità di essere preservato nelle acque sotterranee così come nei grandi volumi d'acqua lacustre; avrebbe invece subito una consistente positivizzazione nei corpi d'acqua effimeri (ad esempio, pozze di acqua stagnante) a cui attingono gli animali, dove l'influenza dell'evaporazione è tanto maggiore a causa del volume ridotto e della scarsa profondità.

Il confronto tra i valori assoluti del $\delta^{18}\text{O}_w$ può essere poco significativo per interpretazioni paleoclimatiche, a causa dell'elevata incertezza predittiva (2,5‰) del valore ricalcolato partendo da $\delta^{18}\text{O}_{ph}$ (Iacumin e Venturelli, 2015). Tuttavia, lo scostamento tra i valori ottenuti negli animali e negli umani in questo lavoro appare sistematico mediamente del 2,8‰. Il

buon numero di campioni analizzati per livello, e la correlazione con i record paleoclimatici regionali ne consolida l'affidabilità.

In conclusione i dati di questo lavoro suggeriscono che i dati del $\delta^{18}\text{O}_w$ ottenuti dai reperti scheletrici provenienti da Arslantepe sono compatibili con andamenti paleoclimatici a lungo termine analoghi a quelli registrati in altri record regionali. Questo comporterebbe che, nella zona di studio abbia agito una variazione plurimillenaria nei regimi di umidità che avrebbe raggiunto condizioni massime intorno al 5000 BP.

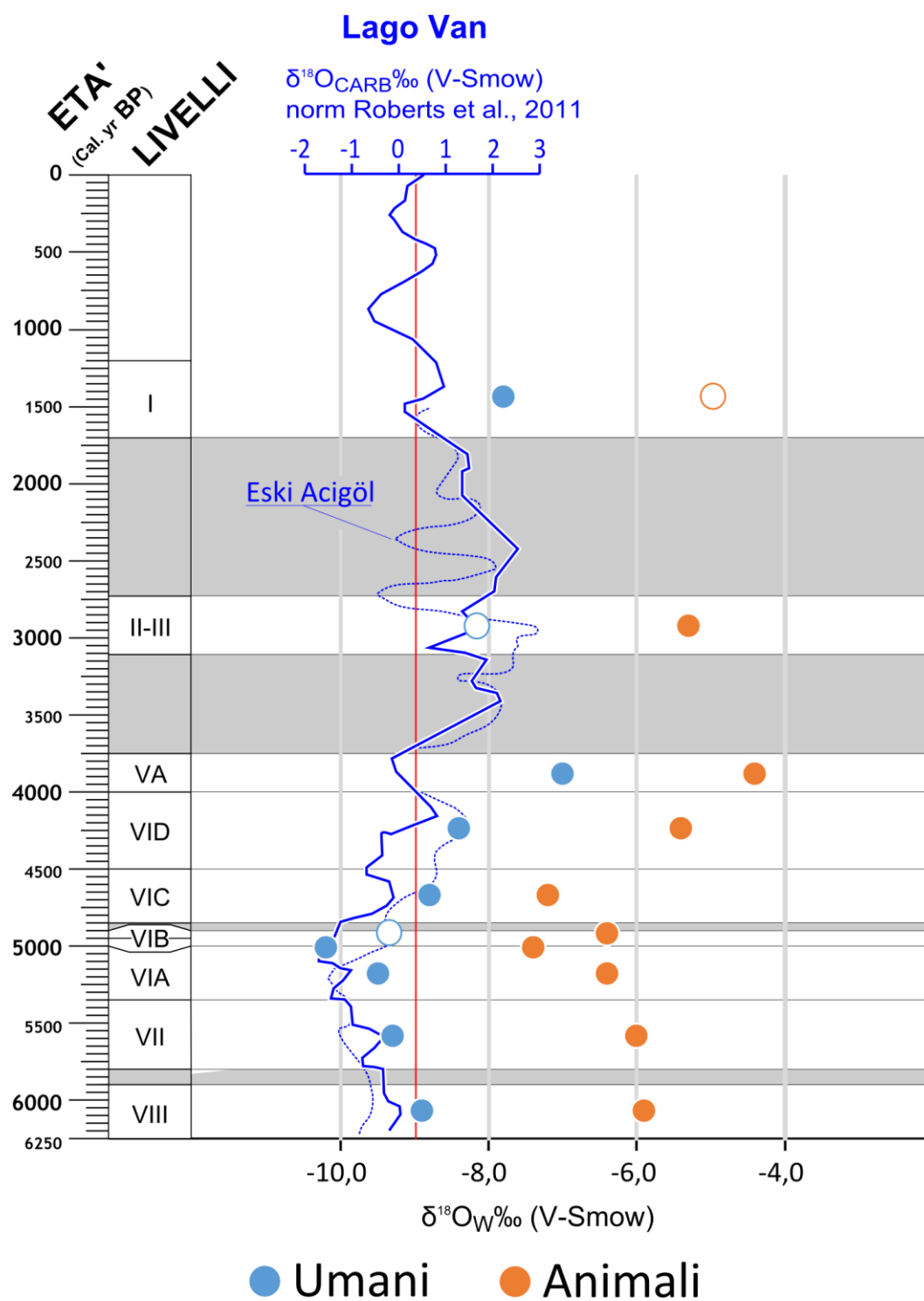


Figura 47: Confronto della variazione stratigrafica del $\delta^{18}\text{O}_W$ con la stratigrafia $\delta^{18}\text{O}$ del Lago Van (Litt et al., 2009) e di Eski Acigöl (linea tratteggiata; Matthews et al., 2007). Data l'assenza di campioni umani nei livelli VIB2 e II-III, e di campioni animali nel livello I (marcatori vuoti), il valore del $\delta^{18}\text{O}$ è stato stimato sulla base della differenza media uomo-animale (2,8‰).

CONCLUSIONI

Lo studio ha avuto come obbiettivo principale la ricostruzione delle condizioni ambientali nell'area di Malatya (Turchia) dal 6250 al 2700 BP tramite la tecnica degli isotopi stabili applicata a resti scheletrici. Sono stati analizzati i rapporti isotopici di ossigeno, carbonio e azoto in 507 campioni nelle frazioni minerale e organica del tessuto osseo provenienti dal sito archeologico di Arslantepe. Inoltre sono stati analizzati dei campioni appartenenti al periodo di occupazione romana e bizantina del sito (IV-VI secolo d.C.).

Lo scavo si presentava promettente a tale scopo, soprattutto perché caratterizzato da una discreta risoluzione stratigrafica, ottenuta mediante datazioni al radiocarbonio integrate alla stratigrafia archeologica. Grazie alla disponibilità di diversi record paleoclimatici locali e regionali dell'intervallo temporale studiato, è stato possibile confrontare le variazioni nel tempo di parametri isotopici che possono essere correlati, direttamente o indirettamente, a cambiamenti nella temperatura atmosferica o variazioni relative dell'umidità.

Dopo aver valutato il buono stato di conservazione dei reperti, dall'analisi dei segnali isotopici è stato possibile ricostruire le fonti di approvvigionamento di acqua e le tipologie (C₃, C₄) di cibi assunti dalle specie studiate. E' stato possibile valutare la variazione nel tempo dei parametri isotopici in termini di variazioni climatiche, abitudini di vita dei diversi animali e azioni legate direttamente all'uomo.

Lo **studio paleonutrizionale** ha permesso di ricostruire i regimi dietetici dell'uomo evidenziando le seguenti caratteristiche:

- la dieta era basata principalmente su proteine provenienti da piante C₃,
- i caprini avevano un ruolo di primaria importanza nell'alimentazione umana,
- fin dai livelli più antichi, l'uomo non consumava frequentemente carne di maiale e di bue o loro derivati, e probabilmente limitava il loro consumo a occasioni speciali e momenti di festa.

Osservando le percentuali dei reperti di animali domestici rinvenuti all'interno del sito (Siracusano e Bartosiewicz, 2012), era stato ipotizzato che almeno nei livelli più antichi il consumo di buoi e maiali fosse maggiore, dato non confermato dalle analisi isotopiche.

Nel livello VIB2 l'elevato numero di umani analizzati ha rivelato un diverso accesso alle proteine tra uomini e donne, pratica probabilmente già in uso nei periodi più antichi (livello VII).

Lo studio paleonutrizionale delle faune ha permesso di risalire alla tipologia di allevamento. In particolare è emerso che le capre e le pecore venivano allevate e alimentate nello stesso modo. Osservando la dispersione del dato, si suppone che i caprini venissero tenuti in grandi greggi e occupassero un ambiente poco vario in cui cresceva una flora in prevalenza C₃.

I *Bos Taurus* presentano, a differenza di tutti gli altri animali, una componente C₄ individuabile chiaramente in tutti i livelli del sito archeologico; la dispersione dei dati e i valori relativamente elevati di azoto indicano che gli animali venivano allevati in ambienti ristretti. L'uomo probabilmente attuava uno stretto controllo su questi animali e li utilizzava principalmente come forza lavoro.

Il maiale si nutre solamente di piante C₃; in alcuni esemplari i valori di azoto sono compatibili con una dieta esclusivamente a base di vegetali. Questo indica il totale abbandono dell'allevamento di questo animale, nei livelli centrali del sito archeologico (VIA-VID), come già suggerito dagli studi archeo-zoologici.

Il cane, altro animale onnivoro, mostra i medesimi valori isotopici dell'uomo, indicando il tipico rapporto di stretta convivenza.

In tutto il record gli animali selvatici presentano una dieta esclusivamente C₃.

I valori del $\delta^{18}\text{O}_w$ suggeriscono che le fonti d'acqua fossero differenti per umani e animali: gli animali si abbeveravano da corpi d'acqua sottoposti ad una maggior evaporazione, mentre l'uomo probabilmente attingeva l'acqua da fiumi e pozzi.

Il **confronto con i dati paleoclimatici** provenienti da altre fonti ha messo in risalto le potenzialità e le problematiche del metodo. Il principale risultato del lavoro consiste nel riconoscimento della preservazione di un segnale paleoclimatico a lungo termine nei valori calcolati del $\delta^{18}\text{O}_w$, con una transizione da condizioni relativamente umide nell'intervallo tra i livelli VIA e VIB (intorno al 5000 BP) a condizioni più aride negli intervalli più recenti, e che si correla, per andamento e ampiezza della variazione, con trend simili registrati da dati isotopici provenienti dai record paleoclimatici di sedimenti lacustri collocati in regioni adiacenti all'area di studio.

Un diverso tipo di risultato consiste nel riconoscimento di due anomalie climatiche a brevissimo termine, riconosciute sulla base del confronto di diversi parametri, collocate in corrispondenza dei livelli VIA e VA, esse sono apparentemente correlabili con due picchi di aridità a scala regionale ben documentati in letteratura (~5200 BP, ~3800 BP; Bar Matthews et al., 1997; 2011).

Le problematiche emerse sono di diversa natura e sono in parte riassumibili nella dispersione eccessiva dei valori isotopici relativi a determinate specie di animali o gruppi trofici (ruminanti e onnivori), che conducono a variazioni stratigrafiche dei parametri studiati contraddittorie o inconsistenti rispetto a possibili interpretazioni paleoclimatiche. Anche se in alcuni casi è stato possibile risolvere alcune di queste problematiche a interpretazioni coerenti con lo scenario studiato (ad esempio l'influenza del foraggiamento nella dieta degli animali), è possibile ipotizzare che la discontinuità del campionamento e la diversa ampiezza cronologica degli intervalli stratigrafici studiati contribuisca a ridurre la qualità di alcuni dei proxy paleoclimatici presi in considerazione.

È interessante osservare che il picco di aridità che ha colpito la regione attorno al 5200 BP corrisponda ad uno dei momenti di maggior sviluppo di Arslantepe. Gli scavi infatti hanno portato alla luce diversi edifici (edifici di culto, di rappresentanza e magazzini), riferiti ad un unico progetto, che hanno un'estensione di circa 2000 m² e che vengono considerati la prima testimonianza di complesso palaziale di tutto il Vicino Oriente. Questo palazzo era la sede di varie attività pubbliche, religiose, politiche e economiche e amministrative gestite dalle istituzioni centrali (Frangipane, 2004). Si può dunque supporre che in questo periodo la capacità tecnologica, unita al controllo statale, abbiano permesso di moderare l'impatto del brusco cambiamento climatico sulla comunità.

BIBLIOGRAFIA

- ADAR, E.M, GEV, I., LIPP, J., YAKIR, D., GAT, J. COHEN, Y. (1995). Utilization of oxygen-18 and deuterium in stem flow for the identification of transpiration sources: soil water versus groundwater in sand dune terrain, IAHS-AISH Publication, v.232, p.329-338.
- ALESSIO, M., ALLEGRI, L., AZZI, C., BELLA, F., CALDERONI, G., CORTESI, C., IMPROTA, S., PETRONE, V. (1983). 14C Dating of Arslantepe, Origini, v.XII, II, p.575-580.
- ALVARO, C., DE PERSIIS, G. (2012). Melitene-Malatya: ricerche topografiche sul limes orientale, AAerea VI, p.101-112.
- AMBROSE, S.H. (1986). Stable carbon and nitrogen analysis of human and animal diet in Africa, Journal of human evolution, v.14, p.707-731.
- AMBROSE, S.H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis, Journal of Archaeological Science, v.17, p.431-451.
- AMBROSE, S.H. (1991). Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs, Journal of archaeological science, v.18, p.293-217.
- AMBROSE, S.H. (1993). Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. In: Sandford M.K, editor. Investigations of ancient human tissuse. Chem. Anal. in anthro. LANGHORNE, P.A: Gordon & Breach, p.59-130.
- AMBROSE, S.H., KRIEGBAUM, J. (2003). Bone chemistry and bioarchaeology, Journal of Archaeological Science, v.22(3), p.193-199.
- AMBROSE, S.H., 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, J.B., GROUPE, G., editors. Prehistoric human bone. Archaeology at the molecular level. Springer-Verlag, p.1-37.
- AMUNDSON R., AUSTIN A.T., SCHUUR E. A. G., YOO K., MATZEK V., KENDALL C., UEBERSAX A., BRENNER D., BAISDEN W. T. (2003). Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen, Global Biogeochemical Cycles, v.17, p.1031.
- ARIKAN, B. (2015). Modeling the paleoclimate (ca. 6000 e 3200 cal BP) in eastern Anatolia: the method of Macrophysical Climate Model and comparisons with proxy data, Journal of Archaeological Science, v.57, p.158-167.
- ARMS, K., CAMP, P. (1998). Biologia. Piccin editore.

- ATALAY, I. (2004). Mountain Ecosystems of Turkey. Proc. of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Bishkek, Kyrgyzstan July, 2002. Institute for Cartography Dresden University of Technology, Germany, p.29-38.
- AYLIFFE, L.K., CHIVAS, A.R. (1990). Oxygen isotope composition of the bone phosphate of Australian kangaroos: potential as a paleoenvironmental indicator, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.54, p. 2603-2609.
- AYLIFFE, L.K., CHIVAS, A.R., LEAKEY, M.G. (1994). The retention of primary oxygen isotope compositions of fossil elephant skeletal phosphate, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.58 (23), p.5291-5298.
- BALASSE, M., BOCHERENS, H., MARIOTTI, A. (1999). Intra-bone Variability of Collagen and Apatite Isotopic Composition Used as Evidence of a Change of Diet, *Journal of Archaeological Science*, v.26, p.593–598.
- BANESCHI, I., MASI, A., SADORI, L., ZANCHETTA, G. (2012). The use of stable carbon isotopes in palaeoenvironmental studies in archaeology: the example of Arslantepe (Malatya, Eastern Anatolia) from 5300 to 3950 years BP, *Società Geologica Italiana*, v.18, p.8-11.
- BAR MATTHEWS, M., AYALON, A. (2011). Mid-Holocene climate variations revealed by high resolution speleothem records from Soreq Cave, Israel and their correlation with cultural changes, *The Holocene*, v.21(1), p.163-171.
- BAR-MATTHEWS, M., AYALON, A. (1997). Late Quaternary Paleoclimate in the Eastern Mediterranean Region from Stable Isotope Analysis of Speleothems at Soreq Cave, Israel, *Quaternary Research*, v.47, p.155-168.
- BARTOSIEWICZ, L. (2004). L'allevamento. In *Alle origini del potere. Arslantepe, la collina dei leoni*, a cura di FRANGIPANE, M. Electa.
- BARTOSIEWICZ, L. (2010). Herding in period VI A. Development and changes from period VII, in FRANGIPANE, M. editor. *Economic Centralisation in Formative States. The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th Millennium Arslantepe*, v.3, Sapienza Università Di Roma.
- BERNA, F., MATTEWS, A., WEINER, S. (2004). Solubilities of bone mineral from archaeological sites: the recrystallization window, *Journal of Archaeological Science*, v.31, p.867-882.
- BOCHERENS H., DRUCKER, D. (2003). Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: Case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *International Journal of Osteoarchaeology*, v.13(1-2), p.46-53.

- BOCHERENS, H., (2001). Reconstitutions paléoenvironnementales et paléolalimentaire par la marquage isotopique nature des vertébrés et des plantes fossils en milieu continental, Dossier non pubblicato.
- BOCHERENS, H., FIZET, M., MARIOTTI, A., LANGE-BADRE, B., VANDERMEERSCH, B., BOREL, J.P., BELLON, G. (1991). Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) of fossil vertebrate collagen: implications for the study of fossil food web including Neanderthal Man, *Journal Human Evolution*, v.20, p.481-492.
- BOCHERENS, H., FOGEL, M.L., TUROSS, N., ZADER, M. (1995). Trophic structure and climatic information from isotopic signatures in Pleistocene cave fauna of southern England, *Journal of Archaeological Science*, v.22, p.237-240.
- BOSCHETTI, T. IACUMIN, P. (2005). Continuous-flow d18O measurements: new approach to standardization, high-temperature thermodynamic and sulfate analysis, *Rapid Commun. Mass Spectrom*, v.19, p.3007-3014.
- BRAYSHAW, D. J., RAMBEAU, C. M. C., SMITH, S. J. (2011). Changes in Mediterranean climate during the Holocene: insights from global and regional climate modelling. *The Holocene*, v.21 (1), p.15-31.
- BROOKS, N. (2010). Human Responses to Climatically-driven Landscape and Resource-Scarcity. In: MARTINI P., CHESWORTH W., Springer Netherlands Eds., *Landscapes and Societies: Selected Cases*.
- BRYANT, J., D., FROELICH, P., N. (1995). A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.59(21), p.4523-4537.
- BRYSON, R. A. (2005). Archeoclimatology. In *Encyclopedia of World Climatology*, edited by J. E. Oliver, *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, New York, p. 58-63.
- BULUT, Z., YILMAZ, H. (2010). The current situation of threatened endemic flora in Turkey: kemaliye (erzincan) case, *Pak. J. Bot.*, v.42(2), p.711-719.
- Bumsted, M.P. (1985). Past human behavior from bone chemical analysis. Respect and prospective. *Journal of human evolution*, v.14(5), p.539-551.
- CLARK, I.D., FRITZ, P. (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*, New York, Lewis Publishers, p.328.
- COLAK, A.H., ROTHERHAM, I.D. (2006). A review of the forest vegetation of Turkey: its status past and present and its future conservation. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, v.106B, p.343-354.

COLLINS, M.J., NIELSEN-MARSH, C.M., HILLER, J., SMITH, C.J., ROBERTS, J.P., PRIGODICH, R.V., WEISS, T.J., CSAPO', J., MILLARD, A.R., TURNER-WALKER, G. (2002). The survival of organic matter in bone: a review, *Archaeometry*, v.44, p.383-394.

COPLEN, T.B. (2000). Laboratory information management system (LIMS) for light stable isotopes. US Geological Survey, open-file report 00-345, p.121.

CULLEN, H. M., DEMENOCAL, P. B., HEMMING, S., HEMMING, G., BROWN, F. H., GUILDERTSON, T., SIROCKO, F. (2000). Climate change and the collapse of the Akkadian empire: evidence from the deep sea. *Geology*, v.28, p.379-382.

D'AMELIO, L., FLORA, O., LONGINELLI, A. (1994). Environmental isotope data: oxygen isotope concentration in precipitation in N-E Italy (Friuli-Venezia Giulia), *Mineralogica et Petrographica Acta*, v.37, p.113-124.

DANSGAARD, W. (1964). Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, v.16, p.75-82.

DAUX, V., LÉCUYER, C., HERAN, M-A., AMIOT, R., SIMON, L., FOUREL, F., MARTINEAU, F., LYNNERUP, N., REYCHLER, H., ESCARGUEL, G. (2008). Oxygen isotope fractionation between human phosphate and water revisited. *Journal of Human Evolution*, v.55, p.1138-1147.

DAVIS, P.H. (1965-1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, vol.1-9.

DE NIRO, M.J. (1985). Post-mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction, *Nature*, v.317, p.806-809.

DE NIRO, M.J., EPSTEIN, S. (1981). Influence of diet on the distribution of the nitrogen isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.45, p.341-351.

DELGADO HUERTAS, A., IACUMIN, P., STENNI, B., SANCHEZ CHILLON, B., LONGINELLI, A. (1995). Oxygen isotope variations of phosphate in mammalian bone and tooth enamel. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.59, p.4299-4305.

DRAKE, A.G. (2015). 3D morphometric analysis of fossil canid skulls contradicts the suggested domestication of dogs during the late Paleolithic, *Scientific Reports*, v.5, Article number: 8299.

EDAL, Y.S. (2012). The population replacement at Arslantepe: reflections on the human remains, *Orini XXXIV*, p.301-316.

ELLIOTT, J.C. (2002). Calcium phosphate biominerals. In: KOHN M.J., ROKOVAN J., HUGES J.M., editors. *Review in mineralogy and geochemistry*. Washington: Mineralogical Society of America, p.427-453.

- FARQUHAR, G.D., SHARKEY, T.D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis, *Annual Review of Plant Physiology*, v.33, p.317-345.
- FRANGIPANE, M. (2000). The late chalcolithic/EB I sequence at Arslantepe. Chronological and cultural remarks from a frontier site. In: MARRO, C., HAUPTMANN, H. (eds.). *Chronologies des pays du Caucase et de l'Euphrate aux IVe- IIIe millénaires*. Istitut francais d'études antoliennes d'Istanbul de Boccard, p.439-471.
- FRANGIPANE, M. (2004). *Alle origini del Potere*. Arslantepe, La collina dei leoni. Mondadori Electa, Milano.
- FRANGIPANE, M. (2012a). Fourth millenium Arslantepe: the development of a Centralised society without urbanization, *Origini XXXIV*, p.19-40.
- FRANGIPANE, M. (2012b). The collapse of the 4th millennium centralized system at Arslantepe and the far-reaching changes in 3rd millennium societies, *Origini XXXIV*, p.237-260.
- FRANGIPANE, M., DI NOCERA, G.M., HAUPTMANN, A., MORBIDELLI, P., PALMIERI, A., SADORI, L., SCHULTZ, M., SCHMIDT-SCHULTZ, T. (2001), New Symbols of a New Power in a "Royal" Tomb from 3000 BC Arslantepe, Malatya (Turkey), *Paléorient* 27(2), p.105-139.
- FRIEDLI, H., LÖTSCHER, H., OESCHGER, H., SIEGENTHALER, U., STAUFFER, B. (1986). Ice core record of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO_2 in the past Two centuries, *Nature*, v.324, p.237-238.
- GIARDINA, B. (1962). *Manuale di statistica*, F. Angeli, Milano.
- GRADSTEIN, F. M., OGG, J. G., SCHMITZ, M. D., OGG, G. M. (eds.). (2012). *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, p.1144.
- HARE, P.E. (1980). Organic geochemistry of bones, and its relation to the survival of bone in the natural environment, in *Fossils in the making* (eds. BEHRENMAYER, A.K., HILL, A.P.), p. 208-219, The University of Chicago Press, Chicago.
- HEDGES, R.E.M. (2002). Bone diagenesis: an overview of process, *Archaeometry*, v.44(3), p.319-328.
- HEDGES, R.E.M., MILLARD, A.R. (1995). Measurement and relationship of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites, *Journal of Archaeological Science*, v.22, p. 201-211.
- HEDGES, R.E.M., REYNARD, L.M. (2007). Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, v.34, p.1240-1251.

- HILLSON, S. (1986). *Teeth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HOEFES, J. (1997). *Stable isotope geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, p.201.
- IACUMIN, P., BOCHERENS, H., MARIOTTI, A., LONGINELLI, A. (1996). Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate?, *Earth and Planetary Science Letters*, v.142 (1-2), p.1-6.
- IACUMIN, P., GALLI, E., CAVALLI, F., CECERE, L. (2014). C4- Consumers in Southern Europe: The case of Friuli V.G. (NE-Italy) During Early and Central Middle Ages, *American Journal of Physical Anthropology*, v.154, p.561-574.
- IACUMIN, P., NIKOLAEV, V., GENONI, L., RAMIGNI, M., RYSKOV, YA G., LONGINELLI, A. (2004). Stable isotope analyses of mammal skeletal remains of Holocene age from European Russia: A way to trace dietary and environmental changes, *Geobios*, v.37, p.37-47.
- IACUMIN, P., VENTURELLI, G. (2015). The $\delta^{18}\text{O}$ of phosphate of ancient human biogenic apatite can really be used for quantitative palaeoclimate reconstruction? *European scientific journal edition*, vol.11, no.9.
- JIM, S., AMBROSE, S., H., EVERSLED, R. P. (2004). Stable carbon isotopic evidence for differences in the dietary origin of bone cholesterol, collagen and apatite: Implications for their use in palaeodietary reconstruction, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68(1), p.61-72.
- JONES, A.M., O'CONNELL, T.C., Young, E.D., SCOTT, K., BUCKINGHAM, C.M., IACUMIN, P., BRASIER, M.D. (2001). Biogeochemical data from well preserved 200 ka collagen and skeletal remains, *Earth and Planetary Science Letters*, v.193, p.143-149.
- JONES, M., D., ROBERTS, C., N. LENG, M., J. (2007). Quantifying climatic change through the last glacial–interglacial transition based on lake isotope palaeohydrology from central Turkey, *Quaternary Research*, v.67, p.463-473.
- JONES, M.D., ROBERTS, C. N., LENG, M. J., TÜRKEŞ, M. (2006). A high-resolution late Holocene lake isotope record from Turkey and links to North Atlantic and monsoon climate. *Geology*, v.34(5), p.361-364.
- JONES, M.D., ROBERTS, N. (2008) Interpreting lake isotope records of Holocene environmental change in the Eastern Mediterranean, *Quaternary International*, v.181, p.32-38.

- KATTAN, Z. (2012). Chemical and isotopic compositions of the Euphrates River water, Syria. In *Monitoring Isotopes in Rivers: Creation of the Global Network of Isotopes in Rivers (GNIR). Results of a Coordinated Research Project 2002–2006*. IAEA-TECDOC-1673.
- KAYA, Z., RAYNAL, D.J. (2001). Biodiversity and conservation of Turkish forests, *Biol. Conserv.*, v.97, p.131-141.
- KELLNER, C.M., SCHOENINGER, M.J. (2007). A simple carbon isotope model for reconstructing prehistoric human diet, *American Journal of Physical Anthropology*, v.133, p.1112-1127.
- LEE-THORP, J.A. (2002). Two decades of progress towards understanding fossilization processes and isotopic signals in calcified tissue minerals, *Archaeometry*, v.44, p.435-446.
- 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, *J. Archaeol Sci*, v.16, p.585-599.
- LEE-THORP, J.A., VAN DER MERWE, N.J. (1987). Carbon isotope analysis of fossil bone apatite, *South Africa Journal of Science*, v.83, p.712-715.
- LEGEROS, R.Z. (1991). *Calcium phosphates in oral biology and medicine*, Karger, Paris.
- LEMCKE, G., STURM, M. (1997). $\delta^{18}\text{O}$ and trace element measurements as proxy for the reconstruction of climate changes at Lake Van (Turkey): preliminary results. In DALFES, H.N., KUKLA, G., WEISS, H. (eds.). *Third millennium BC climate change and Old World collapse*. NATO ASI Series, I/49. Berlin, p.653-78.
- LEVINSON, A.A., LUZ, B., KOLODNY, Y. (1987). Variations in oxygen isotopic compositions of human teeth and urinary stones. *Appl. Geochem.*, v.2, p.367-371.
- LITT, T., KRASTEL, S., STURM, M., KIPFER, R., ORCEN, S., HEUMANN, G., FRANZ, S., O., ULGEN, U., B., NIESSEN, F. (2009). 'PALEOVAN', International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): site survey results and perspectives, *Quaternary Science Reviews*, v.28, p.1555-1567.
- LONGIN, R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating, *Nature*, v.230, p.241-242.
- LONGINELLI, A. (1984). Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research?, *Geochimica et Cosmochimica acta*, v.48, p.385-390.
- LONGINELLI, A., DEGANELLO, S. (1999). *Introduzione alla geochemica*, v.1, ed. Utet, Torino.

- LONGINELLI, A., PERETTI PALADINO, A. (1980). Oxygen isotope composition of water from mammal blood: first result. *Mass spectrometry in biochemical medical and environmental research*, v.1, p.135-139.
- LONGINELLI, A., SELMO, E.M. (2003). Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map, *Journal of Hydrogeology*, v.270(1-2), p.75-88.
- LÖSCH, S., GRUPE, G., PETERS, J.(2006). Stable isotopes and dietary adaptations in humans and animals at Pre-Pottery Neolithic Nevalı Cori, southeast Anatolia. *J. Phys. Anthropol*, v.131, p.181-193.
- LUZ, B., KOLODNY, Y., HOROWITZ, M. (1984). Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.48, p.1689-1693.
- MARCOLONGO, B., PALMIERI, A., M. (1983). Environment, water supply and cultural development at Arslantepe (Malatya, Turkey), *ORIGINI Preistoria e protostoria delle civiltà antiche*, p.619-628.
- MARIOTTI, A., PIERRE, D., VEDY, J.C., BRUCKERT, S., GUILLEMOT, J. (1980). The abundance of natural nitrogen 15 in the organic matter of soils along an altitudinal gradient (Chablai, haute Savoie, France), *Catena*, v.7(4), p.293-300.
- MASI, A., SADORI, L., BALOSSI RESTELLI, F., BANESCHI, I., ZANCHETTA, G. (2014). Stable carbon isotope analysis as a crop management indicator at Arslantepe (Malatya, Turkey) during the Late Chalcolithic and Early Bronze Age, *Veget. Hist. Archaeobot.*, v.23, p.751-760.
- MASI, A., SADORI, L., BANESCHI, I., SIANI, A. M., ZANCHETTA, G., (2012). Stable isotope analysis of archaeological oak charcoal from eastern Anatolia as a marker of mid-Holocene climate change, *Plant biology*, p.1-10.
- MASI, A., SADORI, L., ZANCHETTA, G., BANESCHI, I., GIARDINI, M. (2013). Climatic interpretation of carbon isotope content of mid-Holocene archaeological charcoals from eastern Anatolia, *Quaternary International*, v.303, p.64-72.
- MEDINA, E., MINCHIN, P. (1980). Stratification of ^{13}C values of leaves in Amazonian rain forests, *Oecologia*, v.45, p.377-378.
- MIGOWSKI, C., STEIN, M., PRASAD, S., NEGENDANK, J. F. W., AGNON, A. (2006). Holocene climate variability and cultural evolution in the Near East from the Dead Sea sedimentary record. *Quaternary Research*, v.66, p.421-431.

MILES, C.A, SIONKOWSKA, A., HULIN, S.L., SIMS, T.J., AVERY, N.C., BAILEY, A.J. (2000). Identification of an intermediate state in the helix-coil degradation of collagen by ultraviolet light, *Journal of Biological Chemistry*, v.275, 33, p.14-20.

MORSE, J.W., MACKENZIE, T. (1990). *Geochemistry of Sedimentary Carbonates*. Elsevier, Amsterdam.

NETTER, F.H. (2003). *Atlante di anatomia umana*, Ed. Masson.

NIELSEN-MARSH, C.M., HEDGES, R.E.M. (2000). Patterns of diagenesis in bone I: the effects of site environments. *J. Archaeol. Sci.*, v.27, p.1139-1150.

NIELSEN-MARSH, C.M., SMITH, C.I, JANS, M.M.E., NORD, A., KARS, H., COLLIS, M.J.(1997). Bone diagenesis in the European Holocene II: taphonomic and environmental considerations. *J. Archaeol. Sci.*, v.27, p.1139-1150.

O'CONNELL, T. C., HEDGES, R.E.M. (2001). Isotopic Comparison of Hair, Nail and Bone: Modern Analyses. *Journal of Archaeological Science*, v.28, p.1247-1255.

O'CONNELL, T.C., KNEALE, C.J., TASEVSKA, N, KUHNLE, G.G.C. (2012). The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: a controlled dietary study. *Am J Phys Anthropol*, v.149, p.426-434.

O'LEARY (1981). Carbon Isotope Fractionation in Plants, *Phytochemistry*, v.20(4).

PALMIERI A., CANEVA I., AMIET P., (1973). Scavi nell'area sud-occidentale di Arslantepe: ritrovamento di una struttura templare dell'antica età del bronzo, *Origini VII*, p.55-182.

PALMIERI, A. (1978). Scavi ad Arslantepe (Malatya), quaderni de "la ricerca scientifica", CNR, Roma, v.100, p.311-352.

PASSEY, B.H., ROBINSON, T.F., AYLIFFE, L.K., CERLING, T.E., SPONHEIMER, M., DEARING, D.M., ROEDER, B.L., EHLENGER, J.R. (2005). Carbon isotope fractionation between diet, breath CO₂, and bioapatite in different mammals. *Journal of archaeological science*, v.32, p.1459-1470.

PAYNE, S. (1973). Kill-off patterns in sheep and goats: The mandibles from As ,van Kale. *J. Anatol. Stud.*, v.23, p.281-303.

PEARSON, J.A., BUITENHUIS, H., HEDGES, R.E.M., MARTIN, L., RUSSELL, N., TWISS K.C. (2007). New light on early caprine herding strategies from isotope analysis: a case study from Neolithic Anatolia. *Journal of Archaeological Science*, v.34, p.2170-2179.

- RICHARDS, M.P., PEARSON, J.A., RUSSELL, N., MOLLESON, T.I., MARTIN, L. (2003). Stable isotope evidence of diet at Neolithic Catalhoyuk, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, v.30, p.67-76.
- ROBERTS N., EASTWOOD W.J., KUZUKUOĞLU C., FIORENTINO G., CARACUTA V. (2011). Climatic, vegetation and cultural change in the eastern Mediterranean during the mid-Holocene environmental transition. *The Holocene*, v.21, p.147-162.
- ROBERTS, N., REED, J.M., LENG, M.J., KUZUCUOĞLU, C., FONTUGNE, M., BERTAUX, J. et al. (2001). The tempo of Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: New high-resolution crater-lake sediments data from central Turkey. *The Holocene*, v.11, p.721-736.
- RODWELL, M. J. AND HOSKINS, B. J. (1996). Monsoons and the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Meteorological Society*, v.122, p.1385-1404.
- RODWELL, M. J. AND HOSKINS, B. J. (2001). Subtropical anticyclones and summer monsoons, *Journal of Climate*, v.14, p.3192-3211.
- SCHWARCZ, H.P., MELBYE, F.J., KATZEMBERG, M.A., KYNF, M. (1985). Stable isotope in human skeletons of Southern Ontario: reconstructing paleodiet. *Journal of archaeological science*, v.12, p.187-206.
- SEALY, J. (2001). Body tissue chemistry and palaeodiet. In: BROTHWELL, D.R., POLLARD, A.M., editors. *Handbook of archaeological sciences*. Chichester: John Wiley & Sons., p.269-279.
- SENSOY, S., DEMIRCAN M., ULUPINAR, U., BALTA. (2008). Climate of Turkey. <http://www.mgm.gov.tr/files/en-us/climateofturkey>.
- SHERRATT, A. G. (1983). The secondary products revolution of animals in the old World. *World Archaeology*, v.15(1), p.90-104.
- SIRACUSANO, G., BARTOSIEWICZ, L. (2012). Meat consumption and sheep/goat exploitation in centralised and non centralised economies at Arslantepe, Anatolia. *Origini XXXIV*, p.111-123.
- SMITH, B.N. (1972). Natural abundance of the stable isotopes of carbon in biological systems, *American Institute of Biological Sciences*, v.22(4), p.226-231.
- STAUBWASSER, M, WEISS, H. (2006). Holocene climate and cultural evolution in late prehistoric–early historic West Asia. *Quaternary Research*, v. 66, p.372-387.

- STEPHAN, E. (2000). Oxygen Isotope analysis of animal bone phosphate: method refinement, influence of consolidants, and reconstruction of paleotemperatures for Holocene sites, *Journal of Archaeological Science*, v.27, p.523-535.
- STEVENS, R.E., LIGHTFOOT, E., HAMILTON, J., CUNLIFFE, B., HEDGES, R.E.M. (2010). Stable isotope investigations of the Danebury hill fort pit burials. *Oxford J. Archaeol.*, v.29, p.407-428.
- STUIVER, M., BRAZUNIAS, T.F. (1987). Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climate change, *Nature*, v.328, p.58-60.
- SULLIVAN, C.H., KRUEGER, H.W. (1981). Carbon isotope analysis of separate chemical-phases in modern and fossil bone, *Nature*, v.292, p.333-335.
- SULLIVAN, C.H., KRUEGER, H.W. (1983). Carbon isotope ratios of bone apatite and animal diet reconstruction, *Nature*, v.301, p.177-178.
- TIESZEN, L.L., BOUTTON, T.W., TESDAHL, K.G., SLADE, N.A. (1983). Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet, *Oecologia*, v.57, p.1-2.
- TRUEMAN, C.N.G., BEHRENSMEYER, A.K., TUROSS, N., WEINER, S. (2004). Mineralogical and compositional changes in bones exposed on soil surfaces in Amboseli National Park, Kenya: diagenetic mechanism and the role of sediment pore fluids, *Journal of Archaeological Science*, v.31, p.721-739.
- TÜRKMEN, A., AKSOY, E., TAOGIN, C.K. (2007). Alluvial and lacustrine facies in an extensional basin: The Miocene of Malatya basin, eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, v.30(1), p.181-198.
- WANNER, H., SOLOMINA, O., GROSJEAN, M., RITZ, S. P., JETEL, M. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, v.30, p.3109-3123.
- WEINER, S., BAR-JOSEF, O. (1990). States of preservation of bones from prehistoric sites in the Near-East: a survey, *Journal of Archaeological Science*, v.17, p.187-196.
- WHITE, W.M. (2009). Geochemistry (testo pubblico on line).
- WICK, L., LEMCKE, G., STURM, M. (2003). Evidence of Late glacial and Holocene climatic change and human impact in eastern Anatolia: high-resolution pollen, charcoal, isotopic and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van, Turkey, *The Holocene*, v.13(5), p.665-675.

WOLDRING, H., BOTTEMA, S. (2003). The vegetaton history of east-central anatolia in relation to archaeology: the eski acigol pollen evidence compared with the near eas tern environment. *Palaeohistoria*, v.43/44, p.53-66.

YILDIZ, B. (2004). Floristic Characteristics of BeydaŰ (Malatya), *Turk. J. Bot.*, v.28, p.391-419.

SITI CONSULTATI:

<http://tayproject.org>.

<http://w3.uniroma1.it/arslantepe/>

<https://www.google.it/maps/>

<http://www.mgm.gov.tr/files/en-us/climateofturkey>

APPENDICI

APPENDICE 1

METODOLOGIE CHIMICHE

A1.1 Preparazione dei campioni

Le preparazioni sono state eseguite presso il Laboratorio di Geochimica Isotopica del dipartimento di Fisica e Scienze della Terra “Macedonio Melloni” dell’Università degli Studi di Parma.

A1.1.1 Fase inorganica: procedura chimica per l'estrazione di C e O

Per la preparazione dei campioni per l'estrazione della frazione inorganica i campioni sono stati sottoposti ad un trattamento meccanico di pulitura (Fig. 48.a), a cui è seguito un prelievo di una quantità di campione compresa tra i 200 e i 250 mg e la macinazione ($\varnothing < 0,3\text{mm}$; Fig. 48.b). La polvere viene fatta reagire con NaClO al 2-3% per 24h su agitatore rotante per rimuovere la fase organica presente. Dopo aver sciacquato il campione con acqua deionizzata si fa reagire per 24h con una soluzione tampone di acido acetico e acetato di calcio 1M per eliminare i carbonati di origine diagenetica e poi sciacquato fino a pH neutro (Fig. 48.c). La polvere così ottenuta viene messa a seccare in stufa a 60°C per circa un giorno e ri-omogeneizzata con il mortaio d'agata (Lee-Thorp et al., 1989; Bocherens et al., 1991). Dopo aver purificato la polvere proveniente dal campione osteologico si procede ad estrarre la CO_2 proveniente dal gruppo CO_3^- dell'apatite biogenica con l'utilizzo di una linea manuale ad alto vuoto (Fig. 48.d).



Figura 48: Procedura di preparazione dei carbonati, descrizione nel testo

A1.1.2 Fase inorganica: procedura chimica per l'estrazione dell'O dal fosfato

Per la procedura di preparazione dei fosfati (Stephan, 2000) vengono prelevati circa 40 mg di campione e macinati. La polvere viene fatta reagire con 2 ml di ipoclorito di sodio al 2,5% (NaClO) a temperatura ambiente per 24h su agitatore rotante per rimuovere la fase organica presente. Portata la soluzione a pH neutro i campioni vengono fatti reagire per 48h a temperatura ambiente con NaOH 0,125M per dissolvere gli acidi umici e poi sciacquati con acqua deionizzata fino ad ottenere un pH neutro.

Al campione si aggiungono 2 ml di HF 2M per 24h a temperatura ambiente in modo da disciogliere l'apatite e far precipitare CaF_2 . Si conserva il surnatante, contenente l'apatite disciolta, e si aggiungono 3 ml di KOH per basificare la soluzione.

Si aggiungono 200 ml di H_2O bi-distillata e 30 ml di AgNO_3 0,2 M. I becker contenenti le soluzioni vengono adagiati in un bagno termostatico a 70°C per 5h fino a quando tutti i cristalli di Ag_3PO_4 non sono precipitati (Fig. 49.a). I campioni vengono fatti raffreddare a temperatura ambiente e successivamente filtrati con un filtro in acetato di cellulosa (Fig. 49.b), sciacquati con abbondante acqua deionizzata e seccati in stufa a 50°C per circa mezz'ora (Fig. 49.c). Il campione (Fig. 49.d) viene poi pesato in triplo all'interno di capsule di stagno(3,2x4mm), contenenti anche *Glassy Carbon* (0,3 mg) e AgCl (0,5-1 mg). La quantità di campione utilizzata per l'analisi di O_{ph} è di 0,30 mg.

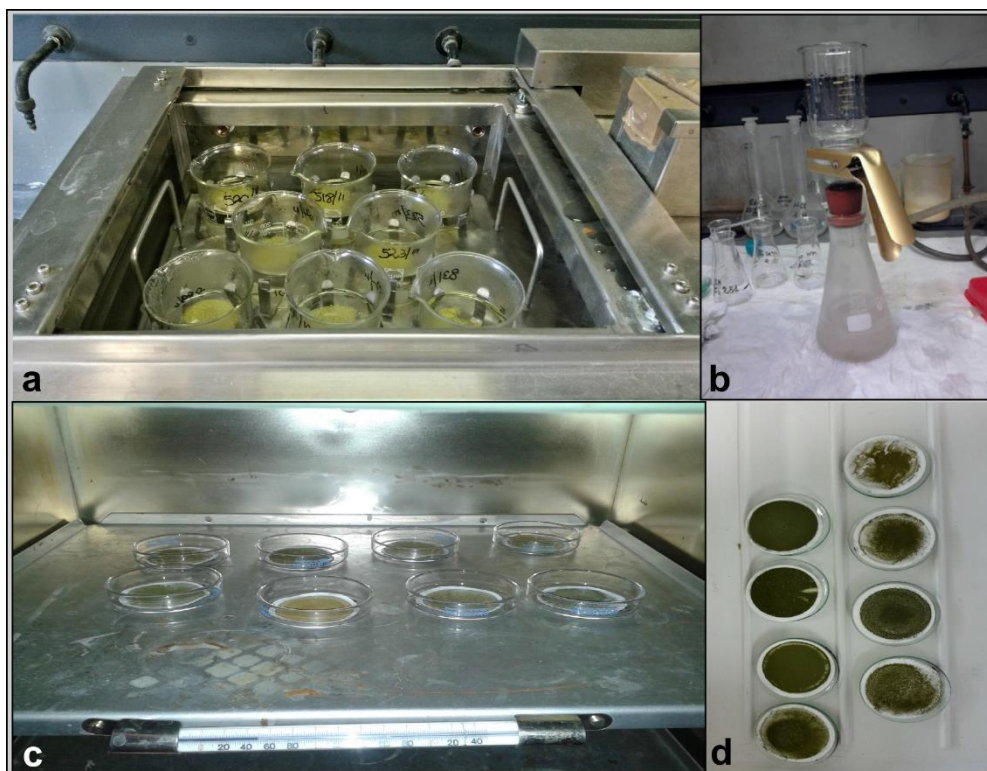


Figura 49: Procedura di preparazione dei fosfati, descrizione nel testo

A1.1.3 Fase organica: procedura chimica per l'estrazione di C e N

Per il trattamento della fase organica dei reperti si procede alla pulitura del campione con l'utilizzo di un trapano elettrico a cui segue una triturazione grossolana. Viene prelevata una quantità variabile di campione compresa tra i 150 e i 170 mg. Per eliminare la fase minerale si aggiunge nella provetta HCl 0,5M per 72h ad una temperatura di 4°C sostituendo l'acido dopo le prime 48h. Dopo aver neutralizzato il campione lo si fa reagire con NaOH 0,125 M per 20h, si sciacqua poi sino a neutralità. Successivamente viene inserito in stufa alla temperatura di 100°C per 17h affinché il campione si disciolga. La soluzione viene congelata e quindi messa in liofilizzatore per almeno 48h (Longin, 1971; Ambrose, 1990; Bocherens et al., 1991; Fig. 50.a).

Il campione di collagene (Fig. 50.b) viene poi pesato in doppio all'interno di capsule di stagno (3,3x5 mm). La quantità di campione utilizzata per l'analisi di C è di 0,060 mg mentre per N è di 0,250 mg (Fig. 50.c).

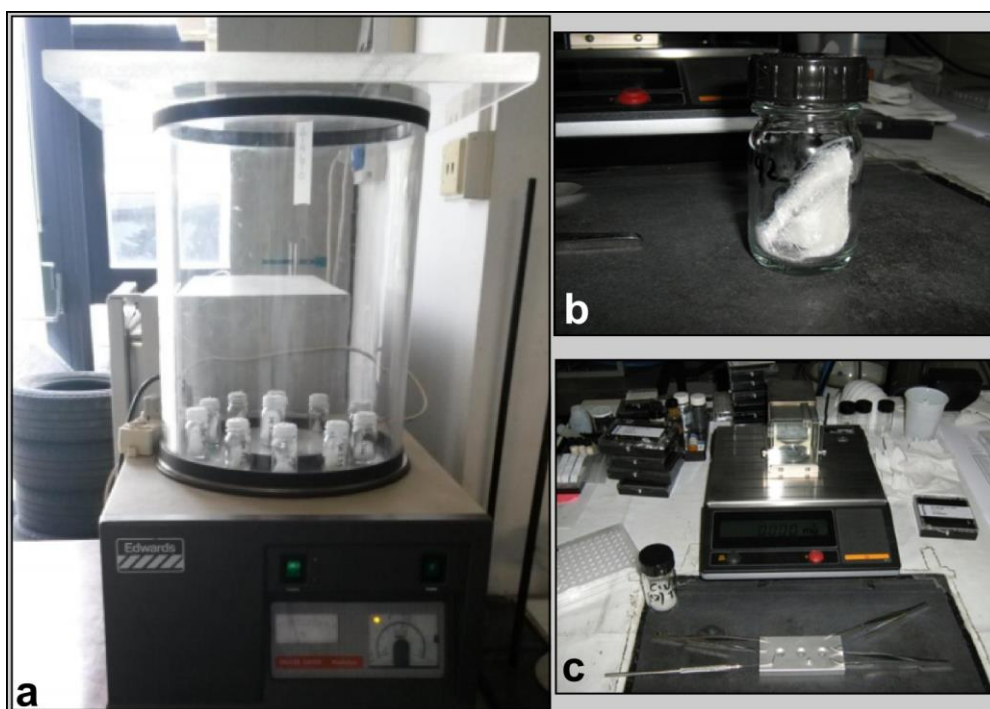


Figura 50: Procedura di preparazione del collagene, descrizione nel testo

APPENDICE 2

STRUMENTAZIONE

A2.1 Gli spettrometri di massa e analizzatori elementari

Le analisi isotopiche sono state eseguite presso il Laboratorio di Geochimica Isotopica del dipartimento di Fisica e Scienze della Terra “Macedonio Melloni” dell’Università degli Studi di Parma.

A2.1.1 Lo spettrometro di massa per elementi leggeri - PRINCIPI -

Gli spettrometri nel campo della geochimica degli isotopi stabili vengono usati per misurare i rapporti di abbondanza tra gli isotopi di elementi leggeri di un campione trasformato precedentemente in un gas. Uno spettrometro di massa non misura direttamente l’abbondanza di un isotopo ma dà il rapporto di due isotopi di un elemento con accurata precisione riportando il valore non come assoluto ma come differenza rispetto ad un composto standard, al quale si riferiscono tutte le misure di quel tipo.

Il funzionamento dello spettrometro dipende dalla capacità di un campo magnetico di deflettere un fascio di ioni. Il raggio di curvatura (r) dipende dalla carica e dalla massa, è direttamente proporzionale alla quantità di moto dello ione (mv) e inversamente proporzionale al campo magnetico di intensità H .

Gli ioni hanno un energia pari a: $e \cdot V = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

con: V =voltage del campo elettrico, e = carica dello ione; m = massa e v = velocità.

La forza magnetica centripeta esercitata dal campo su ogni ione (**HeV**) si bilancia con la forza centrifuga mv^2/r , derivante dall’accelerazione, secondo la relazione: **HeV = mv^2/r** se si sostituisce v nell’equazione $e \cdot V = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ si ottiene il raggio di curvatura **$r = 1/H \sqrt{2Vm/e}$**

Da questa relazione si ricava che per un dato valore di H e V , solo le particelle con diverso rapporto m/e avranno traiettorie con raggi di curvatura differenti. Nella maggior parte dei casi gli ioni hanno carica unitaria, dunque, la separazione avverrà solamente in base alla loro massa (m).

Lo spettrometro (Fig. 51) è costituito da una **sorgente**, un filamento di tungsteno incandescente, che emette elettroni che ionizzano il gas. Un **tubo** in acciaio inox, è la parte che collega tra loro la sorgente e i **collettori** che raccolgono le masse da rilevare. Il tubo ha una forma ad U con un raggio di curvatura variabile, immerso in un campo magnetico, generato da un **magnete** permanente o da un elettromagnete, che risulta ortogonale al

moto degli ioni, e con una intensità dell'ordine di 5000-7000 Öersted. Il **sistema di pompaggio** permette di mantenere tutti questi componenti ad un vuoto spinto, 10^{-8} - 10^{-9} mmHg, tramite una pompa turbo-molecolare accoppiata ad una pompa meccanica rotativa a doppio stadio che permette di creare un pre-vuoto.

Esistono due tipologie di spettrometri di massa per elementi leggeri: **continuous flow** e **dual inlet** (Fig. 51).

Per ovviare alla presenza dell'errore strumentale associato ad ogni misura la determinazione del δ avviene attraverso un confronto contemporaneo tra il campione e lo standard di riferimento.

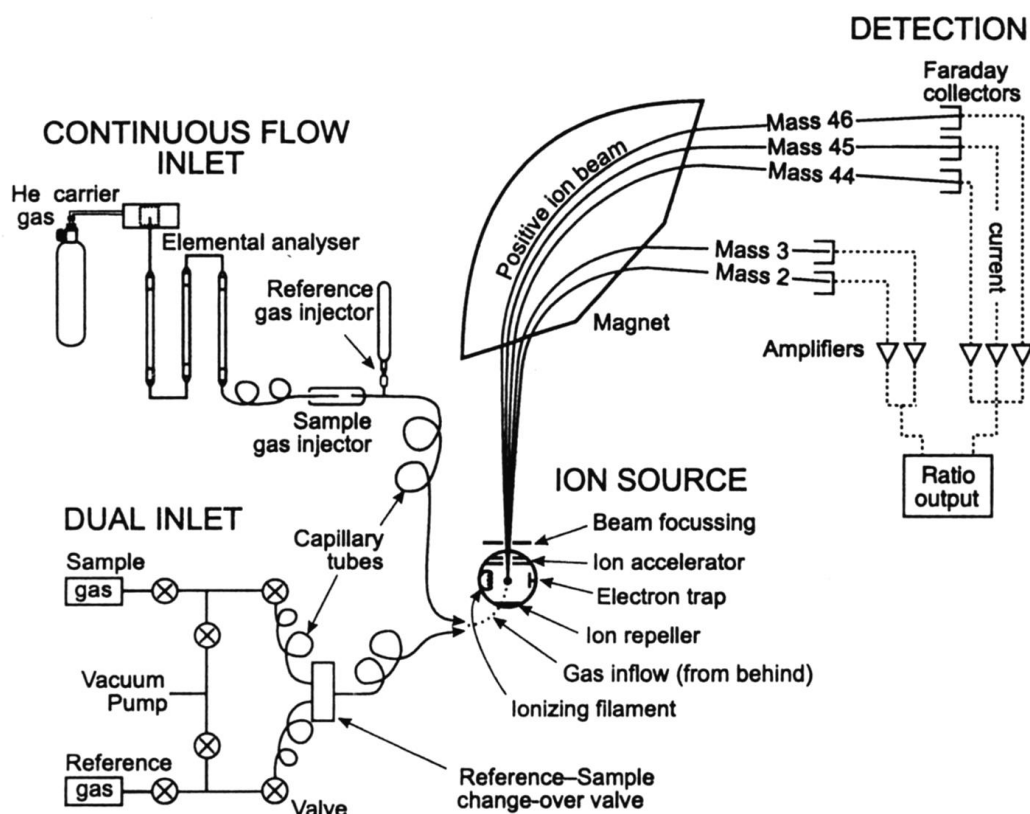


Figura 51: Schema dello spettrometro di massa per elementi leggeri configurato continuous flow (in alto a sx) e dual inlet (in basso a sx). (Da Clark e Fritz, 1997).

Dual Inlet

L'utilizzo di spettrometri **dual inlet** permette di introdurre alternativamente il campione e lo standard consentendo vari confronti tra i due gas e ottenendo così un valore medio dei confronti.

La precisione di questo valore è funzione dell'abbondanza relativa dei due isotopi che vengono misurati e della riproducibilità interna dello strumento. Per una buona accuratezza

del valore del campione analizzato è necessario l'uso di standard con un rapporto isotopico non troppo dissimile da quello del campione. Nel Laboratorio di Geochimica Isotopica dell'Università degli Studi di Parma, per condurre le analisi di O e C del gruppo carbonato dell'idrossiapatite, viene utilizzato uno standard interno a composizione isotopica nota (Mab 99): $^{13}\delta = +2,45 \text{ V-Pdb}$, $^{18}\delta = -2,43 \text{ V-Pdb}$, $^{18}\delta = +28,33 \text{ V-Smow}$.

Lo spettrometro per elementi leggeri utilizzato per analisi di C e O è del tipo Finnigan Delta S ad espansione di gas.

Continuous flow

Lo spettrometro di massa a **flusso continuo** si caratterizza per un flusso continuo di elio che scorre alla velocità di 80 ml/min verso la sorgente dello spettrometro trascinando con sé i gas relativi a standard e campione. Si differenziano dagli spettrometri convenzionali per il metodo in cui si ha l'immissione dei campioni, in modo alternato, e per la presenza di vuoto molto spinto 10^{-8} mmHg .

Questa tipologia di spettrometri lavora a una pressione di circa 10^{-6} mmHg .

Nello spettrometro a flusso continuo il confronto tra gas standard e gas del campione viene effettuato solamente una volta e questo va a discapito dell'accuratezza e della precisione della misura. Possiede però il vantaggio di poter ridurre la quantità di gas campione necessaria per una analisi fino a tre ordini di grandezza inferiori rispetto allo spettrometro ad espansione di gas.

L'analisi del collagene è stata effettuata utilizzando uno spettrometro di massa a flusso continuo per elementi leggeri (Delta Plus XP Thermo Finnigan) collegato ad un analizzatore elementare EA/NA-1100 configurato CHN (Thermo Finnigan), mentre l'analisi dell'ossigeno del gruppo fosfato è stata eseguita con lo stesso spettrometro ma utilizzando un analizzatore elementare TC-EA (Thermo).

A2.1.2 Analizzatori elementari

Un analizzatore elementare (EA) è uno strumento che permette la determinazione qualitativa e quantitativa di un dato elemento, rilevandone l'abbondanza isotopica.

CHN

Questa tipologia di analizzatore viene usata per l'analisi di carbonio e azoto, tutti i campioni vengono analizzati in doppio per migliorare l'accuratezza della misura.

Il meccanismo di funzionamento è basato su due reazioni che si realizzano all'interno di due diversi tubi in quarzo (18,5x450 mm): la prima reazione è una combustione controllata detta "*flash combustion*" (ossidazione catalitica) mentre la seconda è una reazione di riduzione (Fig. 52.a).

Dopo una adeguata preparazione e pesatura il campione, racchiuso in capsule di stagno (3,3x5mm), viene inserito nell'auto-campionatore che lo fa cadere all'interno del primo reattore (ossido di cromo e cobalto di argento) dove subisce la prima reazione (ossidazione) ad una temperatura 1025°C. Questa reazione è resa possibile dalla precedente introduzione di una quantità nota di ossigeno nel tubo, trasportata dal flusso di elio, che determina l'ossidazione completa del campione e la conversione istantanea della sostanza organica in una miscela di gas di combustione (CO₂, NO_x) e acqua dopo l'aumento della temperatura fino a 1800°C. I prodotti così formati passano all'interno del secondo reattore, mantenuto ad una temperatura di 650°C, dove l'ossidazione del rame presente consente la riduzione degli ossidi di azoto in N₂.

L'eccesso di acqua e ossigeno viene bloccato in una trappola contenente magnesio perclorato anidro -Mg(ClO₄)₂-: questo composto chiamato *anidrone* è una sostanza igroscopica che trattiene acqua separandola così dalla miscela di gas. Questi gas, grazie al flusso di elio, vengono trasferiti allo spettrometro di massa per mezzo di una colonna gas-cromatografica in cui i singoli gas vengono eluiti in base alla loro massa: prima eluisce N₂ standard, poi N₂ campione, quindi CO₂ campione e infine CO₂ standard (Fig. 52.b).

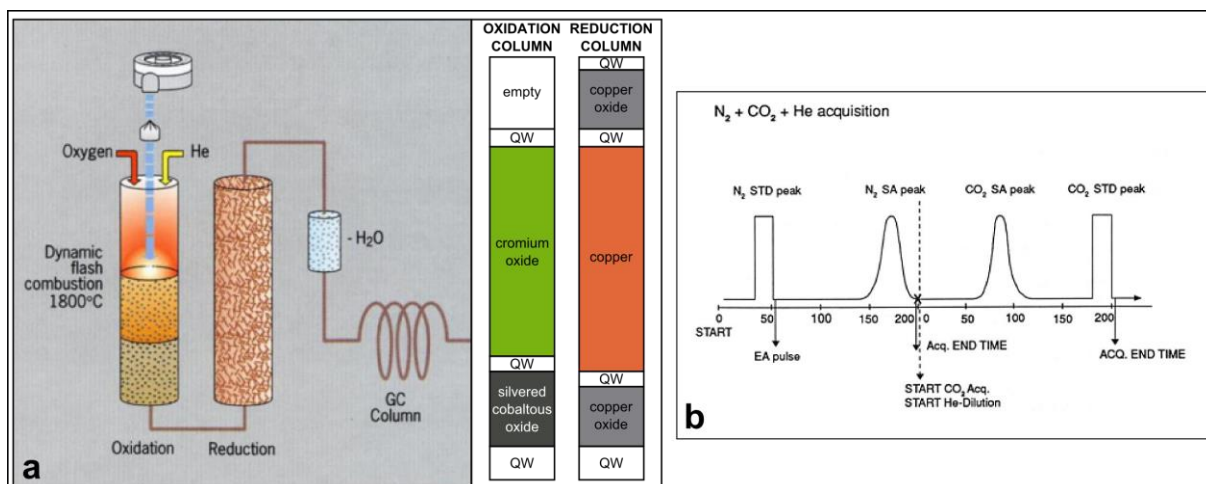


Figura 52: a) Rappresentazione di un analizzatore elementare configurato CHN, al centro : rappresentazione schematica dei tubi di OSSIDAZIONE e RIDUZIONE (QW=Lana di quarzo). (Modificata da manuale operativo CHN Thermo Finnigan, 1998) b) Schema di eluizione dei gas N₂ e CO₂

TC-EA

Il TC-EA (thermal combustion/elemental analyzer) è composto da un unico tubo di carbonio vitreo (glassy carbon) rivestito di allumina (Al_2O_3), che viene mantenuto ad una temperatura di 1450°C e preceduto da una trappola ad *anidrone* per imprigionare l'acqua. Il campione, racchiuso in capsule d'argento ($3,2 \times 4$ mm) contenenti anche glassy carbon e AgCl, utilizzati per catalizzare la reazione, si decompone all'interno del tubo dove si formano CO , H_2 , e C libero; non si forma CO_2 per la presenza di un eccesso di carbonio all'interno del tubo ed inoltre il C libero viene bloccato da apposite trappole. A questo punto si ha il passaggio attraverso una colonna gas-cromatografica che consente l'eluizione dei gas: prima eluisce per due volte lo CO standard poi il campione e quindi nuovamente lo standard. L'ultima tappa del processo è il trasferimento dei singoli gas verso lo spettrometro grazie al flusso continuo di elio (Fig. 53).

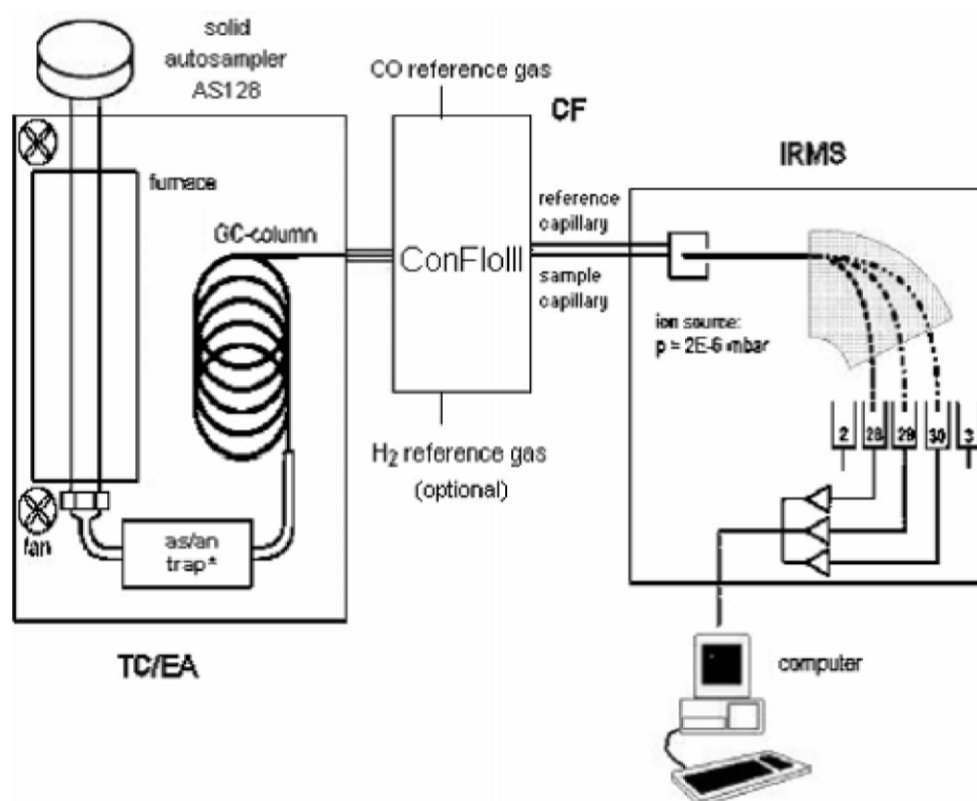


Figura 53: Rappresentazione schematica del TC-EA abbinato ad uno spettrometro di massa (IRMS) in configurazione Continuous flow (CF). (Da Boschetti e Iacumin, 2005)

La riproducibilità strumentale del $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ è di 0,2‰, $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ 0,4‰, $\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$ 0,2‰ e $\delta^{15}\text{N}$ 0,1‰

APPENDICE 3

GLI STANDARDS

Si riportano qui alcuni dati informativi sugli standard in uso per esprimere i rapporti isotopici di ossigeno, carbonio e azoto, ossia degli elementi leggeri che sono stati indagati in questo lavoro di tesi.

Ogni elemento possiede uno standard isotopico, cioè un composto di riferimento a composizione isotopica nota, con il quale è possibile confrontarlo, che è accettato a livello internazionale da tutti i laboratori di geochimica isotopica. Affinché gli standard vengano gestiti, catalogati e distribuiti in maniera univoca sono state create due organizzazioni internazionali: *The United International Atomic Energy Agency* -IAEA-, con sede a Vienna in Austria, e *The National Institute of Standards and Technology* -NIST-, con sede a Gaithersburg nel Maryland in U.S.A.

Le caratteristiche più importanti di uno standard internazionale devono essere:

- purezza,
- omogeneità,
- facile reperibilità,
- costo limitato.

Gli standards sono suddivisi in tre categorie:

- primary reference standards,
- calibration materials,
- intercomparison materials.

Primary reference standards sono standard di riferimento internazionali costituiti da sostanze disponibili in natura. Tutti gli studi dei rapporti di abbondanza degli isotopi stabili vengono rapportati a questi standards, che sono diversi in base all'elemento analizzato. Per definizione il loro valore $\delta\text{‰}$ è uguale a zero.

- SMOW -Standard Man Ocean Water-

Viene preparato mescolando campioni di acqua oceanica distillata. È utilizzato per esprimere i rapporti isotopici assoluti di ossigeno e idrogeno che sono:

$$^2\text{H}/^1\text{H} = 155,76 \cdot 10^{-6}$$

$$^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 2005,2 \cdot 10^{-6}$$

- PDB-1 -Pee Dee Belemnite-

Lo standard è stato creato misurando la calcite fossile della Belemnite americana, un mollusco fossile ritrovato nella successione sedimentaria Pee-Dee del Cretaceo. Questo standard è utilizzato per la misure isotopiche di carbonio e ossigeno. I valori assoluti sono:

$$^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 11237 \cdot 10^{-6}$$

$$^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 2079 \cdot 10^{-6}$$

- N₂ –Azoto atmosferico-

Questo standard è utilizzato per esprimere i rapporti isotopici dell'azoto. I valori assoluti sono:

$$^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = 3,677 \cdot 10^{-3}$$

Calibration Materials, sono standard creati e distribuiti dall'IAEA per far fronte alla scarsità dei *primary reference standards* di cui ne ricalcano la composizione isotopica e rispetto ai quali sono calibrati. Anch'essi esprimono per definizione il valore δ uguale a zero. Ai calibration materials appartengono il V-PDB e lo V-SMOW.

Intercomparison materials, chiamati anche standard di lavoro, consentono ai laboratori di effettuare periodicamente controlli e confrontare tra loro i valori ottenuti. Hanno un valore isotopico, rispetto ai *primary reference standards*, calcolato eseguendo una media delle misure effettuate presso i laboratori accreditati.

Ogni laboratorio possiede inoltre degli standard interni con composizione isotopica nota e rapporti isotopici simili ai campioni da analizzare. Nel laboratorio di geochimica isotopica dell'Università degli Studi di Parma lo standard interno utilizzato è chiamato MAB 99, composto da CaCO₃, ottenuto macinando finemente un blocco di marmo di Carrara. La sua composizione isotopica è:

$$^{13}\delta = +2,45 \text{ V-PDB}$$

$$^{18}\delta = -2,43 \text{ V-PDB}$$

$$^{18}\delta = +28,33 \text{ V-SMOW}$$

Il rapporto isotopico del campione in esame viene misurato rispetto allo standard interno del laboratorio e successivamente riportato allo standard internazionale attraverso la formula di conversione degli standard:

$$\delta_{XB} = \delta_{XA} + \delta_{AB} + 10^{-3} \cdot \delta_{XA} \cdot \delta_{AB}$$

dove: δ_{XB} è la composizione isotopica del campione X rispetto allo standard B,

δ_{XA} è la composizione isotopica del campione X rispetto allo standard A,

δ_{AB} è la composizione isotopica dello standard A rispetto allo standard B.

APPENDICE 4

CALIBRAZIONI

A4.1 La calibrazione dei dati

Per lo studio della composizione isotopica di N e C, misurata attraverso uno spettrometro a flusso continuo è necessario riportare i valori isotopici misurati (R_L) a quelli degli standard internazionali (V-Pdb, V-Smow, Air). Per questo vengono misurati diversi standard di calibrazione (RF) a composizione isotopica nota che permettono di costruire la retta di regressione.

A4.1.1 Relazione fondamentale

L = materiale di Riferimento del Laboratorio (es. N_2 , CO_2 in bombola);

ST = Standard Internazionale (es. V-Smow, V-Pdb, N_2 Air);

R_{RF} = rapporto isotopico del campione di riferimento usato per la standardizzazione (es. IAEA, NBS);

R_L = rapporto isotopico del materiale L ;

R_{ST} = rapporto isotopico del materiale ST ;

$\delta_{RF(L)}$ = valore di delta del campione di riferimento (RF) riferito al materiale di laboratorio L (dato misurato);

$\delta_{RF(ST)}$ = valore di delta del campione di riferimento (RF) riferito al materiale ST (dato bibliografico)

Per definizione si ha:

$$\delta_{RF(L)} = \frac{R_{RF}}{R_L} - 1 \rightarrow R_{RF} = R_L(\delta_{RF(L)} + 1)_{\text{misurato}}$$

$$\delta_{RF(ST)} = \frac{R_{RF}}{R_{ST}} - 1 \rightarrow R_{RF} = R_{ST}(\delta_{RF(ST)} + 1)_{\text{bibliografico}}$$

$$(\delta_{RF(L)} + 1)_{\text{misurato}} = \frac{R_{ST}}{R_L} (\delta_{RF(ST)} + 1)_{\text{bibliografico}}$$

A4.1.2 Retta di calibrazione

Si considerano le coppie di dati:

$$(\delta_{RF(L)} + 1)_{\text{misurato}}$$

$$(\delta_{RF(ST)} + 1)_{\text{bibliografico}}$$

si esegue una regressione imponendo il passaggio per l'origine

$$Y \equiv (\delta_{RF(L)} + 1)_{\text{misurato}} \text{ Vs } X \equiv (\delta_{RF(ST)} + 1)_{\text{bibliografico}}$$

si ottiene il coefficiente angolare B' della retta

$$(\delta_{RF(L)} + 1)_{\text{misurato}} = B' (\delta_{RF(ST)} + 1)_{\text{bibliografico}}$$

si rovescia l'equazione

$$(\delta_{RF(ST)} + 1)_{\text{bibliografico}} = \frac{1}{B'} (\delta_{RF(L)} + 1)_{\text{misurato}}$$

Ottenuti i valori $\delta_{(L)\text{misurato}}$ per i diversi campioni, il valore corrispondente $\delta_{(ST)\text{calcolato}}$ riferito allo standard internazionale (ST) sarà:

$$(\delta_{(ST)} + 1) = \frac{1}{B'} (\delta_{(L)} + 1)_{\text{misurato}}$$

I valori dei campioni di riferimento usati per la standardizzazione sono:

- IAEA NO₃ (potassio nitrato) $\delta^{15}\text{N} = 4,7\text{‰} \pm 0,2 \text{ Air}$
- IAEA N1 (ammonio solfato) $\delta^{15}\text{N} = 0,4\text{‰} \pm 0,2 \text{ Air}$
- IAEA N2 (ammonio solfato) $\delta^{15}\text{N} = 20,3\text{‰} \pm 0,2 \text{ Air}$
- USGS-24 (grafite) $\delta^{13}\text{C} = -16\text{‰} \pm 0,1 \text{ V-Pdb}$
- IAEA-CH-6 (zucchero) $\delta^{13}\text{C} = -10,4\text{‰} \pm 0,2 \text{ V-Pdb}$
- NBS-22 (olio) $\delta^{13}\text{C} = -29,7\text{‰} \pm 0,2 \text{ V-Pdb}$

Per calcolare le percentuali di C e N si utilizza l'UREA (CH₄NO₂) che presenta valori pari a:

- %C = 20%
- %N = 46,65%

APPENDICE 5

STATISTICA

A5.1 Generalità

La statistica, in senso moderno, è l'applicazione dei metodi scientifici alla programmazione della raccolta dei dati, alla loro classificazione, elaborazione, analisi e presentazione, e all'inferenza di conclusioni attendibili da essi (Giardina, 1962).

La statistica si suddivide in:

- descrittiva,
- interferenziale.

La statistica descrittiva consiste nella rilevazione e in una prima elaborazione dei dati riguardanti i fenomeni collettivi, mentre la statistica interferenziale permette di stimare le caratteristiche di un fenomeno collettivo partendo dall'analisi di un campione.

Le fasi fondamentali di un'indagine statistica sono la rilevazione, la rappresentazione e l'elaborazione dei dati. La rilevazione consiste nella raccolta di informazioni da una popolazione statistica; la rappresentazione consiste nella visualizzazione in forma di tabella e/o grafico dei dati rilevati.

L'elaborazione è basata su tre proprietà principali dei dati numerici:

1. La tendenza centrale o posizione.

Le misure di tendenza centrale o posizione servono per individuare il valore attorno al quale sono raggruppati i dati. Le misure sono: la media, la moda e la mediana.

La **media aritmetica** è definita come la somma del valore di tutte le osservazioni diviso il numero di unità.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots x_n}{n}$$

La **mediana** è il valore centrale di una distribuzione, è poco influenzata dalla presenza di dati anomali e per questo motivo è considerata una misura robusta.

La **moda** è il valore più frequente di una distribuzione, non è influenzata dalla presenza di valori estremi, tuttavia viene utilizzata solamente per scopi descrittivi, dato che è meno stabile e meno oggettiva rispetto alla media e alla mediana.

2. L'intervallo di dispersione o di variabilità.

Le misure di dispersione definiscono la forma della distribuzione intorno al valore centrale.

L'**intervallo di variazione** (range) è definito come la differenza tra il valore massimo e quello minimo.

La **varianza** di una distribuzione è definita come la media del quadrato degli scarti.

$$\sigma^2 = \frac{(x-M)^2 + (x_2-M)^2 + \dots + (x_3-M)^2}{n}$$

La **deviazione standard** è la radice quadrata della varianza.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x-M)^2 + (x_2-M)^2 + \dots + (x_3-M)^2}{n}}$$

3. Gli indici di forma riguardano la simmetria e la curtosi. Nel caso di dati normalmente distribuiti la medie, la moda e la mediana coincidono.

Test statistici utilizzati

-Test T di student per dati indipendenti-

Questo test per dati indipendenti permette di confrontare tra loro due gruppi diversi rispetto ad una singola variabile, il test si basa sulla differenza tra le medie di due gruppi.

$$t(v) = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Dove:

$v = n_1 + n_2 - 2$ gradi di libertà,

$\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ = medie campionarie,

s_1 e s_2 = deviazioni standard,

n_1 e n_2 = numero di campioni.

Viene formulata un'ipotesi statistica di uguaglianza (H_0):

$$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

Nell'ipotesi nulla H_0 , le due medie sono identiche:

$$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2 \quad \text{oppure} \quad H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$$

Mediante l'inferenza sulle medie calcolate sui dati di due campioni si determina la probabilità di ottenere tra loro differenze così grandi o maggiori di quelle sperimentalmente osservate, nella condizione che l'ipotesi nulla H_0 sia vera. Se questa probabilità risulta alta, si

accetta l'ipotesi nulla; se la probabilità risulta piccola, convenzionalmente inferiore al 5% (0,05), si può affermare che esista una ragionevole evidenza per dubitare della validità dell'ipotesi nulla, che quindi è rifiutata. Di conseguenza, si afferma l'esistenza di una differenza reale tra le due medie, dicendo che appartengono a popolazioni diverse.

$t(n) < t(\alpha)$ accetto l'ipotesi H_0

$t(n) > t(\alpha)$ rifiuto l'ipotesi H_0

APPENDICE 6

%CO₂, mg CO₃²⁻ (BARATRON)

Campione	CO ₃ (mg)	%CO ₂	Campione	CO ₃ (mg)	%CO ₂	Campione	CO ₃ (mg)	%CO ₂
341/11	1,64	2,41	410/11	2,88	4,16	887/11	3,03	4,48
542/11	1,19	1,94	511/11	3,02	4,35	888/11	2,83	4,26
630/11	2,86	4,19	623/11	2,82	4,04	846/11	1,76	2,67
553/11	1,93	2,80	1174/11	2,78	4,06	525/11	2,81	4,09
554/11	1,38	2,01	743/11	2,16	3,17	523/11	2,89	4,34
587/11	1,77	2,60	445/11	2,07	3,10	305/11	1,57	2,28
591/11	1,78	2,54	584/11	2,71	4,02	306/11	1,76	2,63
594/11	1,18	1,71	588/11	2,76	4,03	307/11	1,85	2,73
599/11	1,42	2,09	592/11	2,29	3,34	346/11	1,61	2,47
601/11	1,44	2,11	597/11	1,87	2,74	347/11	1,98	3,06
603/11	2,08	3,01	600/11	2,87	4,24	458/11	2,34	3,43
607/11	1,76	2,60	930/11	2,59	3,79	956/11	2,62	3,92
609/11 MAND.	2,25	3,28	747/11	2,36	3,45	850/11	2,76	4,07
750/11	2,23	3,23	923/11	2,70	3,90	1108/11	2,76	4,03
1160/11	2,21	3,25	610/11	2,53	3,67	916/11	1,83	2,70
1162/11 MAND.	3,02	4,48	1156/11	1,44	2,11	918/11	2,58	3,89
1166/11	1,75	2,61	1164/11	2,66	3,92	920/11	1,78	2,60
1168/11	1,97	2,87	1176/11	1,64	2,41	476/11	2,25	3,27
1171/11	2,01	2,95	1180/11	2,65	3,86	483/11	2,82	4,27
1172/11	2,05	3,00	327/11	2,22	3,26	477/11	1,78	2,63
1173/11	2,65	3,87	328/11	2,40	3,61	457/11	2,68	3,94
1175/11	2,07	3,01	329/11	2,16	3,18	459/11	2,06	3,03
1177/11	1,76	2,59	330/11	2,16	3,20	461/11	1,83	2,71
1178/11 MAND.	1,73	2,52	331/11	2,36	3,45	461/11		
334/11b	2,56	3,77	332/11	2,69	3,94	929/11	2,49	3,66
604/11	2,18	3,21	333/11	2,87	4,24	488/11	2,23	3,35
585/11	2,47	3,65	334/11a	1,69	2,48	460/11	2,18	3,31
596/11	2,28	3,29	335/11	2,63	3,88	465/11	2,13	3,16
925/11	1,99	2,92	336/11	2,09	3,05	921/11	2,59	3,91
598/11	2,96	4,32	337/11	2,12	3,01	844/11	1,86	2,79
926/11	2,46	3,54	338/11	2,40	3,39	919/11	2,26	3,46
751/11	2,99	4,42	339/11	2,05	2,79	470/11	2,86	4,32
754/11	2,85	4,18	340/11	1,98	2,85	482/11	2,83	4,20
760/11	2,86	4,23	348/11	1,93	2,69	504/11	2,88	4,38
1161/11	2,14	3,12	350/11a	2,36	3,28	848/11	2,81	4,18
419/11	2,55	3,71	400/11	2,42	3,84	487/11	1,82	2,70
422/11	3,07	4,33	428/11	2,48	3,84	493/11	1,87	2,86
426/11	2,22	3,16	614/11 MAND.	2,38	3,81	501/11	2,71	4,15
439/11	2,88	4,16	615/11	2,15	3,42	602/11	1,97	2,98
533/11	2,47	3,62	616/11	2,28	3,59	465/11	2,19	3,23
539/11	2,52	3,68	617/11	2,17	3,44	599/12	2,36	3,51
917/11	2,42	3,47	622/11	2,57	4,08	604/12	2,69	4,10
475/11	2,68	3,83	629/11	2,53	3,85	605/12	2,55	3,77
479/11	2,63	3,85	631/11	2,60	3,79	912/11	2,39	3,58
455/11	2,76	4,04	634/11	1,81	2,78	913/11	1,93	3,19
489/11	2,82	4,08	635/11	1,88	2,79	922/11	1,86	2,76
469/11	2,92	4,15	636/11	2,45	3,64	915/11	2,82	4,21
828/11	2,88	4,15	639/11	2,41	3,63	958/11	2,07	3,09
877/11	3,00	4,31	640/11	2,61	3,84	954/11	2,60	3,89
823/11	2,80	4,03	645/11	2,24	3,52	507/11	2,05	3,06
722/11	2,75	3,94	649/11	2,07	3,20	540/11	2,21	3,32
762/11	2,67	3,85	666/11	2,31	3,61	559/11	1,63	2,51
763/11	3,18	4,61	765/11	2,22	3,47	530/11 MAND.	2,35	3,58
764/11	2,91	4,16	601/12	2,27	3,39	342/11	1,89	3,01
405/11	3,02	4,38	602/12	2,03	3,01	343/11	2,63	3,93
408/11	2,69	3,90	840/11	2,86	4,23	401/11	2,67	4,00
404/11	2,74	3,92	841/11	2,96	4,45	409/11	2,42	3,67

Campione	CO ₃ (mg)	%CO ₂	Campione	CO ₃ (mg)	%CO ₂
826/11	2,76	4,16	210/13	2,01	2,90
403/11	1,72	2,61	211/13	2,48	3,79
415/11	2,58	3,97	212/13	1,80	2,71
424/11	2,76	4,08	213/13	1,61	2,43
742/11	2,43	3,61	214/13	2,59	3,83
412/11	2,80	4,24	216/13	2,28	3,29
413/11 MAND.	2,52	3,78	217/13	2,82	4,06
417/11	2,58	3,89	260/13	1,92	2,84
431/11	2,76	4,12	261/13	1,83	2,71
438/11	2,08	3,12	262/13	1,65	2,37
567/11	2,21	3,26	263/13	2,40	3,86
429/11	1,71	2,52	264/13	2,16	3,37
953/11	2,67	4,01	266/13	2,26	3,17
603/12	1,90	2,89	267/13	2,46	3,69
820/11	2,50	3,80	268/13	2,64	3,84
824/11	2,50	3,70	269/13	1,89	2,63
598/12	2,75	4,25	270/13	1,45	2,26
423/11	1,76	2,61	271/13	2,27	3,26
641/11	2,59	4,10	272/13	1,75	2,70
167/13	2,48	3,65	330/13	1,82	2,62
168/13	1,77	2,65	361/13	1,87	2,81
169/13	2,64	3,94	362/13	2,60	3,95
170/13	2,06	3,37	363/13	1,67	2,40
171/13	2,47	3,51	365/13	1,79	2,68
172/13	2,28	3,62	776/13	2,38	3,43
174/13	2,15	3,23	777/13	2,50	3,68
175/13	1,84	2,72	778/13	2,52	3,84
176/13	1,65	2,60	779/13	2,52	3,81
177/13	2,53	3,67	780/13	2,39	3,70
178/13	1,50	2,35	787/13	1,97	3,16
179/13	2,36	3,57	788/13	2,50	3,80
180/13	2,76	4,30	364/13	1,96	2,93
181/13	1,87	2,60	203/13	2,60	3,89
182/13	1,86	2,66	204/13	2,36	3,46
183/13	1,59	2,56	235/13	2,23	3,39
184/13	2,34	3,40	236/13	2,27	3,33
185/13	2,17	3,65	237/13	2,29	3,52
186/13	2,58	3,73	238/13	2,80	4,34
187/13	1,66	2,63	239/13	2,44	3,53
188/13	1,69	2,62	240/13	2,47	3,97
189/13	2,50	3,68	241/13	2,31	3,50
190/13	1,86	2,83	781/13	2,57	3,78
191/13	1,76	2,91	782/13	2,65	4,07
192/13	2,14	3,27	783/13	2,66	3,75
193/13	1,95	2,82	784/13	2,37	3,46
194/13	1,75	2,79	785/13	2,55	3,80
195/13	2,53	3,77	891/11	1,84	2,74
196/13	2,00	2,87	1102/11	2,48	3,66
197/13	2,16	3,23	418/11	2,47	3,66
199/13	2,45	3,54	836/11	2,60	3,98
200/13	2,36	3,39	208/13	2,46	3,67
201/13	1,96	2,83	209/13	1,62	2,33
202/13	1,83	2,77			
204/13	1,73	2,59			
205/13	2,16	3,21			
206/13	2,87	4,02			
207/13	2,13	3,05			

APPENDICE 7

TABELLE DEI RISULTATI

ARSLANTEPE livello VIII																	
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE			$\delta^{13}\text{C}_{\text{dileta}}(\text{ap})$ (PDB) lacumin et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
									$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N		
334/11	Homo	omero	D5(14)	H235	In S152		neonato		-13,6	25,2	-18,9	10,6	38,7	21,6	2,1	-25,4	-8,1
341/11	Homo	femore	D5(10)	H328	In S221		neonato		-13,7	24,5	-19,5	8,9	42,5	16,8	2,9	-25,5	-9,7
445/11	Capra hircus	mandibola	D5(11) 96						-11,8	29,1	-18,2	7,5	41,1	15,0	3,2	-23,6	-2,8
587/11	Capra hircus	tibia	D5(11) A721 1b*						-13,7	32,0	-19,3	3,7	41,6	16,6	2,9	-25,5	
751/11	Capra hircus	metatarso	D5(14) 15b						-11,4	29,5	-18,7	5,7	31,5	10,9	3,4	-23,3	
754/11	Capra hircus	tibia	D5(11) A722 Fr1 rPr P1						-11,6	31,5	-18,8	5,1	38,4	15,2	2,9	-23,5	
1171/11	Capra hircus	femore	D5(11) K1703 1a						-13,2	24,7	-19,5	7,2	42,4	15,7	3,1	-25,1	
536/11	Ovis aries	radio	D5(8) A1064 1a						-11,8	30,4	-19,8	5,1	39,4	15,0	3,1	-23,7	
747/11	Ovis aries	mandibola	D5(10) 10a					2 anni	-12,6	26,1	-19,6	6,3	41,2	15,6	3,1	-24,4	
749/11	Ovis aries	metacarpo	D5(10) A1280 1b						-10,9	28,9	-20,2	3,5	37,2	15,9	2,7	-22,8	
750/11	Ovis aries	tibia	D5(11) 8b						-12,7	28,8	-19,4	5,4	43,3	16,0	3,1	-24,5	
591/11	ovis/capra	tibia	D5(11) A721 1a						-12,7	30,4	-18,1	5,8	41,8	17,7	2,8	-24,5	
592/11	ovis/capra	metacarpo	D5(15) A720 rP1						-12,4	29,3	-19,1	6,2	40,7	15,9	3,0	-24,3	
597/11	ovis/capra	M3 inf.	D5(10-11) A721 P1					4/5 anni	-11,6	29,6	-19,8	6,5	40,6	15,2	3,1	-23,5	
607/11	ovis/capra	omero	D5(10-11) A720 rP2						-12,0	33,8	-19,1	5,4	42,6	17,7	2,8	-23,9	
609/11	ovis/capra	mandibola	A720					1 anno	-11,2	28,5	-17,5	6,2	42,7	17,7	2,8	-23,1	
923/11	Ovis orientalis	tibia	D5(11) 16a						-11,9	27,4	-19,1	4,0	40,7	15,2	3,1	-23,8	
1159/11	Ovis orientalis	calcagno	D5(11-10)(10) 15b						-11,6	28,9	-19,7	4,6	40,3	16,2	2,9	-23,5	
1160/11	Ovis orientalis	epistrofeo	D5(11-7) 12a						-11,6	29,0	-19,0	6,1	41,9	14,3	3,4	-23,5	
1167/11	Ovis orientalis	metatarso	D5(11) A1261 1a*						-12,0	29,3	-19,6	4,9	35,2	15,7	2,6	-23,8	
1173/11	Ovis orientalis	I falange	D5(15) 13a						-12,5	28,2	-19,6	5,0	42,0	16,2	3,0	-24,3	
598/11	Capra aegagrus	astragalo	D5(10) A698 1a						-12,2	30,3	-20,0	3,4	38,5	13,7	3,3	-24,1	
926/11	Capra aegagrus	II falange	D5(14) 11b						-12,1	30,1	-19,6	3,7	47,2	16,0	3,4	-24,0	
553/11	Sus domesticus	molare inf.	D5 (11) A722 rM3						-11,7	25,1	-20,0	7,0	43,7	16,9	3,0	-23,6	-7,9
584/11	Sus domesticus	mascellare	D5(10) A720 rP1						-12,8	24,9	-19,8	6,7	40,2	15,3	3,1	-24,7	
588/11	Sus domesticus	cranio occipitale	D5(15) A720 rP1						-13,6	24,3	-20,8	7,0	40,6	15,3	3,1	-25,5	
600/11	Sus domesticus	scapola	D5(10-14) A720 rP1						-12,0	25,5	-20,1	4,2	41,3	14,2	3,4	-23,8	
603/11	Sus domesticus	cranio zigomatico	D5(11-15) A720 rP2						-14,0	28,4	-19,5	7,5	43,1	18,0	2,8	-25,9	
610/11	Sus scrofa ferus	astragalo	D5(15-16) A718 rP1						-12,7	25,5	-20,3	3,1	39,6	15,0	3,1	-24,6	
1156/11	Sus scrofa ferus	incisivo inf	D5(10) rM212						-12,0	25,5	-20,2	5,4	42,2	14,3	3,4	-23,9	
1162/11	Sus scrofa ferus	?	D5(10) 19a						-13,7	23,3	-19,7	4,9	41,8	15,7	3,1	-25,5	-8,1

ARSLANTEPE livello VIII																
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		COLLAGENE			δ ¹³ C _{deet(αp)} (PDB) lacchini et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (V-SMOW)	
									δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C			%N
1180/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	II falange	D5(14) A1257 rM4						-13,2	24,1	-21,1	5,6	39,3	12,0	3,8	-25,0
589/11	<i>Bos taurus</i>	metacarpo	D5(10-11) A721 P1						-9,9	30,6	-17,6	6,8	42,1	15,2	3,2	-21,8
594/11	<i>Bos taurus</i>	tibia	D5(10-11) A721 rP2						-11,0	29,9	-18,1	6,9	42,6	17,5	2,8	-22,8
595/11	<i>Bos taurus</i>	omero	D5(10-11) A721 rP2						-10,9	29,9	-18,8	6,7	41,8	15,9	3,1	-22,7
599/11	<i>Bos taurus</i>	omero	D5(10-14) A712 1*						-10,6	29,7	-18,6	8,3	39,7	16,1	2,9	-22,5
604/11	<i>Bos taurus</i>	P3	D5(11-14-10-15) A720 rP2						-9,9	26,9	-18,3	7,0	39,2	15,4	3,0	-21,8
604/11	<i>Bos taurus</i>	mandibola	D5(11-14-10-15) A720 rP2						-10,5	27,5	-17,9	6,5	44,5	15,9	3,3	-22,4
411/11	<i>Bos primigenius</i>	omero	D5(11) A722						-10,1	28,5	-17,3	7,4	42,0	14,7	3,3	-21,9
1170/11	<i>Bos primigenius</i>	astragalo	D5(10) rM212						-11,9	27,4	-19,6	4,8	46,7	15,2	3,6	-23,7
760/11	<i>Cervus elaphus</i>	I falange	D5(11) 7b						-12,0	27,7	-19,8	4,4	40,7	15,8	3,0	-23,8
1161/11	<i>Cervus elaphus</i>	M3 inf	D5(10) rM202						-11,5	25,6	-19,9	6,2	41,2	16,2	3,0	-23,4
1168/11	<i>Cervus elaphus</i>	molare inf	D5(15) 13a						-12,9	26,7	-20,4	7,2	38,7	14,6	3,1	-24,8
1174/11	<i>Cervus elaphus</i>	metatarso	D5(11-10)(10) 13b						-13,0	28,9	-20,2	6,4	40,4	16,0	3,0	-24,9
1177/11	<i>Cervus elaphus</i>	metatarso	D5(11) K1703 1a						-13,9	26,9	-20,1	5,0	43,9	15,8	3,2	-25,7
590/11	<i>Lepus capensis</i>	III metatarso	D5(11-15) A720 1						-13,5	30,1	-20,4	5,0	38,2	15,3	2,9	-25,4
593/11	<i>Lepus capensis</i>	metacarpo	D5(15) A720 rP1						-12,0	29,2	-17,7	5,9	40,8	15,7	3,0	-23,9
601/11	<i>Lepus capensis</i>	calcagno	D5(15) A720 rP1						-12,6	30,7	-20,3	3,3	40,8	17,0	2,8	-24,4
745/11	<i>Lepus capensis</i>	tibia	D5(11) A722 Fr1 rPr P1						-14,0	29,4	-22,2	2,5	32,5	14,5	2,6	-25,9
1175/11	<i>Lepus capensis</i>	III metatarso	D5(7-11)12b						-10,8	29,2	-18,6	3,5	42,7	16,4	3,0	-22,6
554/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	mascellare	D5(11) A722 rM3						-14,5	28,6	-19,4	7,9	41,2	17,3	2,8	-26,4
585/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	radio	D5(10) A720 rP1						-12,5	27,6	-19,3	5,5	37,6	16,0	2,7	-24,4
596/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	metatarso	D5(10) A698 1a						-12,6	29,5	-18,7	7,2	42,2	16,3	3,0	-24,5
925/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	canino	D5(11-15) 11a						-12,5	26,7	-20,1	9,1	38,2	13,0	3,4	-24,3
1178/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	mandibola	D5(7-11)11b						-13,7	25,4	-19,0	6,9	44,0	16,2	3,2	-25,6
1164/11	<i>Ursus arctos</i>	mascellare	D5(10) 19a						-13,9	24,9	-19,1	3,1	40,4	15,3	3,1	-25,7
1176/11	<i>Ursus arctos</i>	canino	D5(15) A913 rp1						-12,8	24,1	-20,4	5,3	42,2	15,5	3,2	-24,7
542/11	<i>Capreolus capreolus</i>	tibia	D5(8) A1064 1a						-13,2	31,7	-19,0	6,0	43,0	17,2	2,9	-25,1
1172/11	equus sp.	dente superiore	D5(14) A1257 rM4						-12,0	26,8	-20,1	4,7	39,8	21,7	2,1	-23,9
1166/11	<i>Dama dama</i>	metatarso	D5(11) K1703 1a						-12,6	30,2	-19,0	4,4	41,9	16,1	3,0	-24,4
930/11	<i>Vulpes vulpes</i>	mandibola	D5(14) 10c						-13,5	24,6	-19,2	8,1	37,0	13,4	3,2	-25,3
743/11	pisces (cfr Esocia)	vertebra	D5(14-15) A1257 2c						-9,2	25,1	-17,2	9,2	32,5	11,8	3,2	-21,1

ARSLANTEPE livello VII																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE				δ ¹³ C _{dieta(ap)} (PDB) lacunin et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (V-SMOW)
									δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C	%N	C/N		
300/11	Homo	M1	E6(5) 5f a	H234	No fossa	F	giovane adulto		-12,4	26,1		-19,4	8,8	32,3	12,1	3,1	-24,2	
301/11	Homo	M3	E6(5) 5f a	H234	No fossa	F	giovane adulto		-11,3	24,9							-23,2	
332/11	Homo	femore	E6(5) 5f a	H234	No fossa	F	giovane adulto		-11,2	25,8		-19,2	9,7	34,8	12,4	3,3	-23,0	
333/11	Homo	rib	E6(5) 5f a	H234	No fossa	F	giovane adulto		-11,1	25,7		-19,2	9,6	32,2	12,7	3,0	-23,0	
302/11	Homo	M1	D5(2)	H316	In S214	F	vecchio		-12,0	26,4	16,7	-18,5	9,4	37,5	15,0	2,9	-23,9	-7,6
303/11	Homo	M3	D5(2)	H316	In S214	F	vecchio		-12,0	26,2		-18,6	8,8	37,1	15,0	2,9	-23,9	
304/11	Homo	M2	D5(4)	H250	In S169	F	vecchio		-13,1	27,4		-19,9	5,4	39,0	15,1	3,0	-24,9	
330/11	Homo	femore	D5(4)	H250	In S169	F	vecchio		-13,6	25,3		-19,6	6,6	38,3	15,0	3,0	-25,4	
324/11	Homo	tibia	E6(2) 1	H154	S136		feto		-12,2	24,6	15,5	-18,6	8,6	36,6	15,0	2,8	-24,0	-9,8
325/11	Homo	costa	D5(3)	H240	In S159		feto		-13,9	25,1		-19,8	9,7	40,2	15,4	3,0	-25,7	
326/11	Homo	radio	D6(8)	H161	No fossa	F	adulto		-12,8	24,2		-19,0	8,0	38,4	15,3	2,9	-24,7	
327/11	Homo	costa	D5(10-14)	H213	S142	F	adulto		-13,3	23,8		-19,1	7,8	37,1	15,0	2,9	-25,2	
328/11	Homo	femore	D5(10-14)	H213	S142	F	adulto		-12,9	24,2		-18,9	8,1	36,7	15,0	2,9	-24,7	
329/11	Homo	radio	D5(3)	H248	In S167		neonato		-13,3	26,5		-19,2	10,3	37,1	14,8	2,9	-25,2	
331/11	Homo	femore	D5(10)(10-11)	H215	S144	F	giovane adulto		-12,6	24,7		-18,7	7,0	32,8	14,1	2,7	-24,4	
334/11	Homo	costa	D5(6-7-10-11)	H239	In S158		neonato		-12,5	27,5		-19,0	9,5	40,3	16,9	2,8	-24,3	
335/11	Homo	omero	D4(16)	H245	In S164		feto		-13,3	24,6							-25,1	
336/11	Homo	femore	D5(6)	H314	S213	F	vecchio		-13,0	24,9		-19,3	8,1	36,6	14,7	2,9	-24,9	
337/11	Homo	femore	D5(2-6)	H315	In S213		neonato		-13,8	26,6		-18,9	10,6	38,9	15,0	3,0	-25,6	
338/11	Homo	tibia	D5(2)	H316	In S214	F	vecchio		-13,3	25,0		-19,2	8,7	38,2	14,6	3,1	-25,2	
339/11	Homo	femore	D5(6)	H317	In S215	F	giovane adulto		-13,4	24,8	15,5	-19,5	8,0	38,1	14,9	3,0	-25,3	-9,7
340/11	Homo	costa	D5(6)	H317	In S215	F	giovane adulto		-13,6	27,0		-19,1	8,5	38,0	15,1	2,9	-25,4	
348/11	Homo	omero	D4(16)	H251	In S170		neonato		-12,8	27,1	16,1	-18,3	9,0	36,9	14,7	2,9	-24,6	-8,7
350/11	Homo	femore	D4(15-16)	H253	In S171		bambino		-13,2	25,1		-19,0	8,3	35,0	14,0	2,9	-25,1	-10,8
369/11	Homo	femore	C3(E5)	S6		F	adulto		-10,4	24,5	14,9	-19,5	7,9	38,8	12,9	3,5	-22,3	
370/11	Homo	C1	C3(E5)	S6		F	adulto		-12,2	25,8		-20,3	8,8	40,1	15,1	3,1	-24,0	
679/11	Capra hircus	metacarpo	D7(1) A900 1f*						-12,3	29,8	21,0	-19,6	3,1	41,0	16,2	3,0	-24,2	-3,6
691/11	Capra hircus	radio	D6(15-16) D6(16) A854 1d						-10,9	26,1		-19,2	5,5	26,3	10,1	3,0	-22,8	
693/11	Capra hircus	tibia	D6(15) A854 1d						-11,2	33,4		-17,2	7,5	39,9	15,9	2,9	-23,1	
711/11	Capra hircus	metatarso	C7(16) A900 2a						-13,1	30,2	20,1	-18,7	4,1	37,4	14,5	3,0	-24,9	-4,7
738/11	Capra hircus	radio	A853 Y2					> 3 anni	-11,6	28,3		-18,9	5,3	40,8	15,1	3,2	-23,5	

ARSLANTEPE livello VII																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE				$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (PDB) lacunin et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
									$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N		
690/11	Capra aegagrus	metacarpo	D7(1) A 900 1b						-12,2	30,7							-24,1	
733/11	Capra aegagrus	tibia	E6(13)(14) A617 1b						-14,5	29,4							-26,3	
715/11	ovis/capra	M1	D6(15) A854 1a					> 3 anni	-9,7	27,7							-21,6	
715/11	ovis/capra	mascellare	D6(15) A854 1a					> 3 anni	-11,8	27,6							-23,7	
716/11	ovis/capra	M3 inf.	D6(15-16) A854 1c					4/6 anni	-8,9	28,3							-20,8	
717/11	ovis/capra	mascellare	D6(15) A854 1c						-11,4	27,0							-23,2	
727/11	ovis/capra	M3 sup.	C7(11-12-15-16) A900 1a					2/3 anni	-11,0	28,1							-22,9	
729/11	ovis/capra	tibia	D6(12) A855 1d						-12,5	30,2							-24,4	
675/11	Ovis aries	omero	D6(15) A854 1b						-11,0	27,7							-22,9	
682/11	Ovis aries	radio	C7(16) A900 1d						-13,8	28,2							-25,6	
698/11	Ovis aries	M1	D6(15) A854 1a					3/4 anni	-10,4	28,0							-22,3	
698/11	Ovis aries	mandibola	D6(15) A854 1a					3/4 anni	-11,0	29,2							-22,9	
703/11	Ovis aries	radio	C7(12) A900 1f						-12,0	28,7							-23,8	-5,6
718/11	Ovis aries	tibia	D6(15) A854 1c						-12,2	28,6							-24,1	-9,8
676/11	Sus domesticus	mascellare	D6(15) A854 1d					1 anno	-12,4	23,0							-24,3	
680/11	Sus domesticus	II metatarso	D7(2) A 900 1d						-12,9	25,2							-24,8	-9,6
687/11	Sus domesticus	metapodiale	D6(15) A854 1b					> 2 anni	-13,5	24,7							-25,3	
702/11	Sus domesticus	III metacarpo	D6(15) A854 1c						-13,4	27,3							-25,2	
708/11	Sus domesticus	mandibola	D6(15) A854 1c						-13,5	24,5							-25,3	
694/11	Sus scrofa ferus	calcagno	A858 6b *						-14,0	27,5							-25,8	
955/11	Sus scrofa ferus	canino inf. (M)	D5(2)(3)(2-3)(2-6) A1090						-13,0	27,9							-24,8	
681/11	Sus scrofa ferus	metapodiale	C7(12) A 900 1b					> 2 anni	-12,6	26,4							-24,4	
685/11	Bos taurus	metatarso	D6(15) A854 1c						-10,0	26,6							-21,9	
689/11	Bos taurus	P sup.	D6(15) A854 1c					adulto	-9,8	25,0							-21,7	
696/11	Bos taurus	metacarpo	A853 Y2						-12,5	26,6							-24,3	-5,5
697/11	Bos taurus	radio	D6(15) A854 1d						-10,1	25,6							-22,0	
721/11	Bos taurus	radio	A858 Y1						-11,2	27,5							-23,1	-5,0
701/11	Bos primigenius	atlante	A581 Y6						-11,9	26,1							-23,8	
704/11	Bos primigenius	femore	A853 Y1						-10,3	25,1							-22,2	-7,2
736/11	Bos primigenius	femore	E6(13)(14) A617 1b						-11,5	25,3							-23,4	
674/11	Cervus elaphus	I falange	D7(5) A900 1c						-11,9	29,4							-23,8	-2,8

ARSLANTEPE livello VII																	
							CARBONATO			FOSFATO	COLLAGENE						
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (PDB) Iacurini et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
677/11	<i>Cervus elaphus</i>	I falange	D7(2) A900 1b G7						-12,2	28,3	-20,6	3,4	38,5	14,4	3,1	-24,1	
709/11	<i>Cervus elaphus</i>	metacarpo	C7(16) A900 2a						-13,1	27,5						-24,9	
712/11	<i>Cervus elaphus</i>	M3	D6(15) A854 1b					adulto	-10,7	26,8	-18,8	4,0	32,8	13,7	2,8	-22,6	
712/11	<i>Cervus elaphus</i>	mandibola	D6(15) A854 1b					adulto	-12,2	26,8	-19,2	4,3	33,0	12,9	3,0	-24,1	
688/11	<i>Lepus capensis</i>	V metatarso	D7(5) A900 1d*						-13,3	29,8	-19,8	2,8	33,9	15,2	2,6	-25,1	
705/11	<i>Lepus capensis</i>	III metacarpo	C7(12) A900 1g						-12,9	28,5	-20,6	1,6	37,2	14,4	3,0	-24,7	
728/11	<i>Lepus capensis</i>	radio	C7(11-12-15-16) A900 1a						-15,6	31,5	-21,3	2,0	35,5	15,4	2,7	-27,4	
719/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	metapodiale	D6(15) A854 1c						-13,2	25,9	-18,9	7,3	35,7	13,6	3,1	-25,0	
957/11	<i>Ursus arctos</i>	pelvi	D5(3) A986						-13,1	25,2	-18,2	7,5	40,9	15,6	3,1	-24,9	

ARSLANTEPE livello VIA																	
							CARBONATO				FOSFATO		COLLAGENE				
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(ap)}}$ (PDB) Iacurini et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
601/12	Homo	femore	E9(6-10)	H220	S149				-13,4	25,4	-19,0	11,2	38,9	14,8	3,1	-25,2	-9,5
400/11	Capra hircus	omero	D6(11) A747 1f alfa						-11,8	27,5	-20,1	4,5	41,3	15,6	3,1	-23,7	-6,8
428/11	Capra hircus	tibia	D6(11) A747 1b						-10,7	29,4	-18,1	6,6	28,0	11,0	3,0	-22,6	
629/11	Capra hircus	tibia	A450 A 2d*						-12,9	29,0	-19,7	4,7	39,8	15,6	3,0	-24,8	-4,7
649/11	Capra hircus	tibia	D6(11) A748 1						-12,0	29,5	-19,0	5,3	41,1	15,5	3,1	-23,8	
765/11	Capra hircus	radio	E6(9-0) A651 rM2						-13,4	27,9	-20,4	6,7	38,7	13,9	3,2	-25,2	
405/11	Ovis aries	tibia	D6 (11) A747 1g						-12,4	30,7						-24,2	
408/11	Ovis aries	omero	D6(11) A747 1d						-10,9	28,0	-20,1	5,4	43,2	15,7	3,2	-22,8	-6,0
762/11	Ovis aries	radio	D6(15) A734 rE1				1 anno		-10,7	27,5	-19,2	7,7	27,9	10,5	3,1	-22,6	-7,4
763/11	Ovis aries	metatarso	D6(15) A734 rE1				1 anno		-9,6	28,5	-17,9	8,1	37,4	13,1	3,3	-21,5	
764/11	Ovis aries	metacarpo	D6(15) A734 rE1						-11,2	28,3	-20,8	7,3	38,3	14,6	3,1	-23,1	-6,9

ARSLANTEPE livello VIA																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO	COLLAGENE				$\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}^{\text{elap}}$ (PDB) Iacchini et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{coll}}^{\text{aq}}$ (V-SMOW)	
									$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N			C/N
616/11	<i>Sus domesticus</i>	calcagno	A450 D 2e						-11,6	28,9		-19,3	3,4	40,5	16,0	2,9	-23,5	
636/11	<i>Sus domesticus</i>	l falange	A450 1b						-12,9	24,7	16,2	-19,5	3,9	40,5	15,2	3,1	-24,7	-7,6
640/11	<i>Sus domesticus</i>	astragalo	A450 B 2b						-13,2	25,3	15,6	-19,8	3,3	39,2	14,4	3,2	-25,1	-8,3
645/11	<i>Sus domesticus</i>	IV metacarpo	A209						-12,8	23,9	13,8	-20,6	5,0	34,3	16,1	2,5	-24,6	-10,4
666/11	<i>Sus domesticus</i>	fibula	A450 1f E8(10)						-11,9	25,3		-18,7	8,2	36,6	13,7	3,1	-23,7	
404/11	<i>Bos taurus</i>	omero	D6 (11) A747 1g						-9,3	28,6		-17,0	5,6	39,4	14,5	3,2	-21,2	
410/11	<i>Bos taurus</i>	metatarso	D6(11) A747 1falga						-9,1	28,2							-20,9	
511/11	<i>Bos taurus</i>	metacarpo	E8(6) A825 1b						-9,9	26,9		-18,9	7,8	40,5	15,5	3,0	-21,8	
623/11	<i>Bos taurus</i>	radio	A450 C 2b						-10,4	28,7	18,4	-19,6	8,7	29,3	11,6	3,0	-22,2	-6,4
646/11	<i>Bos taurus</i>	metatarso	D8(15) A209 2c						-11,3	29,4	17,2	-19,3	7,7	36,6	13,2	3,2	-23,2	-7,6
617/11	<i>Cervus elaphus</i>	l falange	A450 G 2c alfa						-13,3	28,6							-25,2	
631/11	<i>Cervus elaphus</i>	l falange	A450 G 2c						-12,7	29,0	20,0						-24,6	-2,3
639/11	<i>Cervus elaphus</i>	l falange	A450 G 2a						-12,3	29,2	20,5	-19,5	4,0	34,6	12,1	3,3	-24,2	-1,8
643/11	<i>Lepus capensis</i>	metatarso	A450 E 2c						-9,0	28,7		-17,6	9,4	38,7	14,4	3,1	-20,9	
655/11	<i>Lepus capensis</i>	metatarso	A450 1f E8(10)						-10,9	26,1		-18,2	7,9	40,3	15,2	3,1	-22,8	
657/11	<i>Lepus capensis</i>	tibia	A450 F 2d*						-10,1	27,6	15,0	-18,1	8,0	34,0	14,7	2,7	-22,0	
615/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	tibia	A450 C 2c						-8,9	25,4		-19,6	8,1	36,6	13,9	3,1	-20,8	
622/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	radio	A450 2e						-12,1	27,3		-19,1	6,5	33,2	12,9	3,0	-24,0	
634/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	canino	A450 2a						-12,0	25,1		-18,7	10,5	40,8	15,4	3,1	-23,8	
635/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	canino	A450 1h						-11,8	25,7		-18,8	10,4	41,2	15,4	3,1	-23,7	
641/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	l falange	E9(7) A830 2a						-11,4	26,0		-18,8	7,1	41,9	15,3	3,2	-23,2	
614/11	<i>Capreolus capreolus</i>	mandibola	A450 2e						-13,1	30,2		-19,9	6,3	35,9	13,3	3,2	-25,0	

ARSLANTEPE livello VIB1																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO	COLLAGENE				$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta(9p)}}$ (PDB) Iacurini et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)	
									$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N			C/N
523/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	pelvi	E8(6) K1068 2						-14,0	24,6	13,1	-20,3	6,0	37,2	14,8	2,9	-25,8	-11,1
518/11	<i>Bos taurus</i>	radio	E8(6-10) A772 1a-b*						-11,4	25,1	16,8						-23,3	-8,0
526/11	<i>Bos taurus</i>	metatarso	E8(13) A1049 rP						-14,1	29,0		-20,7	4,7	43,8	16,5	3,1	-25,9	
566/11	<i>Bos taurus</i>	M3	D9(8)E9(5) A518 Y4					> 3 anni	-9,5	24,9		-18,5	7,6	34,8	13,1	3,1	-21,4	
569/11	<i>Bos taurus</i>	metatarso	E9(5) D9(8) A518 Y12						-11,8	26,5		-19,5	8,5	50,1	15,2	3,8	-23,7	
570/11	<i>Bos taurus</i>	tibia	E9(5) D9(8) A518 Y5						-11,9	26,7							-23,8	
571/11	<i>Bos taurus</i>	M3	E9(5) D9(8) A518 Y13					> 3 anni	-10,3	26,3							-22,2	
831/11	<i>Cervus elaphus</i>	II falange	E7(11)(11-12) 20a						-13,1	27,8	17,5						-24,9	-4,4
887/11	<i>Cervus elaphus</i>	epistrofeo	E7(11) 19 a						-12,6	26,8		-19,7	4,7	39,7	15,0	3,1	-24,4	
888/11	<i>Cervus elaphus</i>	radio	E87) K1784 1a						-12,5	27,4							-24,4	
1165/11	<i>Lepus capensis</i>	III metatarso	E7(11) A1325 beta 1a						-15,4	28,1		-21,7	4,2	47,6	18,6	3,0	-27,2	
829/11	<i>Lepus capensis</i>	II metatarso	E(10-11) A1327 1a beta						-13,9	32,3		-20,8	3,0	36,7	16,7	2,6	-25,7	
1102/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	metapodiale	E7(2) A1338 1b						-11,7	26,1	15,2	-19,1	7,4	37,5	15,4	2,8	-23,6	
514/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	canino	E8(6) A772 rP2						-11,7	24,4		-18,1	10,3	44,6	15,9	3,3	-23,6	
1157/11	equus sp.	scapola	E7(6) A1327 2a *						-10,9	25,7	15,1						-22,8	-10,6

ARSLANTEPE livello VIB2																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO	COLLAGENE			$\delta^{13}C_{dieta(dp)}$ (PDB) Iacurini et al. 2014	$\delta^{18}O_{acqua}$ (V-SMOW)		
									$\delta^{13}C$ (PDB)	$\delta^{18}O$ (V-SMOW)	$\delta^{18}O$ (V-SMOW)	$\delta^{13}C$ (PDB)	$\delta^{15}N$ (AIR)	%C			%N	C/N
308/11	Homo	M3	E7(3)	S216					-12,4	27,2		-19,7	6,6	43,9	15,6	3,3	-24,3	
309/11	Homo	M1	E7(3)	S216		M			-12,3	27,1		-19,5	6,6	40,6	16,8	2,8	-24,2	
310/11	Homo	M1	E7(3)	S216		M			-12,9	26,6		-19,2	9,4	41,0	16,1	3,0	-24,7	
311/11	Homo	M1	E7(3)	S216		M			-12,7	25,4		-18,8	9,0	38,1	16,5	2,7	-24,5	
312/11	Homo	M3	E7(3)	S216		M			-12,4	27,2		-19,5	6,4	37,7	15,7	2,8	-24,3	
313/11	Homo	M3	E7(3)	S216		M			-12,9	26,3		-19,7	6,6	43,9	16,2	3,2	-24,7	
314/11	Homo	M3	E7(3)	S216		M			-11,9	25,2		-18,7	9,5	40,8	16,8	2,8	-23,8	

ARSLANTEPE livello VIB2																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE				δ ¹³ C _{diet(4p)} (PDB) lacunin et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (VSMOW)
									δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C	%N	C/N		
315/11	Homo	M1	E7(3)	S216	M				-12,2	27,1		-19,4	7,0	40,0	16,3	2,9	-24,1	
316/11	Homo	M1	E7(3)	S216	M				-12,1	27,6		-19,2	7,2	41,4	16,6	2,9	-24,0	
317/11	Homo	M3	E7(3)	S216	M				-12,6	27,4		-19,3	6,8	42,3	16,2	3,0	-24,4	
318/11	Homo	M1	E7(3)	S216	M				-13,1	24,4		-19,2	8,9	41,8	16,4	3,0	-24,9	
319/11	Homo	M3	E7(3)	S216	M				-12,7	24,4		-19,2	9,5	41,9	16,1	3,0	-24,5	
320/11	Homo	M3	E7(3)	S216	F				-13,1	25,8		-18,6	10,1	34,2	15,8	2,5	-24,9	
321/11	Homo	M1	E7(3)	S216	F				-13,2	28,0		-19,0	8,2	38,5	16,5	2,7	-25,0	
322/11	Homo	M1	E7(3)	S216	F				-12,6	25,7		-18,8	7,9	39,0	16,0	2,8	-24,4	
323/11	Homo	M3	E7(3)	S216	F				-12,1	24,5		-19,0	7,5	41,6	15,7	3,1	-24,0	
356/11	Homo	femore	E7(3)	S216	F	adulto			-13,2	25,2		-19,7	7,7	44,0	16,4	3,1	-25,0	
357/11	Homo	femore	E7(3)	S216	F	adulto			-13,0	24,6		-19,0	9,3	43,0	16,3	3,1	-24,8	
358/11	Homo	femore	E7(3)	S216	F	adulto			-13,8	27,1		-18,5	13,3	42,1	13,2	3,7	-25,6	
359/11	Homo	femore	E7(3)	S216	F	adulto			-13,1	23,7		-19,3	8,9	33,8	13,3	3,0	-24,9	
360/11	Homo	femore	E7(3)	S216		giovane adulto			-13,5	27,2		-18,6	14,5	37,3	15,0	2,9	-25,3	
361/11	Homo	femore	E7(3)	S216		giovane adulto			-12,2	25,9							-24,1	
362/11	Homo	femore	E7(3)	S216		giovane adulto			-13,2	25,8							-25,0	
363/11	Homo	femore	E7(3)	S216		giovane adulto			-12,6	24,5		-19,1	9,7	40,3	12,2	3,9	-24,4	
364/11	Homo	coste	E7(3)	S216	F	adulto			-13,1	25,2		-19,4	8,6	43,0	17,2	2,9	-24,9	
365/11	Homo	femore	E7(3)	S216	F	adulto			-12,9	27,2		-19,1	14,3	41,7	15,6	3,1	-24,7	
366/11	Homo	femore	E7(3)	S216	M	adulto			-12,8	23,6		-19,4	7,0	35,1	15,3	2,7	-24,6	
367/11	Homo	femore	E7(3)	S216	M	adulto			-13,0	25,8		-19,3	6,6	39,5	14,7	3,1	-24,8	
368/11	Homo	femore	E7(3)	S216	M	adulto			-13,3	24,6							-25,1	
457/11	Capra hircus	mandibola	D7(14) 32a					2/4 anni	-11,5	27,6		-19,2	5,4	42,3	16,0	3,1	-23,3	
459/11	Capra hircus	omero	E8(2) 32a						-11,9	28,8		-18,8	5,9	39,9	15,8	3,0	-23,7	
461/11	Capra hircus	omero	E7(14) A1193 rM4						-11,8	30,4	20,6	-18,1	5,6	41,0	15,9	3,0	-23,6	-4,0
929/11	Capra hircus	calcagno	E8(7) 32f					1/2anni	-12,3	29,1		-19,5	4,4	40,0	16,0	2,9	-24,1	
488/11	Capra hircus	mandibola	E7(11) A1144 rP1						-13,2	29,8		-20,0	4,0	38,3	16,3	2,7	-25,1	
458/11	Ovis aries	mandibola	D8(3) 33a					2/3 anni	-11,8	26,9		-18,7	6,4	35,3	14,5	2,8	-23,6	
475/11	Ovis aries	radio	E8(2) A1193 rM2						-12,2	28,0		-19,9	5,0	35,3	14,4	2,9	-24,1	
479/11	Ovis aries	calcagno	D8(4) 32a alfa						-11,1	28,5		-18,8	6,5	38,5	15,1	3,0	-22,9	
489/11	Ovis aries	radio	E8(3) 32c						-12,0	29,5	18,8	-19,3	4,7	38,5	14,8	3,0	-23,8	-5,7

ARSLANTEPE livello VIB2																			
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		COLLAGENE			FOSFATO	COLLAGENE			$\delta^{13}\text{C}_{\text{dietet(ap)}}$ (PDB) Jacumin et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
									$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C		%N	C/N			
469/11	<i>Ovis aries</i>	omero	E7(6) A1319 1a *					1/2 anni	-12,0	29,8	18,1	-19,0	4,4	37,7	14,3	3,1	-23,9	-6,1	
455/11	<i>Ovis orientalis</i>	I falange	E7(14) E8(2) A1193 rQ1						-11,3	26,8	18,4	-18,7	4,6	38,7	13,8	3,3	-23,2	-6,0	
470/11	<i>Sus domesticus</i>	radio	D7(15) A1312 1b *						-14,2	24,8	16,4	-20,1	5,8	38,2	15,0	3,0	-26,1	-7,3	
482/11	<i>Sus domesticus</i>	femore	D7(14) A1288 rP1						-12,9	25,2							-24,7		
504/11	<i>Sus domesticus</i>	II falange	E8(3) A1186 rFM1						-13,1	25,9		-19,6	6,8	31,5	12,8	2,9	-24,9		
1104/11	<i>Sus domesticus</i>	mandibola	E8(2) 32a						-12,1	24,7		-20,1	6,0	41,1	15,7	3,1	-23,9		
848/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	scapola	D8(3) A1328 2a						-11,0	24,4	14,0	-19,2	5,2	39,3	12,8	3,6	-22,9	-10,1	
463/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	I falange	E(1-2) A1193 rM4						-13,5	24,9		-19,8	4,4	40,0	15,8	3,0	-25,4		
487/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	incisivo inf.	D8(3) A1314 rP1						-13,2	25,0		-20,4	4,6	42,0	16,3	3,0	-25,1		
493/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	femore	E8(2-6) K1768 1a						-11,0	30,2		-18,7	5,6	42,9	16,3	3,1	-22,8		
501/11	<i>Sus scrofa ferus</i>	calcagno	E7(1)(1-5) A1323 rP1						-13,2	25,2		-20,0	4,3	37,3	14,7	3,0	-25,0		
460/11	<i>Bos taurus</i>	molare inf.	D8(3) A1088 rFM3						-8,8	24,6		-16,5	7,0	37,4	15,3	2,9	-20,7		
465/11	<i>Bos taurus</i>	molare sup.	E8(3) A1186 rQ2						-9,5	27,1		-18,8	4,7	35,3	15,6	2,6	-21,4		
456/11	<i>Bos taurus</i>	radio	D7(14) 32a						-9,1	28,7		-17,9	7,1	41,6	16,0	3,0	-21,0		
494/11	<i>Bos taurus</i>	III falange	D8(4) A1088 rFM2						-8,9	26,5		-17,4	6,9	42,2	15,7	3,1	-20,8	-8,5	
485/11	<i>Bos taurus</i>	mandibola	D7(3)(4) A1088 rFM3						-8,9	27,0	16,4	-17,3	6,5	36,7	15,1	2,8	-20,8		
921/11	<i>Bos primigenius</i>	calcagno	D7(14-15) 33c						-12,0	26,5	16,6	-18,8	8,4	41,2	16,2	3,0	-23,9		
1169/11	<i>Bos primigenius</i>	tibia	D7(14) 33c						-12,3	29,2		-20,6	4,7	37,4	14,6	3,0	-24,2		
492/11	<i>Bos primigenius</i>	tibia	D7(15) A1290 rFM4						-10,8	27,3		-20,1	7,0	43,1	16,8	3,0	-22,7		
916/11	<i>Cervus elaphus</i>	P2 inf.	D7(14) 33b									-18,8	2,7	36,1	13,6	3,1			
918/11	<i>Cervus elaphus</i>	femore	D7(14) 33c						-13,0	28,0	19,0	-20,2	2,7	40,6	14,8	3,2	-24,8	-3,1	
920/11	<i>Cervus elaphus</i>	omero	D7(14) A1312 1a						-14,1	28,6		-20,0	3,0	41,1	14,7	3,3	-25,9		
476/11	<i>Cervus elaphus</i>	radio	E8(2) 32a						-13,5	28,7		-19,6	5,6	43,2	16,2	3,1	-25,4		
483/11	<i>Cervus elaphus</i>	III falange	D8(3) A1302 rP1						-12,1	27,9							-24,0		
472/11	<i>Lepus capensis</i>	III metatarso	D7(15) A1290 rFM1						-13,9	27,5		-22,1	3,2	39,0	15,4	2,9	-25,7		
499/11	<i>Lepus capensis</i>	II metatarso	E7(14-15) E8(2-3)						-13,6	26,9		-21,6	2,6	41,4	14,5	3,3	-25,4		
500/11	<i>Lepus capensis</i>	tibia	E8(3) 32b						-13,3	28,2	18,7	-20,3	2,9	36,4	15,5	2,7	-25,2		
830/11	<i>Lepus capensis</i>	III metatarso	D7(13) A1322 Fr1 rM						-13,8	29,5		-22,0	2,9	39,8	15,5	3,0	-25,6		
844/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	tibia	D8(3) A1328 2a						-11,3	28,4	15,1	-18,8	8,0	37,9	15,5	2,8	-23,2		
919/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	mascellare	D7(14) 33c alfa						-14,1	26,6		-18,5	7,8	42,2	16,7	3,0	-26,0		
956/11	<i>Ursus arctos</i>	I metatarso	D8(3) A1060 rP1						-13,8	24,9	14,6	-19,6	3,2	40,3	13,8	3,4	-25,6		

ARSLANTEPE livello VIB2																			
									CARBONATO			FOSFATO		COLLAGENE					
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{dietet(ap) (PDB) lacunin et al. 2014}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua (V-SMOW)}}$
850/11	<i>Ursus arctos</i>	carpo	D8(3) A1328 2a						-13,4	23,8	-18,8			3,1	38,8	14,5	3,1	-25,2	
1108/11	<i>Ursus arctos</i>	l falange	E8(2) 32a						-14,1	25,2	-19,3			2,1	37,1	13,8	3,1	-25,9	
477/11	<i>Castor fiber</i>	femore	E8(3) 32c						-14,0	31,4	-20,9			2,5	42,1	16,7	2,9	-25,9	

ARSLANTEPE livello VIC																	
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	CARBONATO		FOSFATO			COLLAGENE			$\delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}(\text{ap})$ (PDB) Iacumin et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
								$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N		
305/11	Homo	M1	D8(3)	H326	S220	M	adulto	-13,7	23,6		-18,7	8,6	39,6	14,5	3,2	-25,6	
306/11	Homo	M3	D8(3)	H326	S220	M	adulto	-12,8	26,1		-18,7	9,2	38,4	14,8	3,0	-24,6	
346/11	Homo	tibia	D8(3)	H326	S220	M	adulto	-13,7	25,6	15,2	-18,7	8,9	39,1	14,6	3,1	-25,6	-10,3
307/11	Homo	M1	D8(3)	H327	S220		babino	-12,6	26,9		-19,4	9,8	40,6	15,1	3,1	-24,5	
347/11	Homo	tibia	D8(3)	H327	S220		bambino	-13,6	25,0		-19,8	9,0	39,2	14,8	3,1	-25,5	
350/11	Homo	tibia	E7(5)(9-5)	H254	S168		feto	-13,2	25,1		-19,1	8,3	35,0	14,0	2,9	-25,1	
599/12	Homo	femore		H163	S140			-13,2	25,4	15,5	-19,5	7,5	37,2	14,9	2,9	-25,1	-9,8
604/12	Homo	omero		H227				-13,3	25,7	17,1	-19,5	7,7	33,1	13,2	2,9	-25,2	-6,7
605/12	Homo	omero		H164				-13,4	25,0	16,3	-19,9	8,0	33,2	13,2	2,9	-25,3	-8,3
533/11	Ovis aries	tibia	E8(9) A607 2a					-11,8	27,8	18,2	-18,2	7,5	40,2	14,6	3,2	-23,6	-6,1
539/11	Ovis aries	mandibola	E8(9-10) A607 2a					-11,5	29,6		-19,4	5,8	38,0	15,0	3,0	-23,3	
917/11	Ovis aries	radio	D8(3) A1228 rP1					-12,2	29,5		-20,0	5,2	39,0	15,2	3,0	-24,0	
507/11	ovis/capra	M2 sup.	E8(10) A607 1a					-8,3	29,0		-17,9	7,3	37,4	14,4	3,0	-20,2	
540/11	ovis/capra	radio/ulna	C7(16) K1031 1					-11,0	30,0		-18,6	6,1	39,9	15,6	3,0	-22,9	
559/11	ovis/capra	omero	D8(2) K763 1					-12,0	30,6		-19,3	6,9	36,8	15,3	2,8	-23,8	
530/11	ovis/capra	mandibola	E8(9-10) A607 1a-b					-11,1	29,6		-18,5	5,8	37,7	15,2	2,9	-23,0	
915/11	Sus domesticus	premascellare	D8(3) A1228 rP1					-13,2	24,9	14,9	-20,3	7,4	36,7	14,8	2,9	-25,1	-9,1
958/11	Sus scrofa ferus	canino inf. (M)	D8(1) K802 1					-12,2	25,4	15,4	-20,4	6,5	30,6	12,7	2,8	-24,0	-8,5
508/11	Bos taurus	omero	E8(10) A607 2b					-10,3	27,4							-22,2	
531/11	Bos taurus	radio/ulna	E8(9) A607 2c					-9,5	27,7	19,6	-18,7	6,8	43,5	16,6	3,1	-21,3	-5,3
534/11	Bos taurus	tibia	E8(10) A607 1a					-12,6	28,5							-24,4	
537/11	Bos taurus	omero	D8(3) K763 1					-11,2	26,2		-19,7	8,4	43,1	15,8	3,2	-23,1	
555/11	Bos taurus	tibia	D7(14)D8(2) A631 1					-13,2	29,7	20,8	-20,2	5,5	40,0	15,3	3,0	-25,0	
914/11	Lepus capensis	II metatarso	E8(1) K1639 1a					-13,8	31,4	23,4	-21,5	2,5	39,5	14,7	3,1	-25,7	
928/11	Lepus capensis	tibia	E8(2)(3)(6)(7) A1221 rP1					-12,3	28,1		-20,4	3,3	37,8	14,7	3,0	-24,2	
912/11	Canis lupus familiaris	omero	E7(13) K1645					-13,3	25,1		-19,1	7,7	32,1	12,7	2,9	-25,1	
913/11	Canis lupus familiaris	V metatarso	E7(13) K1645					-13,2	26,0	17,0	-19,5	8,2	36,9	14,0	3,1	-25,1	
922/11	Canis lupus familiaris	femore	E8(6) K1661 alfa					-13,0	28,4	20,1	-20,1	4,7	39,8	13,1	3,5	-24,8	
954/11	Ursus arctos	pelvi	E(1) K1718 1					-13,7	25,2	16,0	-19,2	4,3	34,5	13,0	3,1	-25,6	

ARSLANTEPE livello VID																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE				δ ¹³ C _{dietal(ap)} (PDB) Iacumin et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (V-SMOW)
									δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C	%N	C/N		
342/11	Homo	femore	D8(3)	H321	S217	M	giovane adulto		-13,2	25,4	15,5	-19,8	8,0	32,0	14,6	2,6	-25,1	-9,7
343/11	Homo	costa	D8(3)	H321	S217	M	giovane adulto		-13,1	25,4	15,9	-19,6	7,8	37,0	14,5	3,0	-25,0	-9,0
603/12	Homo	femore	E9(1)	H156	S138				-12,9	25,2	16,5	-20,0	7,1	36,6	13,8	3,1	-24,8	-7,9
598/12	Homo	femore		H158	S138	M	giovane adulto		-12,0	25,3	17,1	-19,3	8,0	36,3	13,9	3,1	-23,9	-6,9
401/11	Capra hircus	tibia	E8(14-15) A542 1c						-12,0	29,8		-19,3	5,4	35,8	14,2	2,9	-23,9	
409/11	Capra hircus	metatarso	E8(14) A542 1d						-12,0	30,4		-19,2	4,4	39,3	15,7	2,9	-23,9	
418/11	Capra hircus	metacarpo	E8(6) A559 rP1					1 anno	-10,6	31,0		-17,9	6,1	38,8	15,4	2,9	-22,4	-4,2
836/11	Capra hircus	tibia	E8(10) A542 2a						-12,7	29,8	20,4						-24,6	
826/11	Capra hircus	metatarso	E8(10-11) A516 1a						-12,6	29,7							-24,4	
416/11	Ovis aries	metacarpo	E(6) A559 rP1					1 anno	-11,8	30,3		-19,7	4,7	33,7	13,1	3,0	-23,6	
419/11	Ovis aries	omero	D9(4) A337 1						-12,2	29,8	20,8	-19,1	5,7	38,1	14,4	3,1	-24,1	-4,3
422/11	Ovis aries	mandibola	E8(14) A542 1d						-12,0	29,7		-19,2	4,7	38,8	14,3	3,2	-23,8	
426/11	Ovis aries	tibia	E8(14) A542 1d						-16,5	19,1							-28,3	
439/11	Ovis aries	radio	E8(7)(6) A592 alfa 1a						-12,2	27,2	20,4	-18,7	5,0	39	14,7	3,1	-24,0	-4,6
412/11	ovis/capra	metatarso	E8(6)(7) A516 alfa rM1						-11,1	28,3		-18,6	4,7	34,6	12,0	3,4	-23,0	
413/11	ovis/capra	mandibola	E8(6) A592 alfa 1d					3/4 anni	-12,1	28,4		-19,0	5,5	38,3	14,5	3,1	-23,9	
417/11	ovis/capra	tibia	E8(3) A1131 1a						-10,1	28,2							-22,0	
431/11	ovis/capra	mandibola	E8(7)(6) A592 alfa 1a						-11,0	29,7		-17,4	3,5	35,3	13,7	3,0	-22,8	
438/11	ovis/capra	mandibola	E8(14) A542 1f						-11,9	29,9		-19,3	5,1	38,8	14,3	3,2	-23,8	
423/11	Sus domesticus	molare	E8(7)(7-11) A1137 fM1						-13,5	27,6		-19,3	4,8	33,2	13,4	2,9	-25,3	
424/11	Sus domesticus	III metatarso	E8(7)(6-7)(8-6) A1136 1c						-14,3	24,1		-19,5	3,0	37,3	14,6	3,0	-26,2	-6,7
742/11	Sus domesticus	ulna	C10(4)D10(1) K1533 2						-13,5	26,8	17,0	-19,7	6,4	37,7	14,0	3,1	-25,3	
824/11	Sus domesticus	mascellare	E8(10-11) A516 13a					< 1 anno	-13,7	27,6		-19,6	3,7	37,4	13,1	3,3	-25,6	
429/11	Sus scrofa ferus	canino inf. (M)	E8(10) A498 1b*						-11,4	25,2		-20,3	4,6	45,6	15,2	3,5	-23,3	
402/11	Bos taurus	omero	E(14) A542 1f					2/3 anni	-9,0	26,4		-17,3	7,4	42,9	15,5	3,2	-20,9	
420/11	Bos taurus	tibia	D8(16) D9(4) A337 6a						-10,6	27,4	17,7	-18,3	7,1	43,7	15,4	3,3	-22,5	-7,1
433/11	Bos taurus	femore	E8 (14-15) A542 1c						-9,0	27,5		-17,6	8,1	40,8	15,5	3,1	-20,9	
435/11	Bos taurus	radio	E8(14-15) A542						-9,1	28,2		-17,2	7,1	42,1	15,5	3,2	-21,0	
440/11	Bos taurus	omero	E8(14) A542 1d						-8,7	27,6	19,9	-15,4	7,9	45,3	16,1	3,3	-20,6	-4,9
953/11	Cervus elaphus	mascella	K702 3b						-12,1	28,4	21,2	-18,9	4,6	38,5	14,9	3,0	-23,9	-1,2

ARSLANTEPE livello VID																	
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		COLLAGENE						
									δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	% C	% N	C/N		
									δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	δ ¹³ C _{colla} (ap) (PDB) Iacumin et al. 2014	δ ¹⁸ O _{colla} (V-SMOW)				
407/11	<i>Lepus capensis</i>	meta tarso	E8(7)(3-7) A1136 1							-13,3	31,0	-20,3	3,1	42,7	15,3	3,3	-25,2
434/11	<i>Lepus capensis</i>	meta tarso	E8(3)(6) A592 alfa 1a							-13,9	28,3	-21,5	0,8	39,2	15,1	3,0	-25,7
834/11	<i>Lepus capensis</i>	tibia	E8(10-14) A516 1c							-12,9	29,5	-20,4	4,9	39,0	15,1	3,0	-24,7
839/11	<i>Lepus capensis</i>	tibia	E8(10) A542 1b *							-11,5	26,5	-19,3	3,7	38,0	15,5	2,9	-23,4
849/11	<i>Lepus capensis</i>	mandibola	E8(10) A545 1a							-14,2	29,2	-19,1	7,5	39,0	14,3	3,2	-26,0
757/11	<i>Lepus capensis</i>	femore	D7(13) A536 1							-12,4	23,5	-18,8	6,8	37,9	14,8	3,0	-24,2
567/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	metatarso III	C10(3)(4) A1062 rP3						< 1 anno	-11,5	27,9	-17,8	6,0	38,1	14,8	3,0	-23,4
820/11	<i>Ursus arctos</i>	meta podiale	E8(10) A523 A524 rM2							-13,3	25,4	-18,4	7,5	38,9	15,6	2,9	-25,2
403/11	<i>Vulpes vulpes</i>	tibia	E8(7)(8-6)(6-7) A1136 1c							-12,9	30,4	-19,9	3,4	38,2	14,9	3,0	-24,7
415/11	<i>Vulpes vulpes</i>	mandibola	E8(7)(7-11) A592 alfa 1a							-13,0	27,1	-17,6	7,9	36,2	14,5	2,9	-24,9

ARSLANTEPE livello VA														
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		COLLAGENE			
									δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C	%N
									δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)		δ ¹³ C _{colla(ap)} (PDB) Iacumin et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (V-SMOW)
886/11	<i>Cervus elaphus</i>	radio	E8(7-11) A1081 rP1						22,0	-12,3	30,3		-24,2	-0,5
1109/11	<i>Cervus elaphus</i>	mascellare	D8(4) A58 rP2							-12,7	25,0		-24,6	
1114/11	<i>Cervus elaphus</i>	II falange	E8(11) A480 rP1							-12,6	28,8		-24,5	-0,1
1113/11	<i>Lepus capensis</i>	calcagno	E8(11) A480						21,4	-12,6	29,1		-24,4	
1115/11	<i>Lepus capensis</i>	tibia	E8(11) A452 rM1							-12,8	31,7		-24,7	
755/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	IV metatarso	E7(15) K1387 1a-b							-13,6	23,8		-25,4	
871/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	radio	E8(2) A1106 2c							-12,6	24,1		-24,4	
875/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	tibia	E8(2) A1106 2c							-12,7	25,0		-24,5	
878/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	I falange	E8(2) A1106 2b							-11,8	25,8		-23,6	
832/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	radio	E8(10-11) A516 1alfa c*						15,2	-11,8	24,3		-23,6	
1111/11	<i>Canis lupus familiaris</i>	calcagno	E8(11) A489 1a-b							-9,4	25,5		-21,3	
1116/11	<i>Vulpes vulpes</i>	metacarpo	E8(11) A481							-13,1	29,5		-25,0	
419/13	animale	dente	S204							-11,0	26,1		-22,9	
413/13	animale	dente	S199							-11,0	25,1		-22,9	

ARSLANTEPE livello VA																		
								CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE						
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C	%N	C/N	δ ¹³ C _{dieta(ap)} (PDB) lacunin et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (V-SMOW)
412/13	Homo	costa		H285	S199		neonato		-13,0	27,0		-17,6	11,2	35,5	14,2	2,9	-24,8	
414/13	Homo	metatarso		H289	S201		bambino		-12,1	25,8		-18,2	8,1	35,8	14,8	2,8	-23,9	
415/13	Homo	canino		H290	S197		bambino		-12,4	27,7		-18,0	8,7	35,7	13,7	3,0	-24,3	
416/13	Homo	costa		H290	S197		bambino		-10,4	25,2		-16,8	8,6	36,4	14,5	2,9	-22,3	
417/13	Homo	costa		H298	S204	F	giovane adulto		-13,0	25,7	17,0	-18,1	7,9	35,4	14,6	2,8	-24,8	-7,0
418/13	Homo	canino		H298	S204	F	giovane adulto		-12,0	26,9	18,4	-17,3	7,7	36,7	14,4	3,0	-23,9	-4,5
884/11	Capra hircus	radio	E8(2) A1106 2c						-11,0	30,6		-18,0	5,6	37,5	14,7	3,0	-22,9	-5,0
815/11	Capra hircus	radio	8(2-3) A1106 1b						-11,6	28,5	19,7	-18,3	6,7	33,2	12,3	3,1	-23,5	
1106/11	Capra hircus	scapola	E8(5-6) A58 rM2						-12,5	24,8							-24,3	
1112/11	Capra hircus	tibia	E8(5) A58 rM1						-11,9	31,5		-18,9	2,9	31,0	11,9	3,0	-23,8	
1110/11	Capra hircus	metacarpo	E8 (5) A58 rM2						-11,4	30,5	23,1						-23,3	-1,2
828/11	Ovis aries	astragalo	E8(7)(7-11) A1133 rPpP1						-11,1	29,6	21,9	-19,0	4,8	39,2	14,8	3,1	-23,0	-3,6
877/11	Ovis aries	calcagno	E8(1) A1102 rP4						-11,3	30,7		-18,0	5,6	35,8	13,5	3,1	-23,2	
823/11	Ovis aries	radio	E8(2) A1106 3a						-11,7	30,9		-18,8	5,0	38,4	14,8	3,0	-23,6	
722/11	Ovis aries	radio/ulna	E9(7) K808 1a					> 3 anni	-9,9	30,4	22,7						-21,8	-3,1
545/11	ovis/capra	mascella	E7(6) A981 2b						-12,2	28,2		-19,0	3,9	40,1	15,5	3,0	-24,0	
547/11	ovis/capra	femore	E7(6) A981 2b						-12,2	30,5		-18,8	4,8	37,7	14,6	3,0	-24,0	
563/11	ovis/capra	omero	E7(3) A1070 rFr1						-10,5	28,4							-22,3	
692/11	ovis/capra	femore	E9(7) K808 1a					3/4 anni	-11,3	29,8		-18,1	6,1	37,6	14,0	3,1	-23,1	
549/11	Sus domesticus	mandibola	E7(15) E8(3) K1436 1f					<1 anno	-13,6	23,9		-19,4	5,9	33,3	13,3	2,9	-25,4	
759/11	Sus domesticus	madibola	E7(11-12-15-16) K1457 1b					1 anno	-12,7	24,5	15,7	-19,3	6,7	34,3	14,0	2,9	-24,6	-8,2
880/11	Sus domesticus	scapola	E8(3) A1106 1b						-12,9	24,5	16,1	-19,2	6,9	34,4	13,7	2,9	-24,7	-7,7
881/11	Sus domesticus	mascellare	E8(2) A1106 2c					3/6 mesi	-13,2	24,6		-19,0	6,4	36,4	14,8	2,9	-25,1	
882/11	Sus domesticus	mascellare	E8(3) A1106 1b					1/2 mesi	-13,8	24,9		-19,3	7,9	36,4	14,4	2,9	-25,6	
873/11	Sus scrofa ferus	II falange	E8(6-7)(7-11) A1105 rP1						-13,3	24,9							-25,2	
551/11	Bos taurus	metatarso	E7(6) A981 2b						-9,3	28,9	20,7	-17,3	9,1	31,2	14,6	2,5	-21,2	-4,2
544/11	Bos taurus	radio	E7(6) A981 2b						-9,0	27,2	18,7	-16,9	8,8	43,7	15,6	3,3	-20,9	-6,1
543/11	Bos taurus	omero	E7(6) A981 2b						-9,9	27,1		-16,7	8,3	41,5	15,4	3,1	-21,8	
548/11	Bos taurus	tibia	E7(15) E8(3) K1436 1f						-9,2	26,5		-17,3	7,5	41,6	15,4	3,2	-21,1	
568/11	Bos taurus	mandibola	E7(7)E7(7-3) A1115 1b*					>3 anni	-10,3	25,1		-17,4	7,6	30,1	12,2	2,9	-22,2	

ARSLANTEPE livello III															
CARBONATO							COLLAGENE								
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C ^{dieta(ap)} lacurini et al. 2014	δ ¹⁸ O ^{aqua} (VSMOW)	
225/13	Lepus capensis	metacarpo III	G4(1)A1168rP2						-10,5	29,2	-15,8	5,4	37,7	14,3	3,1
226/13	Lepus capensis	calcagno	G4(1)A1168rP2						-13,7	29,8	-20,6	2,1	41,0	15,5	3,1
227/13	Lepus capensis	tibia	2a *G3(14)A1168						-13,1	28,6	-20,3	2,8	39,7	14,4	3,2
228/13	Lepus capensis	omero	1aG3(13)A1168						-12,7	29,1	-20,0	2,5	39,1	15,3	3,0
229/13	Lepus capensis	II metatarso	2rP2G4(2)A1168						-9,9	31,4	-15,7	5,3	38,8	15,0	3,0
230/13	pisces (cfr Esocia)	vertebra	G3(14)A1168rP2						-8,1	25,7	-18,3	9,1	38,0	15,0	3,0
231/13	equus sp.	tibia	A11682a *G3(13)						-10,9	27,1	-18,2	6,4	39,7	15,4	3,0
232/13	equus sp.	metatarso	A1168rP3G3(14)						-12,8	27,1	-19,8	4,1	38,5	14,5	3,1
233/13	equus sp.	calcagno	A1168rP2G3(13)(14)						-13,9	28,2	-19,7	3,8	36,9	14,1	3,0
242/13	Capra hircus	radio	A12791a						-12,0	30,7	-18,4	4,1	40,8	15,8	3,0
243/13	Capra hircus	radio	A1168rP1						-13,6	28,7	-19,3	5,3	39,2	14,7	3,1
244/13	Sus domesticus	atlante	A1168rP3G3(14)						-13,0	25,3	-19,1	7,1	38,5	15,2	3,0
245/13	Sus domesticus	epistrofeo	A1168rP3G3(14)					giovane	-13,2	24,7					
246/13	Sus domesticus	metatarso	A1168rP3G3(14)						-13,6	24,5	-19,7	7,6	38,9	15,4	2,9
247/13	Sus domesticus	atlante	A1278rP3G3(11)						-12,3	25,9	-19,2	2,9	40,4	15,2	3,1
248/13	Sus domesticus	III metacarpo	A1278rP3G3(11)						-12,7	24,2	-19,0	6,2	38,9	15,7	2,9
249/13	Bos taurus	mandibola	G4(1)eG4(6)A1168rP2						-12,5	24,5	-19,0	4,7	33,7	12,8	3,1
250/13	Bos taurus	M1	G4(1)eG4(6)A1168rP2						-10,9	24,6	-20,1	5,4	42,8	14,7	3,4
251/13	Bos taurus	femore	G4(1)eG4(6)A1168rP2						-11,4	26,9	-19,1	5,8	43,2	15,4	3,3
252/13	Bos taurus	radio	G4(1)eG4(6)A1168rP2						-10,7	25,9	-20,0	4,9	44,8	15,0	3,5
253/13	Bos taurus	M1 inf.	G4(1)eG4(6)A1168rP2						-10,6	27,5	-18,5	7,6	43,2	15,1	3,3
254/13	Ovis aries	mandibola	G4(1)A1168rP2					adulto	-11,6	28,3	-18,6	4,1	45,4	16,7	3,2
255/13	Ovis aries	mandibola	G4(1)A1168rP2					3 mesi	-13,6	29,4	-19,9	6,1	45,0	14,9	3,5
256/13	Ovis aries	omero	G4(1)A1168rP2						-12,6	30,7	-20,4	5,2	43,6	16,3	3,1
257/13	Ovis aries	radio	G4(1)A1168rP2					1 anno	-11,6	29,7	-18,4	5,1	43,6	16,7	3,1
258/13	Ovis aries	metacarpo	G4(1)A1168rP2						-12,2	29,2	-19,2	5,1	43,3	16,5	3,1
259/13	Ovis aries	femore	G4(1)A1168rP2						-13,2	31,1	-20,0	3,9	43,0	16,6	3,0

ARSLANTEPE livello I																		
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO		COLLAGENE				$\delta^{13}\text{C}_{\text{dieta}}(\text{ap})$ (PDB) lacumin et al. 2014	$\delta^{18}\text{O}_{\text{acqua}}$ (V-SMOW)
									$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (V-SMOW)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR)	%C	%N	C/N		
167/13	Homo	costa		H266		M	vecchio		-13,2	26,5		-19,0	8,2	41,7	15,5	3,1	-25,0	
168/13	Homo	M3		H266		M	vecchio		-9,6	27,0	16,9	-17,6	7,4	42,1	15,5	3,2	-21,5	-7,2
169/13	Homo	I costa		H269		F	adulto		-12,8	26,1		-18,5	8,6	41,2	15,8	3,0	-24,6	
170/13	Homo	costa		H271			neonato		-12,5	28,0		-18,3	9,5	40,9	16,1	3,0	-24,3	
171/13	Homo	costa		H265	S182		bambino		-12,5	25,6		-18,6	7,0	42,8	15,3	3,3	-24,4	
174/13	Homo	I costa		H263	S180		adulto		-11,6	26,8	17,5	-17,5	8,0	42,2	16,0	3,1	-23,4	
175/13	Homo	M3		H263	S180		adulto		-11,5	27,6		-17,6	8,2	41,2	15,5	3,1	-23,3	-6,0
176/13	Homo	canino		H263	S180		adulto		-12,4	27,5		-18,7	8,2	43,2	15,7	3,2	-24,3	
177/13	Homo	II costa		H264	S181	F	adulto		-13,1	26,3		-18,3	7,8	41,6	15,7	3,1	-24,9	
178/13	Homo	canino		H264	S181	F	adulto		-12,2	26,7		-18,0	7,6	40,7	16,1	2,9	-24,0	
179/13	Homo	costa		H272	S189		neonato		-12,6	26,3		-18,4	9,9	39,7	15,4	3,0	-24,5	
180/13	Homo	I costa		H268	S185	F	giovane adulto		-12,9	23,3	16,0	-19,3	8,8	42,6	15,5	3,2	-24,8	-8,8
181/13	Homo	M3		H268	S185	F	giovane adulto		-11,8	25,8		-18,8	7,9	42,9	15,3	3,3	-23,6	
182/13	Homo	M1		H268	S184	F	giovane adulto		-12,8	27,5		-18,4	6,3	41,4	15,0	3,2	-24,6	
183/13	Homo	costa		H260	S202		neonato		-14,3	27,2		-19,0	9,3	40,8	15,0	3,2	-26,2	
184/13	Homo	costa		H262	S179		neonato		-13,4	26,9		-17,8	9,2	43,9	15,0	3,4	-25,2	-8,8
185/13	Homo	I costa		H261	S178	M	vecchio		-13,7	26,1	16,0	-19,5	7,0	43,7	15,4	3,3	-25,6	
186/13	Homo	I costa		H257	S174	M	adulto		-12,4	22,7		-18,4	6,2	38,5	14,8	3,0	-24,3	-7,8
187/13	Homo	M3		H257	S174	M	adulto		-12,7	26,9	16,6	-18,8	6,2	43,2	15,2	3,3	-24,5	
188/13	Homo	premolare		H257	S174	M	adulto		-12,9	27,0		-19,1	6,9	37,5	16,3	2,7	-24,8	
189/13	Homo	I costa		H259	S176		adolescente		-12,8	25,8		-19,2	7,3	40,4	14,8	3,2	-24,7	
190/13	Homo	M1		H259	S176		adolescente		-12,9	27,3		-18,4	8,8	41,6	15,0	3,2	-24,7	
191/13	Homo	costa		H256	S173		neonato		-13,1	26,7		-18,3	8,2	36,8	15,1	2,8	-25,0	
192/13	Homo	omero		H246	S165		feto		-13,0	25,7		-18,8	9,5	43,9	15,6	3,3	-24,9	-7,5
193/13	Homo	M3		H258	S175		adulto		-12,1	27,0	16,7	-18,8	7,7	45,1	15,1	3,5	-24,0	
194/13	Homo	M1		H258	S175		adulto		-13,4	28,2		-19,4	7,7	40,4	21,5	2,2	-25,2	
195/13	Homo	I costa		H258	S175		adulto		-12,1	26,6		-18,6	7,5	42,5	14,2	3,5	-23,9	
196/13	Homo	tibia		H243	S161		feto		-13,2	27,0		-18,4	8,8	44,5	15,6	3,3	-25,0	
197/13	Homo	I costa		H255A	S172		bambino		-13,1	26,1		-18,7	7,6	44,2	15,2	3,4	-25,0	-6,2
199/13	Homo	metacarpo		H247	S163	M			-12,7	26,5	17,4	-18,3	8,4	41,8	15,6	3,1	-24,6	
200/13	Homo	I costa		H242	S160	M	giovane adulto		-12,8	25,7		-17,0	7,2	43,1	15,2	3,3	-24,7	

ARSLANTEPE livello I																			
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	CARBONATO		FOSFATO	COLLAGENE				$\delta^{13}C_{dieta(ap)}$ (PDB) lacunin et al. 2014	$\delta^{18}O_{acqua}$ (V-SMOW)		
									$\delta^{13}C$ (PDB)	$\delta^{18}O$ (V-SMOW)	$\delta^{18}O$ (V-SMOW)	$\delta^{13}C$ (PDB)	$\delta^{15}N$ (AIR)	%C	%N			C/N	
201/13	Homo	M1		H242	S160	M	giovane adulto		-8,1	27,1		-15,6	8,7	38,0	14,9	3,0	-20,0		
202/13	Homo	M3		H242	S160	M	giovane adulto		-10,0	25,5	15,5	-16,0	6,9	40,1	15,0	3,1	-21,8	-9,7	
204/13	Homo	Canino		H241	S160	M	adulto		-6,8	26,3		-16,9	8,6	41,3	15,5	3,1	-18,7		
205/13	Homo	I costa		H241	S160	M	adulto		-13,6	26,3	16,5	-19,0	8,9	40,5	15,2	3,1	-25,5	-7,9	
206/13	Homo	rib		H158	S138	M	giovane adulto		-9,1	24,8		-18,6	8,9	35,6	13,6	3,1	-21,0		
207/13	Homo	I costa		H249		F	vecchio		-12,5	25,8		-18,0	6,9	43,7	16,4	3,1	-24,4		
208/13	Homo	I costa		H270	S187	M	adulto		-13,8	25,8		-19,1	9,6	42,2	16,6	3,0	-25,6		
209/13	Homo	Canino		H270	S187	M	adulto		-13,0	27,9		-19,2	9,8	40,8	16,2	2,9	-24,8		
210/13	Homo	falange piede (I dito)		H273B	S190	M	adulto		-11,4	27,6	16,9	-18,7	7,1	40,3	16,3	2,9	-23,3	-7,2	
211/13	Homo		metatarso		H273B	S190	M	adulto		-11,2	26,3		-18,1	7,0	39,3	15,9	2,9	-23,1	
212/13	Homo		M1		H273A	S190	M	adulto		-12,6	27,8		-18,2	8,4	43,0	16,0	3,1	-24,5	-6,5
213/13	Homo		M3		H273A	S190	M	adulto		-12,6	27,2	17,3	-18,8	8,9	50,5	16,1	3,7	-24,4	
214/13	Homo	I costa		H273A	S190	M	adulto		-13,6	25,7		-18,9	9,2	44,1	16,5	3,1	-25,4		
216/13	Homo	omero		H249	E7(14)		vecchio		-10,0	24,1	14,1						-21,9	-12,3	
217/13	Homo	I costa		H275	S192		adulto		-13,0	25,4		-19,1	8,6	41,3	15,9	3,0	-24,9		
260/13	Homo	M1		H275	S192	F	adulto		-12,8	26,8		-19,1	9,7	41,4	15,4	3,1	-24,7		
261/13	Homo	M3		H275	S192	F	adulto		-12,7	26,9	16,7	-19,0	8,9	41,9	16,6	2,9	-24,6	-7,5	
262/13	Homo	canino		H274	S191	F	adulto		-12,3	26,0		-18,8	8,9	42,8	16,4	3,0	-24,2	-9,8	
263/13	Homo	I costa		H274	S191	F	adulto		-12,6	25,2	15,5	-19,3	8,4	44,9	16,7	3,1	-24,5		
264/13	Homo	I costa		H276	S193	F	vecchio		-13,9	25,9		-19,4	9,3	42,1	16,5	3,0	-25,8		
266/13	Homo	costa		H281	S177		neonato		-13,3	25,1		-19,3	10,4	41,1	16,0	3,0	-25,1		
267/13	Homo	costa		H279	S177		neonato		-13,3	27,4	17,2	-18,1	12,6	42,3	16,3	3,0	-25,2	-6,7	
268/13	Homo	Il costa		H287	S198		bambino		-12,0	25,5		-18,0	8,6	61,1	15,6	4,6	-23,9		
269/13	Homo	M1		H287	S198		bambino		-12,8	26,6		-19,0	9,8	42,2	16,6	3,0	-24,6		
270/13	Homo	canino		H282	S196	F	giovane adulto		-11,6	25,6		-18,0	7,0	42,4	16,5	3,0	-23,4		
271/13	Homo	I costa		H282	S196	F	giovane adulto		-11,5	27,5		-17,8	7,5	40,6	16,3	2,9	-23,3		
272/13	Homo	I costa		H277	S194	M	adulto		-13,8	27,7		-18,7	9,5	44,2	16,8	3,1	-25,7		
330/13	Homo	M1		H277	S194	M	adulto		-11,1	28,0		-17,0	9,2	41,1	16,3	3,0	-22,9	-5,5	
361/13	Homo	M3		H277	S194	M	adulto		-11,2	27,9	17,8	-18,2	7,9	40,5	15,8	3,0	-23,1		
362/13	Homo	I costa	E8(4)	H228A	S198	M	adulto		-13,2	24,8		-18,9	8,9	40,7	15,8	3,0	-25,1		
363/13	Homo	canino	E8(4)	H228A	S198	M	adulto		-12,3	26,7		-18,8	9,2	38,6	15,0	3,0	-24,2		

ARSLANTEPE livello I																	
									CARBONATO		FOSFATO	COLLAGENE					
CAMPIONE	Specie	Tipologia	Contesto	N. homo	Sepoltura (umani)	Sesso (umani)	Eta' (umani)	Età (animali)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁸ O (V-SMOW)	δ ¹³ C (PDB)	δ ¹⁵ N (AIR)	%C	%N	C/N	δ ¹³ C _{dieta(ap)} (PDB) lacunini et al. 2014	δ ¹⁸ O _{acqua} (V-SMOW)
365/13	Homo	costa	D8(4-8)	H338			neonato		-14,2	26,0	-18,3	9,5	38,3	15,5	2,9	-26,0	
172/13	ovis/capra	tibia	S182(H265)					6/18 mesi	-13,0	29,3	-19,4	4,9	44,5	14,6	3,6	-24,8	
203/13	Bos taurus	l falange	E8(1-2)E8(2)						-10,9	25,4	-19,3	5,7	39,9	14,4	3,2	-22,8	-25,9
234/13	Bos taurus	tibia	C7(11)A897Fr1						-11,1	26,3	-19,1	6,1	40,8	21,9	2,2	-23,0	-25,9
235/13	Bos taurus	carpo	C7(11)A897Fr1						-9,8	27,8	-19,0	6,9	41,3	15,2	3,2	-21,7	
236/13	Bos taurus	molare inf.	C7(11)A897Fr1						-11,3	26,0	-19,5	5,6	37,9	14,0	3,2	-23,1	
237/13	Ovis aries	tibia	C7(11)A8971rFr1						-13,0	31,2	-19,6	3,1	38,5	14,7	3,0	-24,9	
238/13	Ovis aries	metatarso	C7(11)A8971rFr1						-10,9	29,7						-22,7	
239/13	Ovis aries	omero	C7(11)A8971rFr1						-12,8	29,1	-20,0	3,4	39,1	14,6	3,1	-24,7	-28,7
240/13	Ovis aries	calcagno	C7(11)A8971rFr1						-12,2	31,0	-19,7	3,0	36,3	14,3	3,0	-24,0	
241/13	Ovis aries	metatarso	C7(11)A8971rFr1						-12,4	30,1	-19,3	3,6	39,1	14,8	3,1	-24,2	
364/13	Lepus capensis	2 metatarso	D8(4-8)					giovane	-13,6	25,7	-21,4	3,7	38,7	15,4	2,9	-25,5	-25,0
776/13	Capra hircus	omero	E8(1-2)E8(2)					adulto	-12,9	31,4	-19,4	3,9	55,3	15,4	4,2	-24,8	
777/13	Ovis aries	M2 inf.	E8(1-2)E8(2)					3/6 anni	-9,3	26,3						-21,2	
778/13	ovis/capra	M2 sup.	E8(1-2)E8(2)					adulto	-11,3	26,5						-23,2	
779/13	ovis/capra	M1 sup.	E8(1-2)E8(2)					adulto	-9,5	28,3						-21,4	
780/13		metatarso	E8(1-2)E8(2)					6/18mesi	-11,5	28,9	-19,1	2,5	30,9	12,6	2,9	-23,4	
781/13	ovis/capra	scapola	A897Fr1					<6 mesi	-9,5	28,2	-14,9	7,2	42,3	14,5	3,4	-21,4	
782/13	ovis/capra	vertebra	A897Fr1					4/6 anni	-11,8	28,2	-19,4	4,4	38,8	14,6	3,1	-23,7	
783/13	ovis/capra	costola	A897Fr1					<1 anno	-9,1	28,9	-14,7	6,9	36,1	14,8	2,8	-21,0	
784/13	ovis/capra	radio	A897Fr1						-10,8	31,6	-17,3	5,0	40,6	15,0	3,2	-22,7	
785/13	ovis/capra	femore	A897Fr1					>4 anni	-11,7	26,3	-19,5	5,2	34,6	14,1	2,9	-23,5	-23,6
787/13	Sus domesticus	omero	S182(H265)					<6 mesi	-12,8	27,2	-18,8	6,9	43,7	15,4	3,3	-24,7	
788/13	ovis/capra	epistrotfeo	S182(H265)						-12,0	29,7	-19,4	4,2	44,7	14,3	3,6	-23,9	