



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Ricostruzione Paleoambientale del Sito Archeologico di Arslantepe (Anatolia Orientale)

**Palaeoenvironmental reconstruction of the
archaeological site of Arslantepe (Eastern Anatolia)**

Dottorato di ricerca:
**Scienze Applicate alla Protezione
dell'Ambiente e dei Beni Culturali**
Dipartimento di Scienze della Terra

Coordinatore Adriana MARAS

Tutore Scientifico Laura SADORI

Docenti Esaminatori

Guido BISCONTIN

Anna Maria MERCURI

Giovanni E. GIGANTE

Alessia MASI

XXIV Ciclo

Abstract

The archaeobotanical remains, coming from the tell of Arslantepe (Eastern Anatolia), have been studied to reconstruct the vegetation history and the palaeoclimate features of the site. The anthracological investigation provided important changes along the five investigated periods. Both anthropological choices and environmental causes can be advocated to explain increase/decrease of key *taxa*. The stable carbon content of charred wood remains (juniper and deciduous oaks) and caryopses (barley and emmer) has been analysed for five different archaeological periods (3350-2000 BC) and for modern plants grown near the site.

The results show important similarities with the palaeoenvironmental records available for the Near East. The climate trend can be divided in three main aspects: an instability phase dated from ca. 3350 to 2900 BC; a phase of relative stability (up to 2350 BC); a driest phase during the last part of the 3rd millennium BC. The comparison of $\Delta^{13}\text{C}$ values between fossil and modern plants show that the present climate is more arid than that registered between the end of the 4th and the 3rd millennium BC. Between 3000 and 2750 BC the results for caryopses clearly show a different hydric system, compatible with irrigation practises for emmer, if compared with barley.

Indice

1. Introduzione

1.1 L'archeobotanica	7
1.2 L'archeobotanica e la ricostruzione ambientale	9
1.3 Gli studi paleoambientali	11
1.3.1 Carote di ghiaccio	12
1.3.2 Sedimenti lacustri e marini	12
1.3.3 Barriere coralline	13
1.3.4 Anelli degli alberi	13
1.3.5 Climatologia storica	14
1.4 L'uso degli isotopi stabili in archeobotanica	14

2. Il sito archeologico di Arslantepe

2.1 L'ambiente	17
2.1.1 Inquadramento ambientale dell'Anatolia	17
<i>Idrogeologia dell'area di Arslantepe</i>	19
2.1.2 Caratteristiche fitogeografiche dell'area di Arslantepe	20
2.1.3 Il clima attuale	23
2.2 L'archeologia	25
2.2.1 Il sito archeologico di Arslantepe e la sua collocazione in Anatolia	25
2.2.2 Lo sviluppo del sito: le fasi archeologiche	27
Periodo VI A (Tardo Calcolitico Finale, 3350-3000 a.C.)	
Periodo VI B1 (Bronzo Antico I - 3000-2900 a.C.)	
Periodo VI B2 (Bronzo Antico I - 2900-2800 a.C.)	
Periodo VI C (Bronzo Antico II - 2750-2500 a.C.)	
Periodo VI D (Bronzo Antico III - 2500-2000 a.C.)	
2.2.3 Studi archeologici e archeobotanici in Anatolia	38
2.3 I dati archeobotanici su Arslantepe	41

2.4 Il clima dell'Olocene medio nel Vicino Oriente	46
2.4.1 <i>Grotta di Soreq</i>	47
2.4.2 <i>Mar Morto</i>	49
2.4.3 <i>Golfo di Oman e Mar Rosso</i>	50
2.4.4 <i>Lago di Van</i>	51
2.4.5 <i>Eski Acıgöl</i>	53
2.4.6 <i>Gölü Gölhisar</i>	53

3. Metodologie di studio

3.1 L'analisi isotopica	55
3.1.1 Gli isotopi e i loro campi di applicazione	55
<i>Geochimica isotopica</i>	
<i>Ecosistemi acquatici</i>	
<i>Ecologia</i>	
<i>Ricostruzione delle paleodiete in ambito archeologico</i>	
<i>Caratterizzazione dei manufatti archeologici</i>	
<i>Ambito forense</i>	
3.1.2. Lo studio del rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nei vegetali	58
3.1.3. Fattori che influenzano il $\delta^{13}\text{C}$	63
<i>Fattori ambientali</i>	
L'intensità della luce, La concentrazione atmosferica di CO_2 , L'acqua, L'altitudine, I siti sensibili	
<i>Differenze intraspecifiche nello studio del $\delta^{13}\text{C}$</i>	
Efficienza idraulica, Morfologia della foglia, Profondità delle radici, Fotosintesi della corteccia, Rami giovani, Altezza della pianta, Piante annuali eduli, i cereali e le leguminose	
3.1.4 Lo studio isotopico su materiali carbonizzati	67
3.1.5 La spettrometria di massa per lo studio isotopico	70
3.2 Selezione dei materiali e procedure di analisi	72
3.2.1 Procedura di selezione dei materiali	72
<i>Materiali archeologici</i>	
<i>Materiali di riferimento</i>	
3.2.2 Procedura di analisi	77
<i>Analisi antracologica</i>	
Caratteristiche microscopiche del genere <i>Quercus</i> gruppo caducifoglie, Caratteristiche microscopiche del genere <i>Juniperus</i>	
<i>Analisi carpologica</i>	
Caratteristiche morfologiche di <i>Hordeum vulgare</i> L., Caratteristiche morfologiche di <i>Triticum dococcon</i> Schrank	
<i>Analisi isotopica</i>	

4. Risultati delle analisi isotopiche

4.1 Risultati delle analisi isotopiche dei resti antracologici	85
4.2 Risultati delle analisi isotopiche dei resti carpologici	94
4.3 Risultati delle analisi dei materiali di riferimento	100
4.5 Risultati delle analisi di $\Delta^{13}\text{C}$	102

5. Confronto e discussione dei dati	
5.1 Confronto dei dati isotopici sul materiale antracologico	107
5.2 Confronto dei dati isotopici sul materiale carpologico	111
5.3 Confronto dei dati isotopici col materiale di riferimento	113
5.4 Discussione generale	115
6. Conclusioni	121
Bibliografia	125

Introduzione

1.1 L'archeobotanica

Con il termine archeobotanica si intende lo studio delle caratteristiche morfologiche di macroresti e microresti vegetali ritrovati in contesti collegabili alle attività antropiche. Tale studio, tramite l'identificazione tassonomica dei reperti, ha come scopo la conoscenza delle piante utilizzate in contesti umani e la ricostruzione del paesaggio vegetale con cui hanno interagito le popolazioni del passato. Per macroresti si intendono quei fossili o frammenti di fossili visibili ad occhio nudo (semi, frutti, annessi floreali, funghi, rizomi, legni, etc.) con microresti invece si intendono i fossili o frammenti di essi visibili solo con l'ausilio del microscopio (cuticole, fitoliti, granuli pollinici, frammenti di semi e frutti).

In passato questo genere di reperti riceveva una scarsa attenzione da parte degli archeologi tanto da venire scartato come di nessun interesse. I primi studi iniziarono alla fine del XIX secolo (Hastorf, 1999), ma un vero e proprio interesse per lo studio delle piante fossili ritrovate negli scavi archeologici si ebbe a partire dagli anni '50 con le opere di Helbaek per il Vicino Oriente (Helbaek & Schultze, 1981).

Lo studio archeobotanico non si limita solo al mero riconoscimento di piante nel passato ma analizza il significato filogenetico, bioclimatico e paleoecologico della pianta in particolare e del contesto di rinvenimento in generale, fornendo informazioni preziose sul rapporto uomo/ambiente. Questo strettissimo rapporto muta in ogni epoca e in ogni luogo ma non esiste un periodo della vita dell'uomo che non sia regolato e modellato dall'uso di prodotti vegetali nel senso più ampio del termine.

Se da una parte le piante sono una delle fonti principali di alimentazione dell'uomo non

bisogna dimenticare che rivestono un ruolo importante in un numero incredibile di altri campi. Forniscono infatti materiale per la costruzione di abitazioni (da semplici ripari fino ai più complessi edifici), di imbarcazioni, di utensili, di oggetti sacri o artistici e di strumenti musicali; producono resine usate come impermeabilizzanti, profumi o collanti; fibre per la realizzazione di tessuti e cordami; varie sostanze usate come medicinali o pigmenti e infine inebrianti usati spesso nei riti religiosi (Hastorf, 1999).

È molto difficile poter avere un quadro esaustivo del rapporto tra l'uomo e le piante in antico ma è anche vero che la crescente attenzione verso gli studi archeobotanici ha portato sempre più informazioni in questo senso. In molti contesti si svolge una vera e propria ricerca interdisciplinare che porta a una più profonda e completa conoscenza del contesto studiato.

L'iniziale interesse per le origini delle piante coltivate, della domesticazione e della nascita dell'agricoltura si è ampliato con l'aumento degli studi e delle conoscenze. Il semplice interesse tassonomico si è via via ridimensionato a favore dello studio delle complesse interazioni tra l'uomo e l'ambiente. Questa nuova prospettiva ha dato l'impulso per la fondazione dell'*International Work Group of Palaeoethnobotany* (IWGP) nel 1968 che è ancora oggi uno dei principali forum di discussione e confronto internazionale. In questo ambito è cresciuta l'importanza per una sotto-disciplina dell'archeobotanica, l'antracologia, specializzata nello studio del legno carbonizzato (Ferrio, 2005).

Gli studi archeobotanici si sono intensificati negli ultimi venti anni grazie soprattutto al perfezionamento delle tecniche di campionamento, dei metodi analitici di studio e delle interpretazioni dei dati, che hanno consentito di velocizzare un lavoro che resta comunque lungo e difficile. In compenso tali studi hanno permesso di ampliare notevolmente le conoscenze riguardo gli stili di vita delle antiche popolazioni, il processo che ha portato alla domesticazione delle piante e l'impatto fortissimo che l'uomo ha avuto sull'ambiente circostante. Gli orizzonti della disciplina si stanno via via ampliando allo studio dell'alimentazione umana, dei coltivi e dell'agricoltura, ma anche all'impatto antropico sulla vegetazione, correlando queste informazioni con quelle relative al paleoambiente. Tuttavia bisogna tenere presente che il materiale raccolto riflette non solo il paesaggio circostante, ma anche l'interazione tra la vegetazione e l'uomo. Alcuni studi, ad esempio, sono stati improntati allo studio delle interazioni economiche (come lo sfruttamento del combustibile) e delle implicazioni delle scelte effettuate dall'uomo (Willcox 1999; Asouti, 2003; Asouti & Austin, 2005; van der Veen & Tabinor, 2007). La stima del contributo della selezione umana all'insieme vegetale ritrovato è ancora uno dei passaggi più difficili dell'interpretazione archeobotanica e paleoambientale. L'applicazione dei dati archeobotanici nello studio paleoambientale è una materia complessa che richiede di prendere in considerazione una serie ampia di fattori.

Al valore aggiunto che le informazioni archeobotaniche possono fornire allo studio archeologico si contrappone la necessità di un minuzioso lavoro in fase di scavo per la raccolta dei campioni che, nella maggior parte dei casi, rallenta le normali operazioni di scavo. Molte volte il prelievo dei materiali deve essere fatto "alla cieca" prelevando campioni anche su terreni apparentemente sterili dal momento che molti dei reperti non sono visibili a occhio nudo. Dopo il campionamento è necessario effettuare una setacciatura delle terre che può essere fatta a secco o in acqua, a seconda delle caratteristiche dei materiali presenti e della terra stessa. Non di rado gli scavi archeologici sono effettuati in fretta e con pochi fondi a

disposizione. La scelta di condurre questo tipo di analisi resta ancora legata alla sensibilità degli archeologi, con il rischio concreto che preziose informazioni vadano perdute.

Il primo e fondamentale passaggio di ogni indagine archeobotanica è l'identificazione morfologica dei resti vegetali. Spesso questa fase è molto lunga, ma i risultati ottenuti sono sempre un prezioso contributo all'interpretazione archeologica. Ultimamente il solo riconoscimento dei *taxa* presenti in uno scavo trova scarso interesse nelle principali riviste del settore quali *Vegetation History and Archaeobotany*, *Economic Botany* e *Journal of Ethnobiology*, che sono ormai orientate su siti di rilevanza internazionale presi in considerazione sotto un punto di vista principalmente paleoambientale.

Come già accennato, uno degli aspetti più interessanti della ricerca archeobotanica, quello che più di tutti ha contribuito allo sviluppo di questa scienza, è lo studio dell'origine dell'agricoltura. Un grandissimo numero di lavori si è concentrato prima sull'area della Mesopotamia e, successivamente al progredire degli studi, anche in Anatolia e nel Vicino Oriente in generale (Renfrew, 1973; Hillman, 1984; Van Zeist & Casparie, 1984; Bar-Yosef e Kislev, 1986; Miller, 1992; Willcox, 1995, Fall *et al.*, 2002). La ricerca si è occupata del passaggio dalle forme selvatiche a quelle domestiche sviluppando un acceso dibattito riguardo il "dove" e il "quando" si sono evolute le forme che oggi conosciamo, producendo una ricca letteratura (Helbaek, 1970; Kislev & Bar-Yosef, 1988; van Zeist, 1988; Kislev, 1989; Lipschitz *et al.*, 1991; McCorrison & Hole, 1991; McCorrison, 1992; Moore & Hillman, 1992; Wright, 1993; Abbo *et al.*, 2003; Willcox, 2004; 2005). La ricerca archeobotanica si svolge ovviamente anche in altre parti del mondo per le quali si citano solo alcuni lavori esemplificativi: Asia orientale (Crawford, 1992), Africa (Harlan, 1992), Europa (Dennell, 1992; Zohary & Hopf, 1993), e nord e sud America (Smith, 1992, Pearsall, 1992).

I recenti studi sul DNA hanno dato nuovo impulso allo studio dei progenitori selvatici delle piante coltivate attuali sui quali non è stata ancora fatta del tutto chiarezza (Brown, 1999). Tali studi acquistano maggiore valore se affiancati alle più moderne analisi per la conservazione della diversità genetica delle piante coltivate. Lo studio dei progenitori e delle specie più strettamente imparentate alle piante coltivate permette di ottenere una riserva genetica che possa scongiurare il rischio di epidemie particolarmente favorite dalla sostanziale omogeneità genetica delle piante coltivate.

1.2. L'archeobotanica e la ricostruzione ambientale

La visione della natura come una realtà statica, uno sfondo passivo su cui si muovono gli uomini, è fortunatamente stata superata. Al concetto di ambiente come sistema sfruttato e modificato a favore dell'uomo si è sostituita via via l'idea che l'uomo e la natura sono profondamente integrati tra loro. Non esiste più l'ambiente umano disturbato in contrapposizione alla natura incontaminata, ma il loro rapporto è complesso e si sviluppa sotto diversi aspetti. Lo studio archeobotanico mette in evidenza queste relazioni e permette di collegare i costumi e le abitudini strettamente legati all'ambiente e alle piante che crescevano in prossimità degli insediamenti.

Il ruolo dell'ambiente nelle scelte e nelle vicissitudini delle popolazioni è divenuto un agente talmente determinante nella ricostruzione delle popolazioni che una sempre più vasta corrente di pensiero ha iniziato ad attribuire ai cambi climatici le responsabilità della fine, a volte brusca, delle più grandi civiltà.

Le più antiche civiltà umane si sono sviluppate tra il IX e la metà del III millennio dal presente nella regione del Vicino Oriente. Nello stesso periodo la regione è stata interessata da importanti oscillazioni climatiche che, insieme all'espansione dell'uomo, hanno portato a profonde modifiche del paesaggio (Dalfes *et al.*, 1997; Roberts *et al.*, 2011b). Quanta influenza ha avuto il clima sulle dinamiche di insediamento umano?

Alcuni sostengono che l'aridificazione che interessa l'Olocene medio, indicata da un picco di aridità intorno a 4000 anni dal presente (Bar-Matthews *et al.*, 1997; Roberts *et al.*, 2011b; Wick *et al.*, 2003; Staubwasser & Weiss, 2006), è strettamente correlata ai drammatici cambiamenti avvenuti sul piano economico e politico su scala regionale (Weiss *et al.*, 1993; Weiss, 1997; Ristvet & Weiss, 2005). Esistono però anche correnti di pensiero che sostengono che lo sviluppo tecnologico delle società umane sia stato in grado di far fronte e superare le variazioni climatiche e che, oltretutto, tale segnale climatico non si registra nei reperti archeobotanici (McCorriston, 1998; Miller, 1998; Willcox, 2002; Madella & Fuller, 2006). Infine esiste una corrente di pensiero intermedia, che considera i cambiamenti ambientali come un fattore importante ma non decisivo per la storia dell'Età del Bronzo nel Vicino Oriente (Hole, 1997; Riehl, 2009).

La stessa nascita dell'agricoltura è stato un tema molto dibattuto sotto il punto di vista del rapporto dell'uomo con l'ambiente che lo circonda. Il fatto che tale epocale accadimento sia avvenuto nel Vicino Oriente, una zona arida al limite dell'abitabilità, e non in aree ricche e fertili ha posto molti interrogativi e portato alla creazione di un grande numero di teorie al riguardo. Sicuramente è emblematico dello stretto rapporto che l'uomo ha con la natura e di come essa ne abbia influenzato profondamente lo sviluppo (Mercuri *et al.*, 2010). Dove ha potuto, l'uomo è vissuto raccogliendo le risorse disponibili della terra, sfruttandole. In aree-limitate come il Vicino Oriente ha dovuto invece sviluppare strategie di sopravvivenza che hanno implicato la modificazione dell'ambiente circostante, a vantaggio dell'uomo. Lo studio di Hillman & Davies (1990) ha messo in luce come la domesticazione sia stata una fase incredibilmente breve della storia dell'uomo. L'esperimento ha dimostrato che, in alcune condizioni ambientali, in appena 25 anni è possibile arrivare a una specie perfettamente domesticata a partire da un *taxon* selvatico. Dunque non è la complessità del processo a rendere straordinario questo passaggio, quanto più il legame di cause ed effetti che lega l'uomo e la natura. È la natura, attraverso la limitata disponibilità delle risorse, che porta l'uomo a sviluppare nuove strategie che non fanno altro che modificare la natura stessa soggetto attivo e passivo di questo processo.

Gli stessi meccanismi si possono ritrovare in tutti gli aspetti della stretta relazione uomo/ambiente, dove spesso l'esito è l'eccessivo sfruttamento delle risorse ambientali. Questa è una delle grandi tematiche attuali, ma l'uso smodato delle risorse, che lascia segni indelebili sull'ambiente, non è da attribuire solo all'uomo moderno. È proprio l'agricoltura che sfrutta intensivamente il suolo ad aver profondamente trasformato l'ambiente in tutte le aree antropizzate. Nelle prime fasi dell'agricoltura è possibile che gli uomini abbiano sfruttato delle radure naturali in mezzo ai boschi, sia per le caratteristiche del suolo (umido e fertile)

che per il riparo offerto dagli alberi. Il successo di tali coltivazioni deve aver portato a un aumento della disponibilità di cibo strettamente correlato ad un aumento demografico con un affetto a catena. Le radure non devono essere state più sufficienti e sono state sostituite da una pratica ancora oggi utilizzata, il disboscamento. L'abbattimento selettivo di alcune aree di bosco permette lo sfruttamento di terreni fertili, ma che si impoveriscono in breve tempo. Una volta che il terreno si inaridisce viene disboscata una porzione successiva, ottenendo nuova terra fertile. L'area disboscata cresce costantemente senza possibilità di ricreare un bosco. L'arretramento costante del bosco causa non solo una diminuzione delle precipitazioni, ma anche una forte erosione del suolo andando incontro a un effetto di inaridimento che, in casi limite, può portare alla desertificazione. Anche l'allevamento ha un forte impatto ambientale dal momento che il bestiame impedisce anch'esso la crescita di alberi. Il processo è a catena e ha portato alla distruzione di gran parte del manto forestale in molte regioni del mondo. A questo fattore principale di sfruttamento si aggiunge l'abbattimento delle piante per la realizzazione di strutture, manufatti o per l'utilizzo come combustibile. È emblematico in questo senso l'esempio dell'isola di Pasqua che attualmente non presenta copertura arborea ma che un tempo era fittamente ricoperta da palme (*Jubaea chilensis*), sfruttate intensivamente dalla misteriosa popolazione che l'ha abitata tra il 1400 e il 1680 e che ha completamente cambiato l'aspetto dell'isola (Flenley & King, 1984).

Gli aspetti sopra esposti testimoniano quanto complesso sia il rapporto tra uomo e ambiente. Se si vuole ricostruire un ambiente e comprenderne i rapporti con la popolazione che lo abitava, se si vogliono capire alcune scelte che a distanza di millenni possono apparire incomprensibili, è importante cercare di ricostruire la storia della popolazione e dell'ambiente che essa abitava (Roberts *et al.*, 2011a; Sadori *et al.*, 2004). Nello studio archeobotanico dunque si devono tenere presenti le informazioni paleoclimatiche a disposizione per la zona e al contempo si deve cercare di arricchire tali proxy con un sempre maggior numero di dati.

1.3 Gli studi paleoambientali

La ricostruzione del clima passato è fondamentale nello studio dell'evoluzione delle società umane e per meglio comprendere i processi che hanno portato allo sviluppo dell'umanità. La comprensione dei processi climatici del passato è oggi ancora più importante, dal momento che può essere di grande aiuto nel valutare l'entità dei cambiamenti che interessano oggi la Terra e nel migliorare i modelli di previsione a lungo termine per il futuro.

A partire dal XIX secolo si dispone di una serie di parametri regolarmente registrati che aiutano a ricostruire il clima con buona precisione. Per il clima del passato bisogna avvalersi di indicatori indiretti, i cosiddetti *proxies* climatici.

Con tale termine si indicano serie di dati (con origine naturale o documentaria) che vengono appositamente interpretate in base a principi fisici e che sono considerate il frutto dell'interazione clima/ambiente. In questo modo è possibile ottenere prove delle variazioni climatiche avvenute su larga scala. Discernere le diverse variabili e comprendere in esse l'entità del fattore clima è certamente un lavoro molto complesso che richiede un'attenta

calibrazione dei metodi e una convalida incrociata dei dati ottenuti. In questo modo si ottiene un chiaro rapporto tra il proxy e le variabili climatiche che possono averlo indotto. Esistono una serie di indicatori che possono essere studiati ad alta risoluzione in vari tipi di registrazioni paleo ambientali. Tra questi vanno considerati le carote di ghiaccio, i sedimenti lacustri e marini, i coralli, gli anelli degli alberi e gli speleotemi (Tzedakis *et al.*, 1997; Zanchetta *et al.*, 2007b). Di seguito vengono brevemente elencati i più comuni indicatori paleoclimatici. Alcuni di essi verranno utilizzati nel contesto di questo lavoro.

1.3.1 Carote di ghiaccio

Il ghiaccio intrappolato nei ghiacciai delle regioni polari e di alcuni ghiacciai montani può risalire a migliaia, addirittura a milioni di anni fa. Dal momento della sua deposizione la neve conserva una serie di indicatori, accumulatisi stratigraficamente, del clima passato. Il più semplice indicatore è il tasso di accumulazione che permette di stimare il quantitativo di neve accumulata nel tempo, ma all'interno di essa si possono trovare molti altri parametri. La sua composizione e le particelle da essa intrappolate possono dare molte informazioni. Solitamente i principali parametri studiati sono il rapporto isotopico dell'ossigeno, le concentrazioni di diversi sali e acidi, il polline, le tracce di gas contenuti in atmosfera (ad es. CH₄ o CO₂) e rimasti intrappolati (Alley *et al.*, 1997; Francey *et al.*, 1999). Questo tipo di analisi ha il vantaggio di avere un'altissima risoluzione temporale e di fornire dati simultaneamente collegati al clima e alla composizione atmosferica così da poter valutare, ad esempio, l'effetto del clima stesso sull'aumento della CO₂ nell'atmosfera attuale (Thomas *et al.*, 2007; Elsig *et al.*, 2009). Nell'ambito che riguarda questa tesi le carote di ghiaccio hanno lo svantaggio di trovarsi molto lontano dall'area di indagine di questo lavoro.

1.3.2 Sedimenti lacustri e marini

I sedimenti lacustri (alcune volte laminati) di laghi attuali o prosciugati forniscono dati ad alta risoluzione. La sedimentazione in acque calme è solitamente continua, i materiali che cadono in acqua si depositano lentamente sul fondo andando a formare strati sovrapposti che, in casi fortunati, possono arrivare a elevati tassi di sedimentazione. Le particolari condizioni di anossia che si sviluppano sul fondo permettono la conservazione di una grande quantità di materiale organico, indispensabile per effettuare datazioni radiometriche. Le analisi riguardano studi sedimentologici sui sedimenti stessi (granulometria, modelli di sedimentazione) ma anche analisi isotopiche quali $\delta^{13}\text{C}$ della materia organica e $\delta^{18}\text{O}$ dei carbonati e delle conchiglie come indicatori del tasso di evaporazione. Si possono inoltre effettuare analisi geochimiche per comprendere i cambiamenti della composizione e l'abbondanza di diversi composti organici e oligoelementi. A questi studi si affiancano quelli sulle diatomee, gli ostracodi e il polline (Mercuri *et al.*, 2002; Zanchetta *et al.*, 2007a; Sadori, 2007; Mazzini *et al.*, 2011).

Anche i sedimenti marini offrono archivi climatici ad alta risoluzione su cui si applicano le medesime tecniche descritte per i laghi. Bisogna tenere presente però che la risoluzione è solitamente molto inferiore con informazioni nell'ordine dei secoli o dei millenni (Tzedakis *et al.*, 1997).

L'analisi pollinica fornisce uno dei *proxies* più importanti nello studio paleoambientale. La particolare composizione chimica dei granuli di polline li rende relativamente resistenti ai danni chimici, biologici e fisici. Di conseguenza, i granuli possono conservarsi per milioni di anni non solo nei depositi lacustri e marini, ma in una varietà di ambienti sedimentari quali torbiere, diversi tipi di sedimenti sciolti terrestri e anche nelle rocce consolidate (ad esempio in stalagmiti). Lo studio del polline permette di ricostruire la vegetazione del passato grazie al riconoscimento e al conteggio dei granuli pollinici fossili che delineano le comunità vegetali del passato attraverso le quali è possibile ricavare informazioni climatiche. L'influenza dell'uomo nei record pollinici si è fatta sempre più visibile a partire dall'olocene su determinati ambienti. La crescente presenza di polline di cereali e di altre colture e la diffusione delle specie ruderali aiutano nello studio dello sviluppo dell'uomo e delle passate popolazioni ma, al tempo stesso, spesso rendono difficile la lettura della vegetazione naturale (Sadori *et al.*, 2004).

1.3.3 Barriere coralline

La crescita continua degli scheletri dei coralli offre informazioni ambientali per gli oceani tropicali e sub-tropicali. Molto utile è il potenziale di informazione in essi racchiuso riguardo le variazioni in zone sensibili alla *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), che può contribuire a creare i grandi modelli sul clima (Folland *et al.*, 2001). La stima dell'età si effettua attraverso la densità scheletrica dei coralli, mentre le ricostruzioni ambientali si basano sulle variabili geochimiche come gli ologoelementi e gli isotopi stabili ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$) (Juillet-Leclerc & Yiou 2002; Rimbu *et al.*, 2003).

1.3.4 Anelli degli alberi

La dendroclimatologia è ormai da molti anni una sottodisciplina della dendrocronologia. La scienza madre si basa sul principio che nei climi temperati gli alberi formano un anello di accrescimento annuale la cui grandezza è funzione del clima. Piante della stessa specie cresciute vicine avranno anelli simili. Dal momento che ogni anello corrisponde alla crescita della pianta in un anno è possibile creare delle curve datate per confrontare piante diverse (Douglass, 1929). La dendroclimatologia sfrutta queste caratteristiche per ricostruire le variazioni climatiche del passato basandosi sulla relazione tra lo spessore anulare e i fattori climatici (Schweingruber 1988; Cook & Kairiukstis, 1990). Per esempio, nelle zone aride e semiaride, le precipitazioni sono il principale fattore limitante la crescita degli alberi (Serre 1976; Lev-Yadun *et al.*, 1981), mentre nelle regioni più fredde è la temperatura a divenire fattore limitante (Panyushkina *et al.*, 2003; Briffa *et al.*, 2004).

L'analisi dendrocronologica in senso stretto fornisce datazioni spesso incredibilmente accurate ma che si dividono a seconda della specie studiata e del luogo dove è cresciuta. Per limitare tutti i fattori di disturbo questo tipo di analisi ha valore su un numero molto alto di campioni che devono essere mediati tra loro e sovrapposti secondo le corrispondenze che permettono così di ottenere cronologie lunghe anche millenni. In Europa settentrionale sono state realizzate cronologie di pino e larice che si estendono oltre i 7000 anni e per la quercia,

oltre i 9000.

Anche in questo ambito si è applicato lo studio degli isotopi stabili. I primi studi risalgono addirittura agli anni 50 del novecento (Craig 1954; Gray & Thompson, 1976; Libby *et al.*, 1976; Epstein 1979 - per una rassegna si vedano Warren *et al.*, 2001; McCarroll & Loader, 2004). Inizialmente alcuni lavori avevano correlato le variazioni di $\delta^{13}\text{C}$ degli anelli alla temperatura (Wilson & Grinsted 1977; Stuiver & Braziunas 1987; Anderson *et al.*, 1998; Saurer *et al.*, 1995). In realtà la relazione più forte è sicuramente con l'umidità relativa (Stuiver & Braziunas, 1987) o l'ammontare delle precipitazioni (Saurer *et al.*, 1995; Anderson *et al.*, 1998). Non sono però da escludere relazioni indirette tra la temperatura e la disponibilità d'acqua (Saurer *et al.*, 1997; Dupouey *et al.*, 1993; Korol *et al.*, 1999; Warren *et al.*, 2001; McCarroll & Loader, 2004). Tutti questi studi riguardano periodi di tempo limitati agli ultimi 100 o 200 anni, ma esistono lavori che applicano tali studi su legni facenti parte di cronologie più vecchie e che forniscono dati climatici ad alta risoluzione per l'Olocene (Libby *et al.*, 1976; Becker *et al.*, 1991; Feng & Epstein, 1994; McCornac *et al.*, 1994; Kromer *et al.*, 2004). Di recente è stato pubblicato su Science un articolo che riguarda la variazione della popolazione Europea in relazione al clima degli ultimi 2500 anni (Büntgen *et al.*, 2011). Gli autori dimostrano come le variazioni ambientali hanno influenzato la produttività agricola, i rischi per la salute e i livelli di conflittualità delle società preindustriali ma al contempo la difficoltà di ottenere record paleoclimatici ad alta risoluzione. L'uso di una ricostruzione paleoambientale basata sugli anelli degli alberi ha dato il necessario dettaglio per mettere in evidenza la corrispondenza tra le variazioni climatiche e quelle delle popolazioni europee.

1.3.5 Climatologia storica

La climatologia storica riguarda lo studio delle fonti, testimonianze scritte che possono procedere indietro nel tempo anche per millenni e che spesso riportano informazioni riguardo periodi di siccità o inverni estremamente rigidi. La fonte più preziosa sono gli archivi religiosi e i registri agricoli (Camuffo, 1993; Camuffo & Enzi, 1995; Pfister *et al.*, 1999).

1.4 L'uso degli isotopi stabili in archeobotanica

Come si discuterà approfonditamente nei capitoli successivi, gli isotopi stabili nei tessuti vegetali riflettono le condizioni ambientali in cui le piante si sono sviluppate. I resti vegetali carbonizzati che vengono rinvenuti negli scavi archeologici sono un loro prodotto derivante da combustione parziale. Il primo a proporre un'applicazione dell'analisi isotopica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) applicata a resti archeobotanici fu De Niro a metà degli anni ottanta (De Niro & Hastorf, 1985; Marino & De Niro, 1987) allo scopo di ottenere valori di riferimento per studi alimentari. Vennero effettuate una serie di prove sperimentali su diversi *taxa* e con diversi trattamenti per la rimozione dei contaminanti del suolo quali acidi umici e carbonati. I risultati dimostrarono piccoli cambiamenti nei valori di $\delta^{13}\text{C}$ in relazione alla carbonizzazione e ai

trattamenti chimici. Questi studi si collegano con i lavori precedenti di Farquhar e Condon (Farquhar *et al.*, 1982; Farquhar, 1984; Condon *et al.*, 1987) riguardanti le variabili fisiologiche del $\delta^{13}\text{C}$ nelle colture di grano. Successivamente sono stati fatti dei tentativi per cercare di comprendere la relazione tra le antiche colture e la possibilità dell'esistenza di antiche tecniche di irrigazione (Araus & Buxo, 1993; Araus *et al.*, 1997a; 1999). Araus e i suoi colleghi hanno sviluppato dei modelli quantitativi per stimare gli apporti d'acqua nei cereali invernali quali il frumento e l'orzo. Seguendo un processo simile hanno anche tentato di quantificare la resa degli antichi campi sfruttando la forte relazione che lega $\delta^{13}\text{C}$ alla produzione di cereali che, a sua volta, si basa sul fatto che il $\delta^{13}\text{C}$ è un indicatore della disponibilità d'acqua (Condon *et al.*, 1987; Voltas *et al.*, 1998; Araus *et al.*, 1998; Riehl *et al.*, 2008; Riehl, 2008: 2009).

Questo tipo di analisi non può prescindere da una considerazione fondamentale: i cereali raccolgono un'informazione che è contemporaneamente climatica e agricola in proporzioni variabili tra loro e sempre molto difficili da stabilire. Tuttavia quello che sembra un problema insuperabile può divenire un punto di forza mano a mano che lo stato delle ricerche avvanzerà, fino a quando potrà discernere tra le due variabili. A questo punto quello che inizialmente era un problema sarà uno strumento utile per ricostruire le pratiche agricole. A questo riguardo sono di grande aiuto gli studi effettuati su carboni di specie arboree. Le ricerche in campo archeologico sono davvero scarse, gli unici studi presenti sono quelli di February & Van der Merwe (1992) e di Vernet *et al.* (1996) e più recentemente di Fiorentino *et al.* (2008). Si è a lungo dibattuto dei possibili effetti della carbonizzazione sul legno. Alcuni autori sostenevano la possibilità che la carbonizzazione potesse influenzare il $\delta^{13}\text{C}$ (Jones & Chaloner 1991) ma il lavoro di Hall *et al.* (2008) ha chiaramente dimostrato come, sia in atmosfere ossidanti che riducenti, il segnale di $\delta^{13}\text{C}$ si mantiene sia per il legno intero che per le sue componenti (cellulosa e lignina) fino a temperature di circa 650° C.



Il sito archeologico di Arslantepe

2.1 L'ambiente

2.1.1 Inquadramento ambientale dell'Anatolia

L'area geografica dell'Anatolia si caratterizza come una penisola, circondata dal Mar Nero a nord, dal mar Egeo a ovest, dal mar Mediterraneo a sud, dal mar di Marmara a nord-ovest e dalla Mesopotamia a ovest. In essa ricade per intero l'odierno stato della Turchia. La penisola anatolica è percorsa da due catene montuose all'incirca parallele, delimitanti un vasto altopiano, che corrono da est ad ovest, la catena del Ponto a nord e quella del Tauro a sud. La zona a est è più alta e molto più montuosa e può raggiungere anche i 1700 m di quota. L'area a sud-est è notevolmente più bassa e piatta e degrada dolcemente dagli 800 m della zona più a nord fino ai 400 m presso il confine con la Siria (Tan, 1996).

La parte occidentale è ricca di vulcani che hanno originato alte montagne, molte delle quali superano i 3000 m di altezza (Atalay, 2004; 2006). Esistono poi un numero elevato di fiumi, i più famosi dei quali sono il Tigri e l'Eufrate che si originano nella Turchia orientale e scorrono verso la Siria e l'Iraq fino a sfociare nel Golfo Persico. L'estensione e le caratteristiche dell'area fanno dell'Anatolia un luogo con un'ampia diversità topografica (Tan, 1996).

Arslantepe si trova nell'area sud-orientale dell'Anatolia, a pochi chilometri dalla catena del Tauro, in un'area caratterizzata da dolci colline e vaste pianure (fig. 2.1).



Figura 2.1 Catene montuose della Turchia. Il punto rosso indica il sito di Arslantepe. Da: Atalay, 2006, modificata.

Il sito si trova su un vasto altipiano di forma triangolare che copre all'incirca 500 km² con un'altitudine media di circa 800 m e che prende il nome dalla città di Malatya. I litotipi della piana sono permeabili all'acqua sia per composizione che per tessitura. Il versante più a sud è composto da depositi fluvio-lacustri ricoperti, localmente, da conglomerati. La zona verso l'Eufrate è caratterizzata da sedimenti plio-quadernari quali conglomerati non ben cementati, ghiaie e sabbie (Marcolongo & Palmieri, 1983). Le colline a sud e sud-est della piana sono caratterizzate da una litofacies calcarea fatta di conglomerati basali e depositi fliscioidi costituiti da marne calcaree, marne arenarie e conglomerati. I conglomerati si presentano a volte brecciati e fratturati (Fig. 2.2). L'acqua piovana permea i differenti litotipi e si accumula nella porzione orientale della piana.

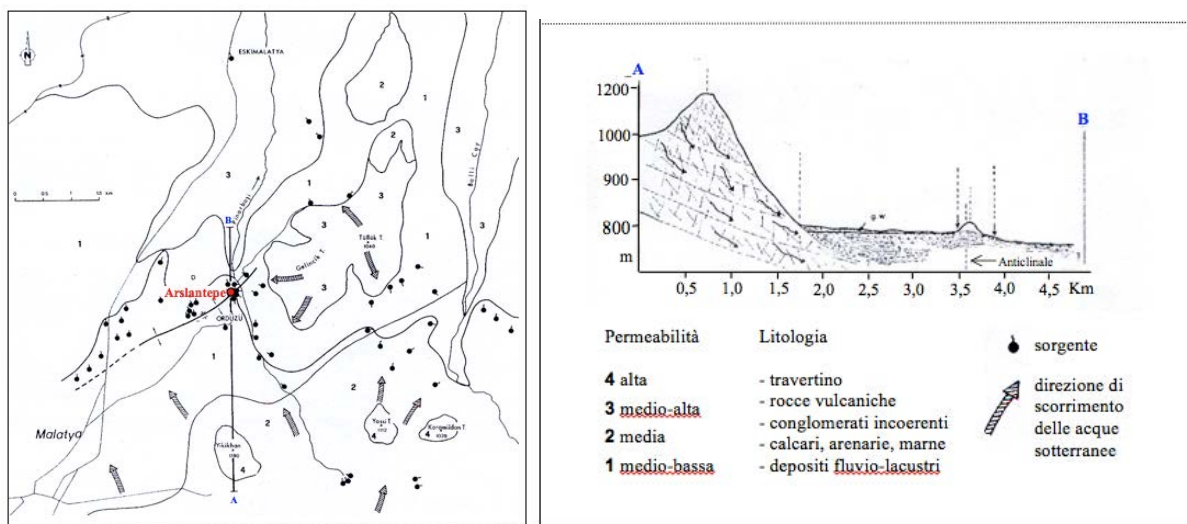


Figura 2.2 Mappa della piana di Malatya da cui è possibile vedere le sorgenti, la direzione di scorrimento dell'acqua a la permeabilità dei litotipi. Da: Marcolongo & Palmieri, 1983, modificata.

La disposizione della catene montuose ha un forte effetto sulla distribuzione delle precipitazioni che vengono sbarrate, senza arrivare alla piana interna. Le pendici settentrionali dei monti del Tauro, quelle rivolte verso la piana di Malatya, ricevono molto meno pioggia

(circa 400 mm/anno) del versante meridionale, esposto verso il mare e dove si può arrivare fino a 1000 mm di precipitazioni annue (Atalay, 2004).

Idrogeologia dell'area di Arslantepe

Le condizioni climatiche dell'area di Malatya non sembrerebbero adatte all'insediamento di un villaggio millenario. La piana al contrario presenta condizioni idrogeologiche davvero vantaggiose che ne hanno consentito un intenso sfruttamento agricolo che dura fino a oggi. L'acqua ad Arslantepe di certo non manca, non solo quella portata dal piccolo fiume di Pinarbasi che scorre nelle immediate vicinanze del *tell* ma soprattutto quella risorgiva (Marcolongo & Palmieri, 1983). Come è possibile vedere in figura 2.3, l'area di Arslantepe è caratterizzata da un alto contenuto di umidità del suolo causato dalla presenza di numerose e abbondanti sorgenti d'acqua a portata costante, a loro volta presenti grazie a specifiche caratteristiche geo-litologiche (Marcolongo & Palmieri, 1983).

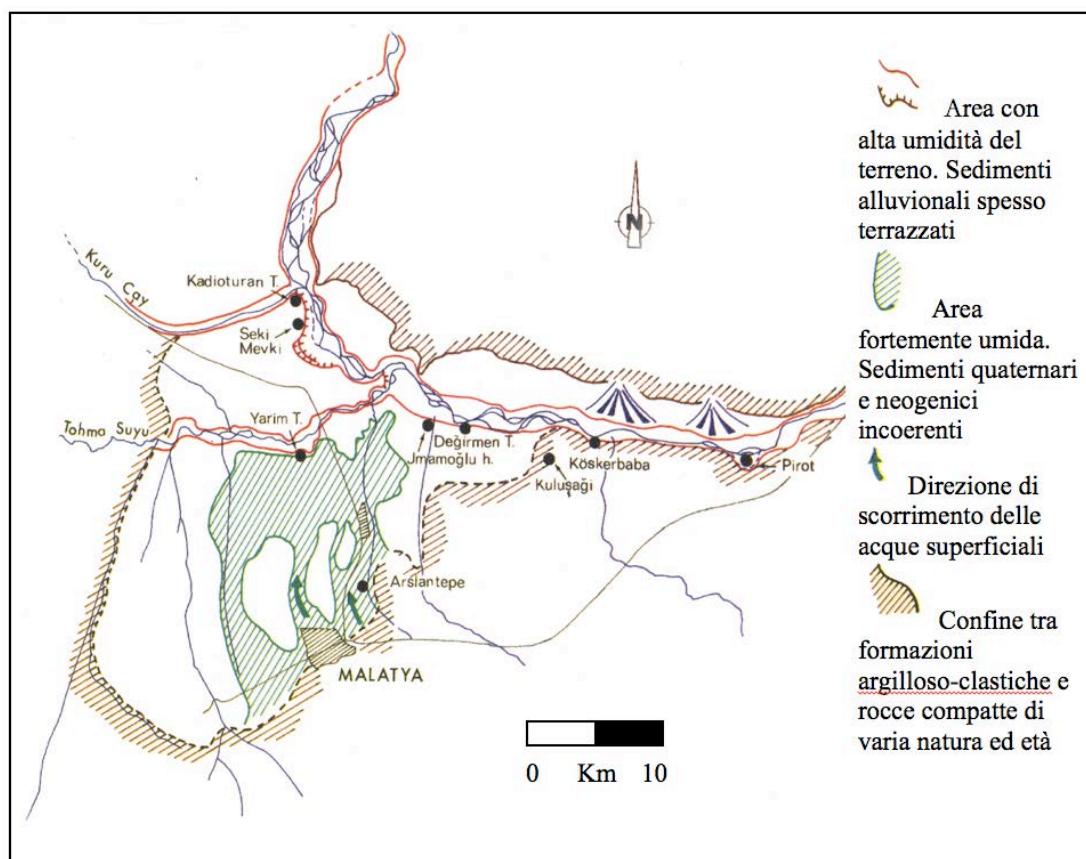


Figura 2.3 Caratteristiche idrogeologiche della piana di Malatya. Da: Marcolongo & Palmieri, 1983, modificata.

L'acqua piovana che permea i litotipi calcarei, si raccoglie nella parte orientale della piana. Proprio nelle vicinanze del tepe, Marcolongo & Palmieri (1983) hanno individuato due grandi sorgenti principali, una a sud/sud-est proveniente dalle colline carbonatiche che bordano la piana di Malatya, l'altra a nord-est proveniente dal complesso vulcanico del Gelincik Tepe, seguite da molte di minore importanza (Fig. 2.2).

Questo alto contenuto di umidità è sfruttato appieno da una capillare canalizzazione che ha permesso di destinare all'agricoltura la maggior parte della piana che oggi è ricchissima di biomassa nonostante si trovi in un'area semi-desertica. La disponibilità di acqua ha

contribuito in modo diretto alla produttività biologica ma anche, in modo indiretto, alle attività connesse quali l'allevamento e la metallurgia.

2.1.2 Caratteristiche fitogeografiche dell'area di Arslantepe

La Turchia si trova nel punto di incontro di tre regioni fitogeografiche: l'Euro-Siberiana, la Mediterranea e la Irano-Turanica (fig. 2.4). La regione Euro-Siberiana si estende nel nord dell'Anatolia mentre con quella mediterranea si comprendono tutte le aree che si affacciano sul Mediterraneo. La regione Irano-Turanica infine è di gran lunga la più vasta e ricca di specie, si estende nell'area centrale della penisola e, a est, prosegue oltre i confini della Turchia (Tan, 1996). Arslantepe ricade in questa area caratterizzata da un clima continentale con forti escursioni termiche tra estati asciutte e inverni freddi. La temperatura annuale media è compresa tra 4° e 18° C e le precipitazioni medie annuali sono 350-400 mm (Kaya & Raynal, 2001; Murat, 2002).

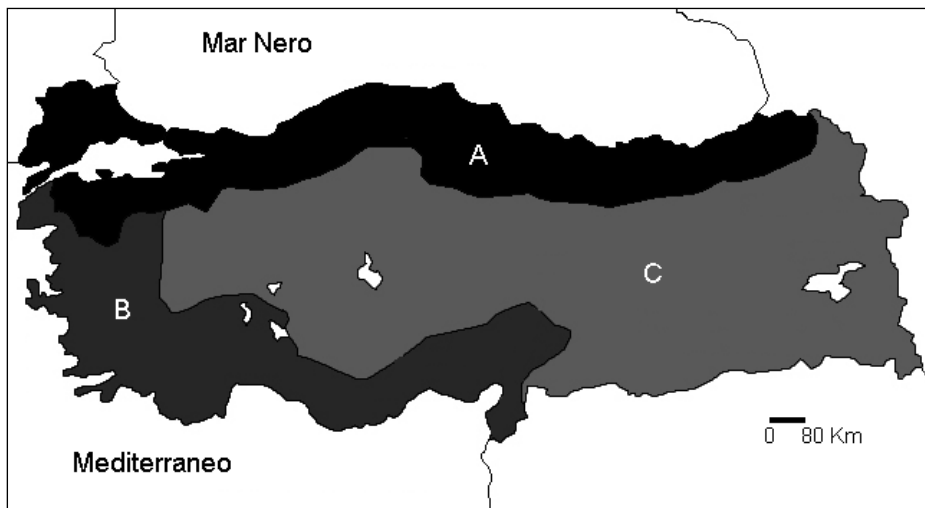


Figura 2.4 Le tre regioni floristiche che si incontrano in Turchia: a) Regione Euro-Siberiana; b) Regione Mediterranea; c) Regione Irano-Turanica. Da: Murat, 2002, modificata.

L'alta catena del Tauro impedisce all'umidità proveniente dal mar Mediterraneo di raggiungere le aree interne della penisola. Per questo motivo le fasce floristiche altitudinali dei due versanti hanno caratteristiche diverse. Il versante meridionale, quello rivolto verso il mar Mediterraneo, presenta nella fascia più bassa (0-1000/1500 m) una vegetazione Euro-Mediterranea con un insieme di piante tipiche mediterranee con una prevalenza di foreste di pino calabro (*Pinus brutia*). Dove queste sono state distrutte sono state sostituite da una vegetazione di macchia. La seconda fascia è compresa tra 1000 e 2000 m ed è caratterizzata da cedro (*Cedrus libani*), pino nero (*Pinus nigra*) e abete della Cilicia (*Abies cilicica*). Nelle zone dove il cedro è stato abbattuto, il *taxon* che lo sostituisce è il ginepro. La terza fascia, al di sopra dei 2000 m, è caratterizzata da specie erbacee sub-alpine (Atalay, 2004; 2006).

Il versante settentrionale è rivolto verso la parte continentale dell'Anatolia dove si trova la piana di Malatya, uno dei luoghi con il maggior numero di endemismi della Turchia (Yildiz *et al.*, 2004). Esso è caratterizzato da un regime climatico semi-arido che spiega la presenza di steppe e boschi aridi. Anche su questo versante le fasce floristiche sono determinate dalla quota. Nelle valli e nelle depressioni (area nord-orientale e orientale dell'Anatolia) domina la

steppa mentre la foresta arida, composta principalmente da *Quercus* sp. e *Juniperus* sp., si trova nella fascia altitudinale compresa tra 1000/1200 m fino a 2000 m. Al di sopra, in condizioni fredde e sub-umide tra 2000 e 2700 m si trova *Pinus sylvestris* altrimenti è presente la steppa montana a partire dai 2000 m di quota (Atalay, 2006).

La situazione attuale vede il 24% del territorio scoperto da foreste e il 26% di tutta la superficie della Turchia occupato da steppe (Çolak & Rotherham 2006 - fig. 2.5). Il 42% delle foreste della Turchia è composto di conifere (da molte specie di *Pinus*, *Juniperus*, *Abies*, ma anche *Picea* e *Cedrus*) mentre il 53 % da latifoglie, prime tra tutte molte specie caducifoglie e semicaducifoglie di *Quercus*, seguite da *Fagus orientalis*, *Alnus* spp. e *Castanea sativa*.

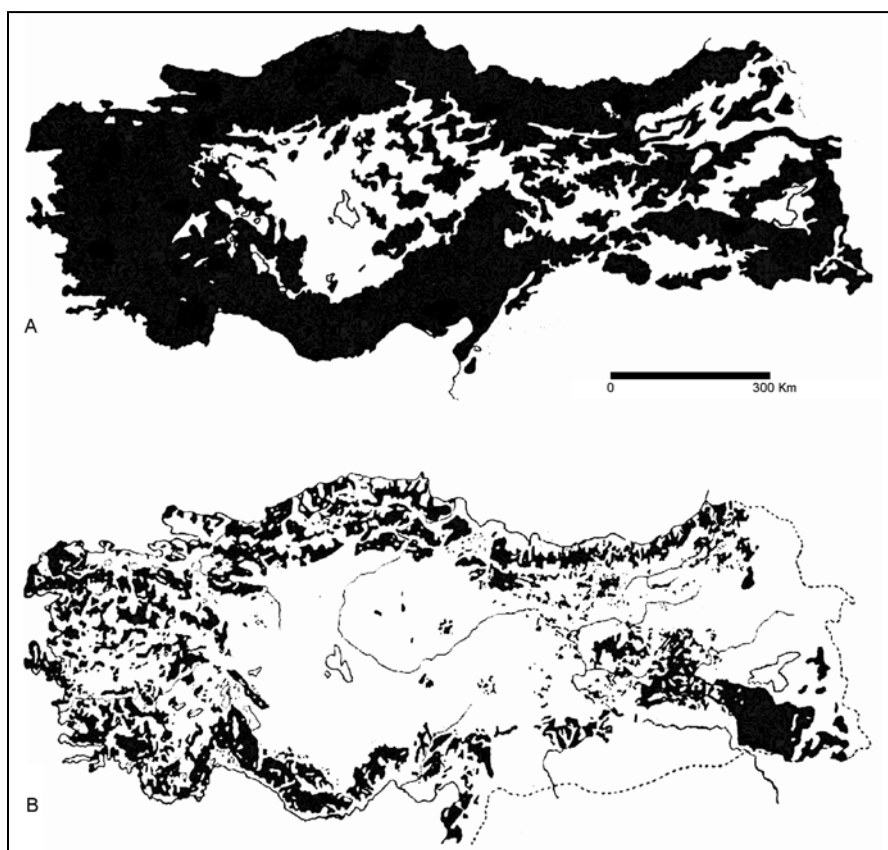


Figura 2.5 Copertura forestale della Turchia. a) potenziale copertura forestale (50 milioni di ettari) e steppica (10-15%). b) copertura forestale (circa 20,7 milioni di ettari) e steppica (24%) (Kaya & Raynal, 2001). Da: Çolak & Rotherham, 2006, modificata.

Il risultato della distruzione di questi ecosistemi è la vegetazione steppica ad arbusti visibile oggi. Solo rari residui di boschi sono ancora visibili, la maggior parte si trovano nella zona a est della città di Ankara. Nelle montagne sud-orientali del Tauro i boschi di querce sono costituiti da diverse specie: *Quercus infectoria* Oliv., *Q. ithaburensis* Dcne. subsp. *macrolepis* Kotschy, *Q. brantii* Lindley, *Q. libani* Oliv., *Q. robur* L. subsp. *pedunculiflora* C. Koch e *Q. petraea* (Matt.) Liebl. (Kaya & Raynal, 2001; Parolly, 2004; Davis, 1965-1985; 1988).

Regione geografica	Taxon	Altitudine
Anatolia centrale	<i>Juniperus oxycedrus, Juniperus excelsa</i>	800-1500 m
	<i>Pinus nigra, Quercus cerris</i>	800-1500 m
	<i>Quercus pubescens</i>	800-1500 m
	<i>Quercus</i> spp.	> 1200 m
	<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i>	1000-1500 m
	<i>Pinus sylvestris</i>	> 1500 m
Anatolia orientale	<i>Quercus</i> spp.	> 850 m
	<i>Pinus sylvestris</i>	1500-2700 m
Anatolia meridionale	<i>Quercus</i> spp.	> 850 m

Tabella 2.1 Regione floristica Irano-Turanica della Turchia: specie forestali. Da: Kaya & Raynal, 2001, modificata.

Un rapporto FAO del 1996 (Tan, 1996) ha stimato che circa il 20 % del territorio turco è coperto da foreste (circa 20 milioni di ettari), particolarmente ricche di ecosistemi vegetali molto vari tra loro. Le aree forestali più importanti sono otto, distinte secondo la loro posizione geografica e la loro specie dominante, come ad esempio boschi di conifere, di latifoglie sempreverdi e di latifoglie a foglie caduche sia puri che misti. Non mancano inoltre episodi di cattiva gestione come l'abbattimento a scopo commerciale del legno o gli incendi per aumentare la produttività agricola, eventi che si ripetono da migliaia di anni che hanno profondamente modificato la vegetazione.

Il territorio turco è caratterizzato da un'ampia varietà geomorfologica, topografica e climatica che si riflette in un'elevata variabilità genetica vegetale. La Turchia infatti è uno dei centri di origine e/o bacino di diversità di molte specie di piante, anche le progenitrici di quelle coltivate. Un'altra caratteristica fondamentale è la sua posizione geografica di ponte di collegamento tra tre continenti (Europa, Asia e Africa). L'incontro tra una grande variabilità vegetale e la ricchezza delle popolazioni che hanno abitato questo territorio ha fatto sì che proprio qui avvenisse la domesticazione di molte delle specie coltivate (Kaya *et al.*, 1998). Sul suo territorio sono presenti circa 9000 specie diverse, ripartite in 163 famiglie e 1225 generi (Tan, 1996; Çolak & Rotherham, 2006; Davis, 1988). Il dibattito sulle specie progenitrici delle piante coltivate moderne è molto ampio. Sebbene non sempre ci sia chiarezza riguardo all'esatta specie di origine si possono comunque elencare i generi che le includono: *Triticum* sp. (frumento), *Hordeum* sp. (orzo), *Lens* sp. (lenticchia), *Cicer* sp. (cece), *Pyrus* sp. (pero), *Malus* sp. (melo), *Juglans* sp. (noce), *Castanea* sp. (castagno) (Çolak & Rotherham, 2006).

La domesticazione e la nascita dell'agricoltura sono la causa più evidente di un profondo sfruttamento del territorio. L'Anatolia è infatti abitata da migliaia di anni, la prima città (Catalhöyük) risale al 7500 a.C. e gli scavi di Göbekli Tepe hanno recentemente messo in discussione le teorie sulla nascita della religione che risalgono a circa 11000 anni fa (Schmidt, 2000). Dopo di che molte civiltà si sono susseguite: Sumeri, Ittiti, Cimmeri, Turriti, Persiani, Ellenici, etc. Qual'è stato l'impatto di queste popolazioni sul territorio? Quale il loro rapporto con i cambi climatici che hanno interessato l'Olocene? La discussione in questo ambito è ancora aperta (Bottema, 1995; Eastwood *et al.*, 1999) e lo scopo di questo lavoro è anche di contribuire a comprendere quali cambiamenti sono da attribuire ai cambi climatici e quali sono collegati all'impatto antropico.

2.1.3 Il clima attuale

Della variabilità climatica dell'Anatolia si è già accennato. Sebbene il paese sia situato nell'area mediterranea le caratteristiche del paesaggio, in particolare le due catene di monti che corrono parallele alle coste, causano significative differenze nelle condizioni climatiche tra una regione e l'altra. In generale, la maggior parte delle precipitazioni cade nella stagione invernale dove le temperature medie sono spesso al di sotto dei 5° C, quindi con scarsa evaporazione. In estate le precipitazioni sono molto rare, tanto da non essere sufficienti a limitare la mancanza idrica dovuta alle alte temperature e all'evaporazione. I versanti montani prospicienti il mare registrano precipitazioni annue che vanno da 580 a 1300 mm coi picchi massimi sulle coste del mar Nero che possono raggiungere anche i 2200 mm annui (fig 2.6). Le nuvole che riescono a passare le alte barriere delle montagne (2500-3000 m) e penetrano all'interno sono raramente sufficienti per generare precipitazioni (Sensoy *et al.*, 2008).

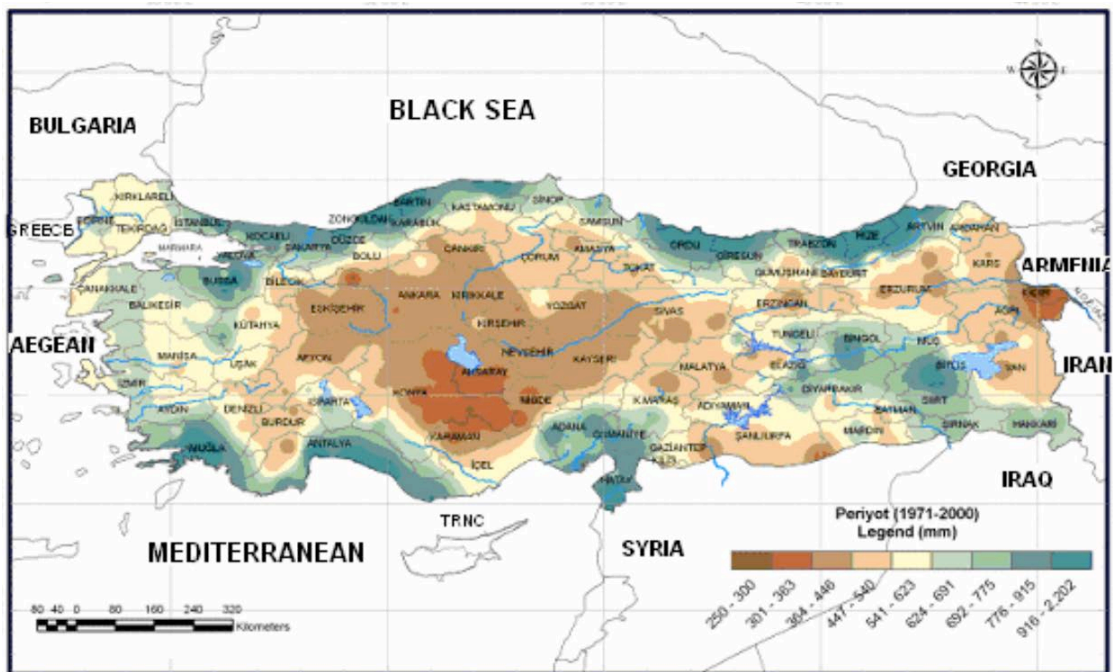


Figura 2.6 Distribuzione geografica delle precipitazioni medie annuali della Turchia. Da: Sensoy *et al.*, 2008.

In figura 2.7 sono mostrate le precipitazioni annuali in Turchia, per gli anni 1971-2000 la media è stata di 640 mm. I dati mostrano una progressiva diminuzione delle precipitazioni di circa 29 mm ogni 100 anni (Sensoy *et al.*, 2008).

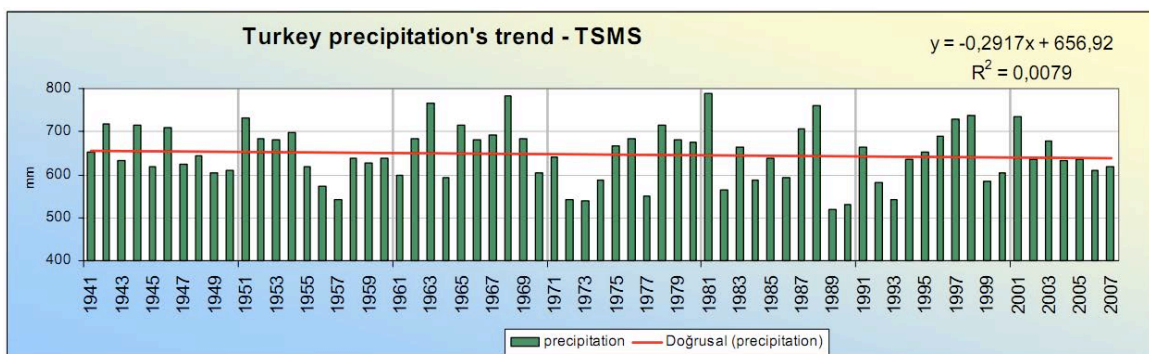


Figura 2.7 Precipitazioni annuali in Turchia per il periodo dal 1940 al 2007. Da: Sensoy *et al.*, 2008.

Le temperature medie sono anch'esse molto variabili a seconda della regione. Come si può vedere dalla figura 2.8 le zone più calde sono le coste, in particolare quelle del sud.

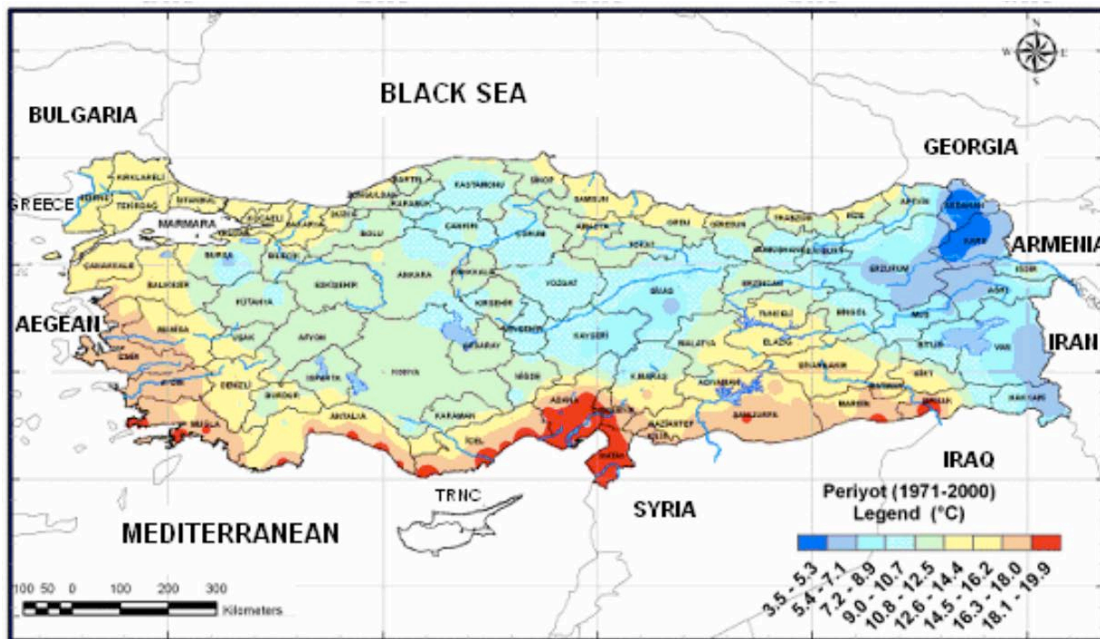


Figura 2.8 Distribuzione geografica delle temperature medie in Turchia. Da: Sensoy *et al.*, 2008.

Il plateau interno presenta una grande escursione termica tra giorno e notte, tipica delle regioni steppiche. Le precipitazioni sono scarse, e quasi sempre sotto forma di neve. La temperatura media è di 23° C in estate e di -2° C in inverno, anche se la piana di Malatya presenta un valore medio compreso tra 10 e 14° C.

In figura 2.9 sono mostrate le temperature annuali della Turchia, per gli anni 1971-2000 la media è stata di 13° C. I dati mostrano un progressivo aumento delle temperature di circa 0,64° C ogni 100 anni (Sensoy *et al.*, 2008).

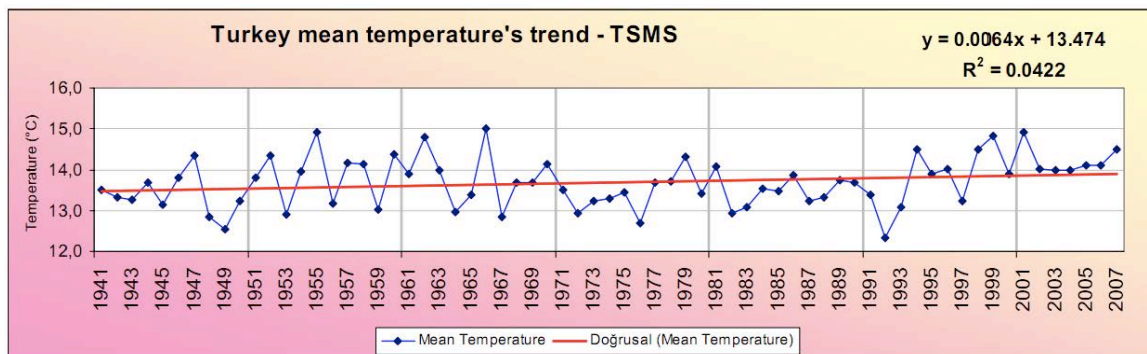


Figura 2.9 Temperature annuali in Turchia per il periodo dal 1940 al 2007. Da: Sensoy *et al.*, 2008.

2.2 L'archeologia

2.2.1 Il sito archeologico di Arslantepe e la sua collocazione in Anatolia

Il sito archeologico di Arslantepe si trova ad appena 6 km dalla moderna città di Malatya, appare come una collina, alta circa 30 m, con un'estensione di circa 4 ettari (fig. 2.10). In Anatolia e in Siria si trovano molti siti archeologici costituiti da colline (chiamate *tell* o *tepe*) più o meno elevate che si ergono isolate sugli altipiani di queste regioni. Sono originate da livelli sovrapposti di insediamenti che si sono succeduti del tempo. Le costruzioni in mattoni crudi tipiche della zona, una volta distrutte (per cause volontarie o involontarie), si prestano ad essere livellate per ottenere nuovi piani di edificazione. Il perdurare per secoli e, qualche volta per millenni, di questa pratica porta alla costituzione di piccole colline, la cui estensione e altezza risultano molto variabili.



Figura 2.10 Mappa della Turchia e collocazione del sito di Arslantepe

Quali sono le motivazioni che rendono l'area di Malatya un luogo fondamentale nella storia dell'uomo? Quali caratteristiche giustificano un'occupazione pressoché ininterrotta di quasi cinque millenni? Per prima cosa la straordinaria continuità di occupazione del *tell*, dal V millennio a.C. all'età romana e bizantina (IV-VI sec. d.C.), può essere legata alle condizioni geografiche favorevoli in cui si trova la piana di Malatya (Frangipane & Palmieri, 1983; Frangipane, 2000). L'insediamento umano deve essere stato favorito e agevolato dall'abbondanza d'acqua che ha permesso un intenso sfruttamento agricolo dei fertili terreni limitrofi. Il sito, inoltre, è immerso in una pianura alimentata da abbondante acqua di falda che la rende adatta all'agricoltura sebbene si trovi in un ambiente semiarido. Nell'ambito dei lavori della Missione Archeologica Italiana in Anatolia Orientale (<http://w3.uniroma1.it/arslantepe/index.php>), uno studio idrogeologico condotto nelle circostanti aree del *tell* ha rilevato numerose sorgenti naturali (Marcolongo & Palmieri, 1983) la cui presenza ha reso facilmente disponibile l'acqua per l'irrigazione dei campi senza dover necessariamente ricorrere a opere idriche di canalizzazione. Ad appena 15 km scorre il fiume Eufrate, che si origina dalla catena del Tauro e che prosegue il suo corso in Mesopotamia. La posizione rispetto all'Eufrate è ottimale, dal momento che il fiume è abbastanza vicino da

essere raggiunto velocemente, e sufficientemente lontano perché il sito sia protetto da esondazioni o modifiche del percorso fluviale. Inoltre il controllo del fiume e della piana era fondamentale dal momento che Arslantepe è al centro di un crocevia che metteva in comunicazione alcune delle più imponenti civiltà del resto dell'Anatolia, dalla Mesopotamia e dal Caucaso, alcune delle quali hanno abitato l'insediamento.

Oggi il sito è musealizzato, si possono visitare le imponenti strutture del tardo Calcolitico mentre i reperti più significativi sono esposti nel vicino museo di Malatya. Esiste anche un tour virtuale (<http://tour.mapsalive.com/22965>) a cui si può accedere tramite iPhone e iPad.

L'esistenza di reperti in pietra sul *tell* era già nota alla fine del XIX secolo. Gli scavi veri e propri ebbero inizio grazie ad alcuni archeologi francesi guidati da Louis Delaporte che negli anni 1932-1939 portarono alla luce alcuni resti del palazzo Neo-Ittita del X sec. a.C., i resti di tre palazzi assiri sovrapposti (l'ultimo dei quali datato al regno di Sargon II - 722-705 a.C.) e tracce di un edificio turco del IX-X secolo d.C. L'ingresso del palazzo Neo-Ittita era fiancheggiato da uno dei due leoni scolpiti in altorilievo su roccia calcarea ritrovati nel sito. Proprio la ricorrente raffigurazione del leone è alla base dell'origine del nome di Arslantepe (*Arslan* = leone, *tepe* = collina).



Figura 2.11 Uno dei leoni di pietra del periodo ittita ritrovati ad Arslantepe.

L'attività venne interrotta a causa della guerra e riprese brevemente agli inizi degli anni '50 prima che Claude Schaeffer abbandonasse definitivamente il sito. Pochi anni dopo, nel 1961, sarà Piero Meriggi, ittologo dell'Università di Pavia, a richiedere alla Direzione Generale delle Antichità della Turchia il permesso di riprendere gli scavi. Da allora lo scavo di Arslantepe è sempre stato seguito da un gruppo italiano. Dal 1963, con l'arrivo dell'archeologo Salvatore Puglisi, la direzione degli scavi è rimasta sempre affidata all'Università di Roma La Sapienza. Da allora, per 50 anni, la collina è stata interessata da campagne di scavo annuali condotte, dopo Puglisi, da Alba Palmieri per un breve periodo e successivamente, dal 1990 fino ad oggi da Marcella Frangipane. Il sito è uno degli scavi di ateneo dell'università romana e rimane fiore all'occhiello della ricerca archeologica italiana

sia per l'importanza del sito stesso, sia per l'accuratezza e la multidisciplinarietà con cui le indagini archeologiche vengono portate avanti.

Nuovo impulso alle ricerche venne dato quando, negli anni '70, un nuovo saggio sul versante sud-ovest della collina portò alla scoperta di un antichissimo tempio databile alla fine del IV millennio a.C. Oggi gli scavi sono ancora in piena attività con campagne annuali e un ampio gruppo di specialisti al lavoro sia *in situ* che in diversi laboratori d'Europa. Più di 3000 mq di superficie sono stati scavati, mettendo in luce un insediamento considerato uno dei poli di formazione delle più antiche civiltà "urbane", basato su forme di governo centrale e sul controllo di società stratificate divise in "classi" (Frangipane & Palmieri, 1983; Frangipane, 1993).

Le ricerche condotte fino ad oggi mettono in luce le tracce di importanti avvenimenti di carattere antropologico che si devono essere succeduti ad Arslantepe, come ad esempio la nascita di un potere istituzionalizzato e di un'autorità centrale, la nascita del controllo dell'economia da parte di classi privilegiate e di una conseguente burocrazia nata prima che si inventasse la scrittura e infine la nascita dello stato (Frangipane & Palmieri, 1983; Frangipane, 1993). Sebbene non siano state mai ritrovate tracce di scrittura la raffinatezza delle pitture parietali lascia immaginare la presenza di una società raffinata.

Lo scavo di Arslantepe ha restituito una serie impressionante di materiali non solo archeologici ma anche archeobotanici e archeozoologici. L'interpretazione degli eventi che portarono al sorgere e al tramontare di una serie così eterogenea di insediamenti successivi deve essere oggi interpretata sulla base dei ritrovamenti che, grazie alle moderne tecniche di indagine, possono dirci molto riguardo alle popolazioni che vissero in quest'area migliaia di anni fa.

Dopo lunghi anni finalmente si è giunti a dare il giusto peso alla regione Anatolica, in quanto protagonista dello sviluppo delle più antiche forme di civiltà. La Mesopotamia non appare più come unico centro propulsivo ma si inserisce in un'area più ampia, dove diversi fenomeni verranno ampliati e diffusi con le dovute variazioni a scala regionale (Frangipane, 2004).

2.2.2 Lo sviluppo del sito: le fasi archeologiche

Il sito di Arslantepe è stato occupato quasi ininterrottamente dal V millennio a.C. all'età romana e bizantina (IV-VI sec. d.C.). La prima data di insediamento sul *tell* è ancora incerta e solo il proseguimento delle ricerche potrà far luce sulla possibile presenza di insediamenti ancora più antichi al di sotto degli strati messi in luce fino a ora.

Le strutture architettoniche, le ceramiche, l'economia di sussistenza e le influenze delle popolazioni vicine sono profondamente cambiate nel corso della lunga vita dell'insediamento, evidenziando il susseguirsi di popolazioni molto diverse le une dalle altre.

Per potersi riferire ai diversi periodi definiti dallo studio archeologico, è stata attribuita loro una sigla composta da un numero romano seguito da una lettera dell'alfabeto e, nel caso dei periodi contrassegnati con VI B, da un numero. Nella tabella 2 sono elencati i periodi archeologici di Arslantepe con le relative denominazioni e datazioni e le civiltà del Vicino Oriente che si sono sviluppate in contemporanea. Tutte le fasi del sito sono state datate

attraverso datazioni radiocarbonio effettuate su frammenti di legni, semi e frutti ritrovati carbonizzati nei rispettivi contesti (Alessio *et al.*, 1976, 1983; Calderoni *et al.*, 1994; Alvaro *et al.*, 2010). Le date radiocarbonio, nel dettaglio, possono essere consultate nel sito TAY (Archaeological Settlements of Turkey) Project al seguente indirizzo <http://tayproject.org>.

Cronologia	Periodi di Arslantepe	Datazioni (¹⁴ C a.C. cal)	Civiltà contemporanee nel Vicino Oriente
Tardo Romano e Bizantino	I		
Età del Ferro	II-III	1100 – 712	Regni neo-ittiti
Bronzo Tardo II	IV	1600 – 1200	Medio Regno e Impero Ittita
Bronzo Tardo I	V B	1750 – 1600	Antico regno Ittita
Bronzo Medio	V A	2000 – 1750	Colonie paleo-assire
Bronzo Antico III	VI D	2500 – 2000	Protodinastico IIIb, Akkad, II-IIIa
Bronzo Antico II	VI C	2800 – 2500	Protodinastico II-IIIa
Bronzo Antico I	VI B1/2	3000 – 2800	Jemdet-Nasr, protodinastico I
Tardo Calcolitico 5	VI A	3350 – 3000	Uruk Tardo (Mesopotamia)
Tardo Calcolitico 3-4	VII	3800 – 3350	Uruk Antico e Medio
Tardo Calcolitico 1-2	VIII	4250 – 3900	Fine cultura Ubaid

Tabella 2.2 Tabella cronologica dei periodi archeologici con le civiltà contemporanee del Vicino Oriente.

Nonostante le dimensioni del *tell*, le indagini archeologiche hanno interessato parti estese della collina su cui si sta scavando su otto livelli di abitato.

Le diverse fasi si legano tra loro in modo molto complesso, che richiede approfonditi studi. Va anche tenuto conto del fatto che alcuni insediamenti, col crescere del *tell*, si sono sviluppati su terrazzamenti che rendono l'interpretazione in fase di scavo ancora più complessa.

La figura 2.12 fornisce un buon esempio della complessità della stratigrafia di Arslantepe, non tanto per la presenza di diversi elementi, quanto per la complicata relazione che li lega, nonostante appartengono a fasi successive, distanti anche centinaia di anni le une dalle altre. La ricostruzione meticolosa di tutta l'area interessata dallo scavo si avvale della terminologia comune dell'archeologia. Ogni traccia umana o antropica, di incremento o distruzione, è stata registrata come unità stratigrafica (US). Allo stesso modo sono state riconosciute le strutture architettoniche, i loro singoli elementi (muretti o palizzate), i materiali da costruzione, gli utensili, le armi e i resti archeobotanici e archeozoologici. Per ogni unità funzionale è stata attribuita una sigla univoca; in questo lavoro si possono trovare “ambienti” quali una stanza, un cortile ben delimitato, ma anche una vaschetta o una panchina identificati dalla lettera A (Ambiente) seguita da un numero progressivo di tre o quattro cifre o dalla lettera K per i Kuyu (buche, fig. 2.12). In questo modo, ad esempio, si indica con la sigla A170 una determinata stanza del periodo VI B2 di cui sono ancora visibili parte degli alzati e la porta di accesso e con A179-A180 una vaschetta e un piano di lavoro ritrovati su di un lato della stanza A170 (fig. 2.13).

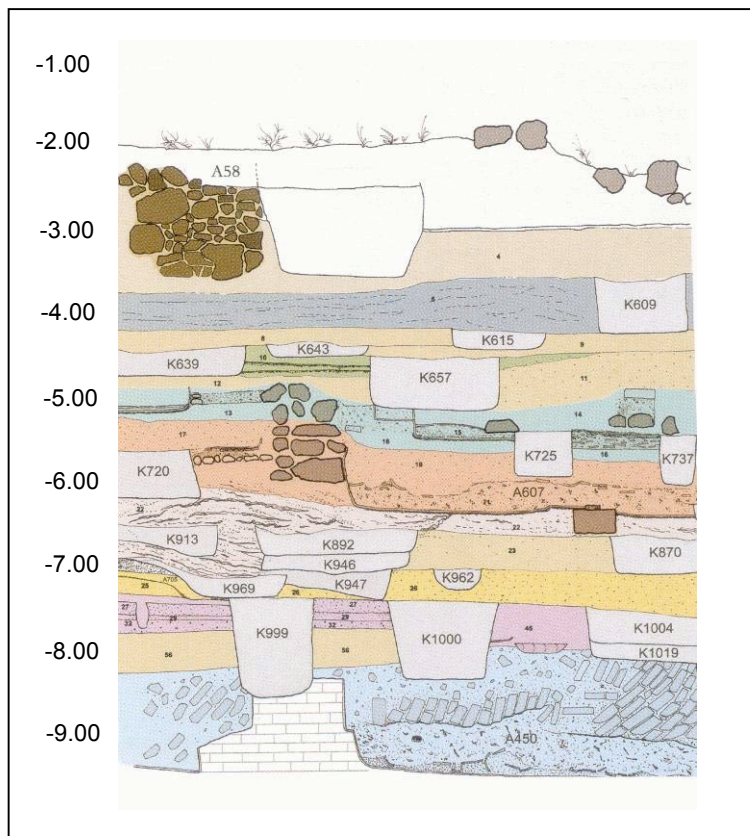


Figura 2.12 Arslantepe: sezione stratigrafica. Da: Frangipane, 2004, modificata.

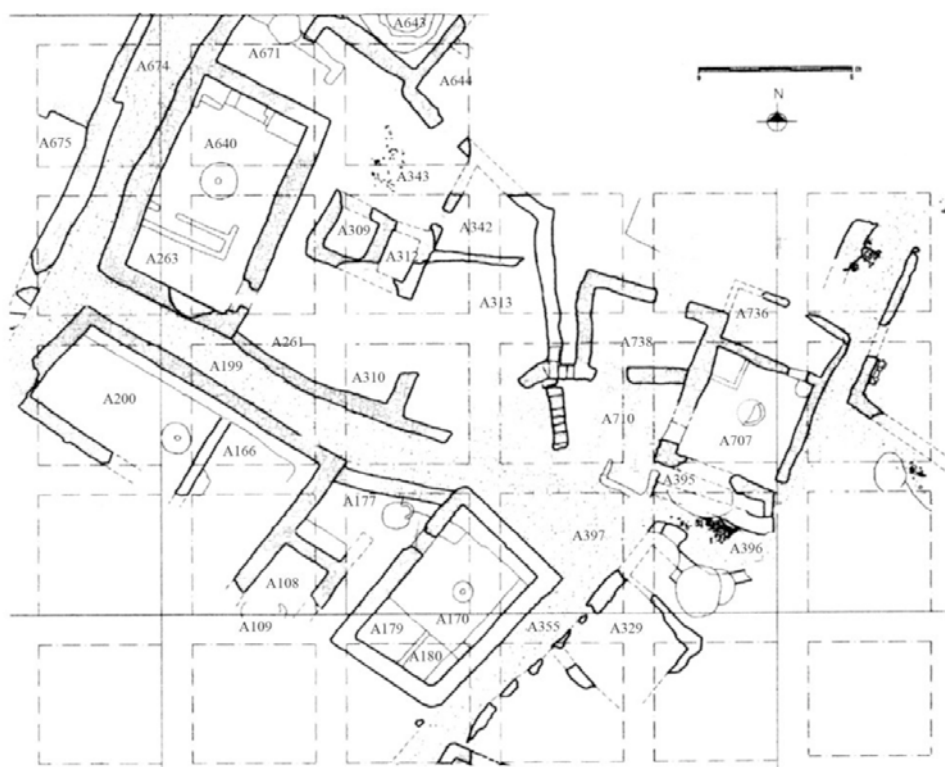


Figura 2.13 Pianta di parte del villaggio di VI B2. Sono visibili le strutture delle abitazioni con i nomi degli ambienti principali.

Da quando sono state messe in luce le sequenze dei periodi pre- e protostorici, l'indagine del sito si è focalizzato su di essi. Sono stati aperti una serie di cantieri sul lato sud-occidentale e occidentale della collina che hanno permesso di identificare in Arslantepe uno dei principali centri protostatali della fine del IV millennio e uno dei poli di "urbanizzazione" del Vicino Oriente. Gli importanti edifici risalenti al tardo Calcolitico e al successivo periodo Uruk testimoniano più di qualunque altro resto l'importanza che il centro deve aver ricoperto.

L'area più antica si trova nella zona occidentale caratterizzata, a partire dalla metà del IV millennio a.C., da edifici pubblici, imponenti e monumentali, che costituivano una sorta di acropoli che si estendeva fino al pendio sud-ovest. Questi grandi edifici pubblici, poggiati su precedenti strutture calcolitiche, vennero distrutti da un grande incendio intorno al 3000 a.C. e non vennero mai più ricostruiti (Frangipane, 2010). La zona perse il suo carattere di importanza e venne sostituita da piccoli centri urbani e semplici strutture abitative che si susseguirono per tutta l'antica Età del Bronzo. Il modificarsi degli insediamenti e il considerevole aumento dei pendii, resero necessario costruire su dei terrazzamenti che causarono un ulteriore innalzamento del settore sud-occidentale. Durante la media Età del Bronzo (intorno alla metà del I millennio a.C.) tutta la regione venne investita da profondi cambiamenti dato che l'area di Malatya entrò a far parte della sfera di influenza ittita. Il risultato fu lo spostamento del nucleo principale dell'abitato verso nord-est purtroppo però l'erosione ne ha danneggiato la maggior parte. Rimane la testimonianza di una grande casa, più volte ricostruita, e di una serie di strutture ad essa connesse (Frangipane, 1993, 2004).

In tutto sono stati individuati otto (I-VIII) periodi principali di occupazione del sito, datati tra il Calcolitico finale (V millennio a.C.) e l'età Romana. Nell'ambito di questo lavoro i materiali provengono tutti dal periodo VI che è suddiviso in cinque fasi (A, B1, B2, C e D) di cui si illustreranno brevemente le caratteristiche principali.



Figura 2.14 Immagine aerea della collina di Arslantepe, sono visibili le aree di scavo prima della copertura di protezione realizzata in concomitanza con l'apertura al pubblico di alcune aree.

Periodo VI A (tardo Calcolitico finale, 3350-3000 a.C.)

Il sistema di centralizzazione e redistribuzione dei beni, che ebbe inizio intorno alla metà del IV millennio a.C., raggiunge il suo massimo sviluppo negli ultimi secoli del millennio, durante il periodo indicato come VI A e che corrisponde alla fase Tardo Uruk in Mesopotamia. Gli scavi hanno portato alla luce un complesso architettonico pubblico monumentale di oltre 3000 mq di estensione, dove si svolgevano le attività religiose e amministrative (Frangipane & Palmieri, 1983, Frangipane, 2010). La struttura è divisa in settori con architetture e funzioni diverse quali un tempio (denominato tempio B, con le due sale di accesso), aree di scarico di materiale amministrativo, un cortile e dei corridoi (fig. 2.15).



Figura 2. 15 Le imponenti rovine del periodo VI A. In basso è visibile la porta monumentale di accesso al lungo corridoio. La grande sala in fondo a destra è il tempio B. Da: Frangipane, 2004.

Il complesso è considerato la prima testimonianza di “palazzo” di tutto il Vicino Oriente non solo per l’estensione e la monumentalità della struttura ma soprattutto per la chiara pianificazione delle funzioni pubbliche, religiose e secolari delle diverse aree (Frangipane 1993; 2003).

Un secondo tempio (tempio A) era stato già abbandonato precedentemente alla distruzione del sito. Tutta l'area era dominata dai due templi situati sulle parti più elevate del pendio della collina antica, che era stato terrazzato, probabilmente per riservare a questi due edifici una posizione di preminenza. Al di sotto si estendevano le abitazioni della élite.

La pianta e le dimensioni dei due templi e delle strutture ad essi connesse sono molto simili, sono quindi stati realizzati secondo un preciso schema legato a esigenze e tradizioni di origine locale solo in parte collegate alla tradizione che accomuna tutte le religioni della “Grande Mesopotamia”. All'interno dei due templi sono stati ritrovati numerosi vasi nelle stanze laterali e cretule (impressioni di sigilli) nei vani principali a indicare che nelle aree religiose avveniva l'attività di redistribuzione di beni alimentari. Gli elementi architettonici all'interno dei templi, quali altari, vaschette e podi, e i ritrovamenti ceramici, costituiti da coppe dotate di un lungo piedistallo ritrovate in prossimità degli altari, indicano che le attività svolte al loro interno dovevano essere esclusivamente cerimoniali e probabilmente riservate a un gruppo ristretto di persone (Frangipane, 2010).

L'ingresso all'area palaziale avveniva attraverso una porta monumentale che dava accesso a un corridoio in netta salita al di sotto del quale correva la canalizzazione per lo scolo delle acque. Da esso si aveva accesso ad una serie di ambienti funzionalmente diversi i cui ingressi sono stati modificati più volte nel corso di vita dell'insediamento. Il corridoio doveva, almeno in parte, essere coperto.

I muri del palazzo sono talvolta ornati da rappresentazioni pittoriche, poste in prossimità delle porte e lungo il corridoio, e caratterizzati da decorazioni di colore rosso o nero su fondo bianco rappresentanti figure umane o animali.

Gli scavi hanno portato alla luce molti oggetti in rame, leghe di rame-arsenico e argento che testimoniano il grande sviluppo della metallurgia. In questo senso il ritrovamento più importante è un gruppo di 22 armi costituito da spade, lance e una placca a quadrupla spirale che documentano la ricchezza del sito attraverso la prima testimonianza storica dell'uso della spada. Questi oggetti sono di estremo valore e lo dovevano essere anche all'epoca, motivo per cui si ritiene fossero destinati alle élites locali, anche se non bisogna escludere la possibilità di rotte commerciali per tali beni di lusso. Non va dimenticato, infatti, che Arslantepe deve parte della sua fortuna alla sua posizione geografica, al centro di un circuito commerciale che comprendeva l'Anatolia orientale, la Transcaucasia e i centri mesopotamici.

Un altro ritrovamento di estrema importanza per comprendere la storia del sito è quello di migliaia di cretule, cioè di sigilli con raffigurazioni più o meno elaborate che servivano per chiudere i sacchi. Su molte di esse sono state trovate le impronte della corda e del nodo di chiusura. Si trovano in vari luoghi del complesso, fino ad oggi ne sono state trovate migliaia, molte delle quali recano ancora l'impronta leggibile del sigillo. Alcune erano nei magazzini del palazzo, altre in discariche, a testimonianza delle diverse fasi della complessa attività amministrativa. Al di là del loro valore intrinseco (alcune sono di pregiata fattura, altre molto semplici) questi oggetti svolgono un ruolo fondamentale nell'interpretazione del sistema amministrativo che governava questo insediamento. Gli ambienti identificati come magazzini contenevano centinaia di cretule insieme a centinaia di ciotole da mensa tutte uguali tra loro che testimoniano l'intenso scambio di beni che doveva avvenire in tali luoghi (Frangipane & Palmieri, 1983; Frangipane, 1993; 2004; 2010).

L'intero abitato venne distrutto da un grande incendio intorno al 3000 a.C. che ha portato

all'abbandono dell'area. La combustione ha permesso d'altra parte la straordinaria conservazione dei materiali vegetali, che sono stati rinvenuti in grande quantità. Alcune delle datazioni radiocarbonio effettuate nel tempio B hanno fornito età anteriori all'insediamento, che possono essere spiegate ipotizzando un riutilizzo di legni strutturali particolarmente preziosi (Calderoni *et al.*, 1994; Kuniholm, 1996; Di Nocera, 2000a; Sadori *et al.*, 2008; Alvaro *et al.*, 2010).

Periodo VI B1 (Bronzo Antico I - 3000-2900 a.C.)

La distruzione del palazzo del periodo VI A coinvolse non solo le murature, ma anche la struttura politica dell'insediamento. I dati archeologici non riportano nessun indizio circa il destino della popolazione che abitava il villaggio dopo il grande incendio. Le imponenti macerie sigillarono esse stesse quanto era rimasto sui pavimenti e rimasero esposte per un periodo di pochi anni o decenni a saccheggi e buche fino a quando furono livellate e ricoperte con strati di fango pulito. La fase denominata VI B1 è caratterizzata dalla presenza di pastori transumanti di origine caucasica che edificarono capanne quadrangolari di un solo ambiente con angoli arrotondati e pavimenti intonacati di fango. I muri erano costituiti da file di pali inseriti in canalette e successivamente rivestiti da incannucciate coperte di argilla. Nell'insediamento si trovano le tracce di molti recinti per il bestiame, segno evidente che l'economia di sussistenza di questa popolazione era notevolmente differente da quella dell'abitato precedente. Un solo edificio si differenzia dagli altri perché realizzato in mattoni crudi e composto da quattro ambienti in fila che gli conferiscono una forma rettilinea. L'edificio doveva avere una funzione particolare, ancora da definire. Lo studio delle ceramiche (poche forme con superfici lucide rosse e nere) e la struttura del villaggio lo assimilano alle comunità la cui cultura è definita est-anatolica/transcaucasica. È difficile stabilire che ruolo abbiano avuto queste popolazioni nomadi di derivazione est-anatolica/transcaucasica sulla fine della struttura proto urbana tanto più che non si trovano confronti in altri siti della regione. Probabilmente approfittarono di un temporaneo vuoto che sarà però rapidamente colmato dal ripristino della cultura locale.

L'abitato venne distrutto da un grande incendio che produsse uno spesso strato di materiali carbonizzati (Frangipane & Palmieri, 1983; Frangipane, 2000; 2004; 2010).



Figura 2.16 Ricostruzione del villaggio di VI B1 con le capanne e i recinti per gli animali. Da Frangipane, 2004, modificata.

Periodo VI B2 (Bronzo Antico I - 2900-2800 a.C.)

Subito dopo l'abbandono del villaggio da parte dei pastori del periodo VI B1, sullo stesso luogo venne edificato un nuovo insediamento denominato VI B2. Le strutture che costituiscono il villaggio sono piccole case in mattoni crudi a due o tre stanze, con cortili e aree di lavoro che andarono ad occupare il pendio che costituiva l'area degli edifici pubblici del VI A. L'abitato era suddiviso in sei nuclei di edifici ben distinti da una rete stradale ordinata, distribuita lungo due assi disposti NE-SO e NO-SE. Le case erano provviste delle strutture e degli utensili necessari alle attività quotidiane. Le stanze erano fornite di panchine lungo le pareti, piattaforme, vaschette e piccole fosse intonacate, segno evidente, insieme ai molti utensili ritrovati (quali macine, pestelli o mortai), delle numerose attività che vi venivano svolte. Ogni edificio aveva un'area ben distinta per l'immagazzinamento e la lavorazione delle derrate alimentari e un focolare circolare, probabilmente utilizzato per riscaldamento e illuminazione e costituito da un bordo rialzato con una cavità centrale. Ogni area dell'insediamento era destinata a una attività differente, sono ancora distinguibili quelle legate alla macellazione degli animali o all'attività metallurgica per la fusione di minerali del rame. Non ci sono evidenze dell'esistenza di sistemi economico-amministrativi o ideologico-religiosi centralizzati (Frangipane, 2000).

Riguardo la popolazione che lo abitava, lo studio delle ceramiche mette in evidenza il forte legame con la comunità del VI A, dato dalla presenza di tutti i modelli ceramici della cultura Tardo Uruk evoluti, in un repertorio caratteristico delle culture del Bronzo Antico in tutta la valle dell'Alto Eufrate. Si ritrovano però anche delle novità, che rendono questa produzione caratteristica del periodo con lo sviluppo di un complesso sistema di decorazioni a linee orizzontali, verticali e diagonali.

Anche quest'abitato venne distrutto da un violento incendio. Al momento dello scavo la quasi totalità delle superfici pavimentali di calpestio, sia dentro che fuori le case, sono state

ritrovate interamente ricoperte da grandi quantità di semi e frutti carbonizzati. Probabilmente gli archeologi si sono trovati davanti ai resti di un raccolto recente che in origine doveva essere collocato in maggior parte su solai lignei, il cui crollo ha causato lo spargimento delle sementi anche lungo le strade (Frangipane, 2000).

Questo periodo segna la fine dei rapporti tra la regione di Malatya e l'ambiente siro-mesopotamico. Da questo momento in poi la catena del Tauro non sarà più soltanto una barriera fisica, ma anche politica e culturale (Frangipane & Palmieri, 1983; Frangipane, 2004). Esistono una serie di datazioni radiocarbonio per il periodo VI B in generale (VI B1 e VI B2) che vanno dal 3100 al 2600 a.C. circa. Purtroppo, a causa delle incertezze caratteristiche del metodo di datazione del radiocarbonio, le date sui due periodi non sono facilmente distinguibili, sebbene essi siano in chiara successione stratigrafica (Di Nocera, 2000b).

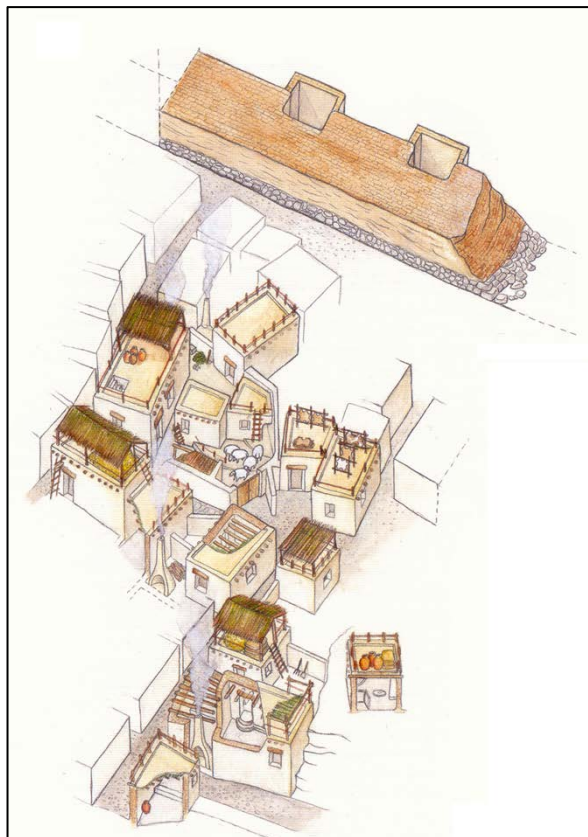


Figura 2. 17 Ricostruzione del villaggio di VI B2 dove sono visibili i tetti piatti su cui dovevano essere state poggiate le sementi e, in alto, il grande muro in mattoni che divideva l'abitato e la cui funzione è ancora oggetto di studio. Da Frangipane, 2004, modificata.

Periodo VI C (Bronzo Antico II - 2750-2500 a.C.)

Come già accennato, dal periodo VI C in poi si interrompono i collegamenti con il mondo nord siriano e mesopotamico, con la conseguente creazione di nuclei regionali molto più circoscritti. In relazione a questo la struttura della comunità denominata VI C appare molto più semplice e meno sofisticata. L'abitato si restringe notevolmente tanto che tutto il settore sud-ovest del *tell* viene utilizzato solo marginalmente con pozzetti rivestiti di fibre vegetali per la conservazione del cibo, poi riutilizzati per i rifiuti. Sono state ritrovate inoltre una serie di fosse circolari rivestite di fango destinate probabilmente a lavorazioni domestiche e all'interno di alcune di esse sono state rinvenute delle sepolture.

Il piccolo villaggio era costituito da un complesso di case con grandi stanze quadrate edificate su robuste fondamenta di pietra successivamente riutilizzate. Le differenze con il VI B2 non terminano qui. La suddivisione degli spazi, come le strutture interne alle case, sono profondamente diversi. Il caso più emblematico riguarda gli immancabili focolari che sono costituiti da una spalliera a ferro di cavallo. Questa forma è caratteristica delle culture est-anatoliche settentrionali e si manterrà identica almeno fino al Bronzo Medio. Scompaiono inoltre una serie di conoscenze tecnologiche come quella dell'uso del tornio veloce e la suddivisione del lavoro.

Le case che venivano abbandonate erano distrutte per realizzare superfici piane da impiegare come aree di servizio. Questa pratica di spianatura e realizzazione di fosse e pozzetti è durata ininterrotta per circa due secoli lasciando agli archeologi una stratigrafia davvero molto complessa. Il deposito raggiunge uno spessore di circa due metri, al disopra del quale rimane l'ultimo gruppo di grandi stanze quadrate riconducibili al periodo VI C. Le loro robuste fondamenta di pietra saranno riutilizzate per la costruzione delle prime abitazioni del periodo successivo (Frangipane, 2004).

Il villaggio di VI C dunque non bruciò come successe agli insediamenti precedenti, non abbiamo quindi un'istantanea del momento di abbandono del sito, come ad esempio per il VI B2. Fortunatamente per la ricerca archeologica una stanza (A607) è stata distrutta da un incendio e così abbandonata permettendo la conservazione di molti resti vegetali (Sadori *et al.*, 2006b)

La popolazione era sicuramente agricola, ma è probabile che avessero una certa mobilità, dal momento che la Missione italiana, negli anni '60, rinvenne un piccolo sito stagionale di pastori sulle colline rocciose del Gelinciktepe, di fronte ad Arslantepe.

La cronologia è stabilita tramite datazioni radiocarbonio effettuate sui legni combusti provenienti dalla stanza A607 (Calderoni *et al.*, 1994) e da datazioni archeologiche delle ceramiche.



Figura 2.18 La grande stanza quadrangolare denominata A607 caratterizzata dal focolare centrale a ferro di cavallo.

Periodo VI D (Bronzo Antico III - 2500-2000 a.C.)

Finalmente, dopo il lungo periodo di instabilità tra le piccole comunità territoriali, la seconda metà del terzo millennio sembra trovare un assetto più stabile. Gli insediamenti divengono più grandi e complessi e si procede verso una certa omogeneizzazione politica.

Arslantepe in questa fase è un villaggio di grandi case quadrangolari. La pianta della città è molto complessa, i numerosi nuclei abitativi si sovrappongono e si sviluppano su terrazzamenti che permettono all'insediamento di ampliarsi notevolmente. Alle case di forma quadrata si frammezzano edifici di forma ovale, parzialmente interrati ma che mancano degli oggetti di uso comune come forni o focolari.

Il margine dell'abitato è circondato da un massiccio muro di cinta in mattoni crudi. Il muro e un relativo bastione semicircolare poggiano su solide fondamenta di pietra. Per la prima volta nella storia del sito si attesta una evidente fortificazione urbana. Questa caratteristica diventa comune in tutti i siti della regione e indica l'alto rischio di conflitti dovuto alla presenza di una serie di insediamenti autonomi anche se bisogna tenere presente che l'insediamento di Arslantepe continua a dominare la piana di Malatya rimanendo nettamente più grande. Le cittadelle fortificate lasciano pensare alla possibilità di una crescita demografica a cui non si sia legata la formazione di strutture politiche territoriali complesse come è testimoniato anche dalla mancanza di luoghi pubblici importanti nel sito. Esistono testimonianze di una serie di produzioni artigianali portate avanti da specialisti ma che indicano un sistema socio-economico relativamente semplice. Il vasellame mostra una forte continuità con la fase precedente ma con modelli più standardizzati e raffinati.

La forma delle case e le tecniche costruttive, così come i focolari e i forni, si ritrovano uguali in altri siti dell'Anatolia nord-orientale e rimarranno invariati fino alla fine del millennio (Frangipane, 2004).



Figura 2.19 Grandi edifici a più stanze disposti su terrazzamenti. Da: Frangipane, 2004, modificata.

2.2.3 Studi archeologici e archeobotanici in Anatolia

L'Anatolia copre un territorio molto vasto, ricchissimo di storia e delle sue testimonianze tanto che il numero di insediamenti è davvero impressionante. Le indagini archeologiche nell'area ebbero inizio nel XIX secolo ad opera di alcune nazioni occidentali quali la Germania, la Francia e la Gran Bretagna. Il primo scavo stratigrafico di una collina con una sequenza cronologica complessa ha inizio nel 1926 presso Alişar Höyük (Matthews, 2011) e venne seguito da una serie di indagini, sempre più numerose negli anni successivi che hanno incrementato le conoscenze per i periodi del Calcolitico e dell'Età del Bronzo. Tra il 1960 e il 1980 a seguito della realizzazione di imponenti opere idrauliche nell'area di Malatya, che hanno portato alla costruzione delle dighe di Keban e Karakaya, gli studi si intensificarono, portando alla luce un numero incredibile di siti archeologici di straordinario valore. Molti scavi vennero portati a termine in fretta dal governo turco prima che i siti venissero sommersi dalle acque dei due bacini artificiali. Negli anni successivi le ricerche si fecero meno intense, e Arslantepe rimase uno dei pochi scavi ancora attivi nella zona.

Realizzare un quadro esaustivo delle ricerche archeologiche in Anatolia è davvero impossibile. Le figure 2.20 e 2.21 mostrano i siti ritrovati in Turchia e intorno alla sola area di Malatya per il Calcolitico e il Bronzo Antico. Esistono poi alcuni siti legati alla sfera di influenza di Arslantepe che oggi ricadono in territorio siriano.

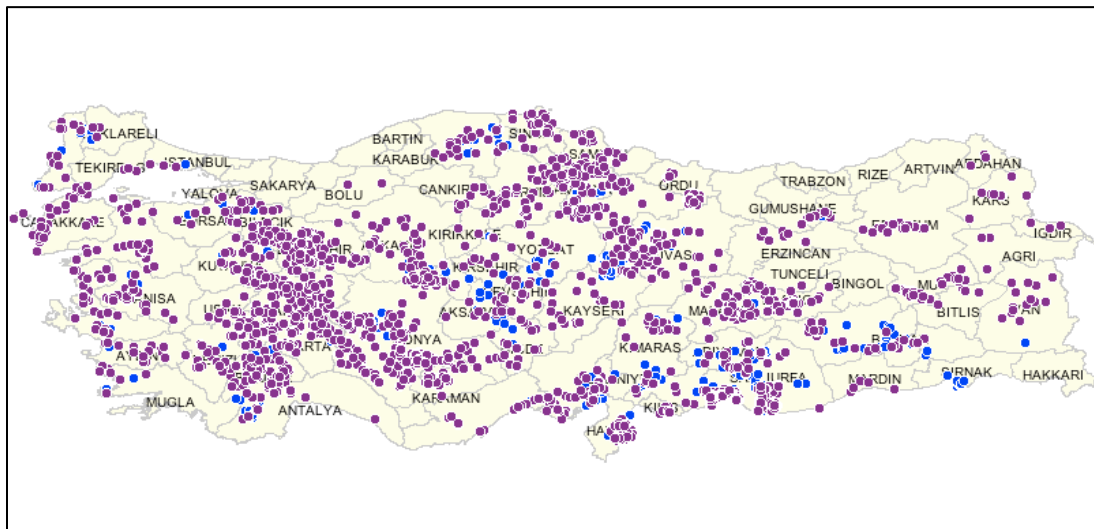


Figura 2.20 Siti ritrovati in Turchia per i periodi del Calcolitico (in azzurro) e del Bronzo Antico (in viola). Da: sito <http://tayproject.org>.

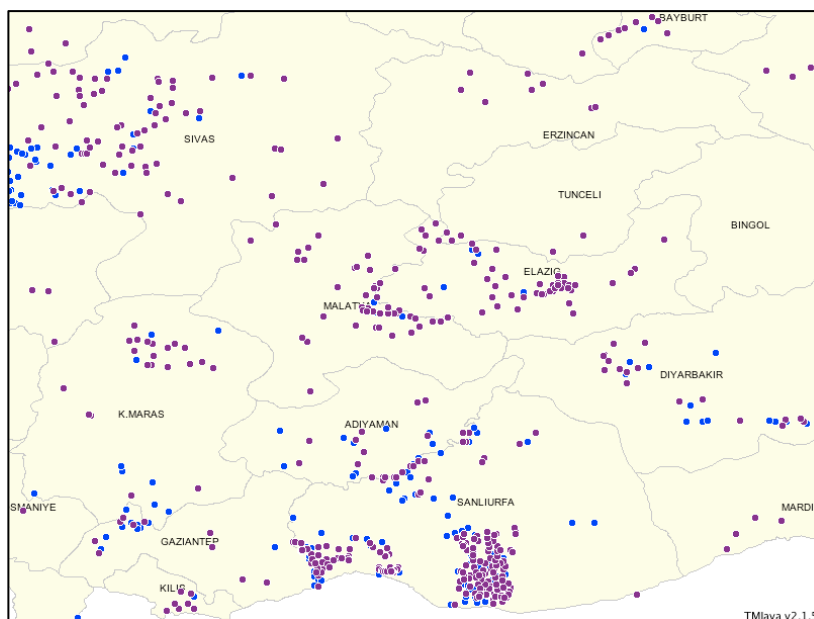


Figura 2.21 Siti ritrovati intorno alla provincia di Malatya e in quelle limitrofe per i periodi del Calcolitico (in azzurro) e del Bronzo Antico (in viola). Da: sito <http://tayproject.org>.

Per un approfondimento dell'aspetto archeologico degli studi che sono stati fatti in Turchia è possibile consultare il sito <http://tayproject.org>. Fin dal 1993 il TAY (*Archaeological Settlements of Turkey*) Project si è prefisso di fornire una raccolta di dati liberamente accessibili sulla storia della Turchia negli ultimi 400.000 anni. Un'altra fonte utile è il sito di *Current Archaeology in Turkey* (<http://www.une.edu.au/cat>) realizzato nell'ambito del progetto *Anatolian Iron Age research* ospitato presso l'Università del New England (Australia).

L'articolo di Nesbitt e Samuel (1996; vedi anche Nesbitt, 1995), sebbene non troppo recente, aiuta a fare chiarezza sulle attività di studio archeobotanico che si sono svolte in Turchia nei siti archeologici del Calcolitico e del Bronzo Antico, incentrati spesso sullo studio della domesticazione delle piante alimentari. Le fonti elettroniche sono sicuramente più aggiornate, Naomi Miller ad esempio cura una pagina (<http://www.sas.upenn.edu/~nmiller0/turkey.html>) in cui è possibile trovare link e pubblicazioni riguardanti l'archeobotanica in Turchia. Esistono inoltre due database, uno gestito da Simone Riehl, che riguarda il mediterraneo orientale e i siti del Vicino Oriente (<http://www.cuminum.de/archaeobotany/>), e l'altro creato da Helmut Kroll, su tutte le ricerche archeobotaniche svolte, sebbene non più aggiornato (<http://archaeobotany.de>).

Un sito archeologico molto importante è Tell Brak che si trova nei pressi di Arslantepe, anche se politicamente ricade all'interno del territorio siriano. Il sito è anch'esso costituito da una collina antropogenica la cui occupazione viene fatta risalire al periodo tra il VI e il II millennio a.C. (Emberling *et al.*, 1999). Il materiale archeobotanico proveniente dal sito è attualmente in studio presso un gruppo guidato da Michael Charles dell'università di Sheffield (la stessa che porta avanti lo scavo) in collaborazione con Amy Bogaard dell'Università di Oxford e Mette Marie Hald dell'Università di Copenhagen (Charles & Bogaard, 2001).

Sempre in Siria, più distante di Tell Brak, si trova il sito di Ebla importantissimo per le

migliaia di tavolette cuneiformi (le più antiche testimonianze di scrittura), ritrovate dalla Missione Archeologica Italiana in Siria dell'università La Sapienza che vi scava dal 1975 (<http://www.ebla.it>). Purtroppo i risultati archeobotanici dello studio decennale, condotto in Germania, non sono stati pubblicati, esiste solo una pubblicazione di Follieri & Magri (1990) che riguarda la porta lignea dell'archivio reale. Alcuni materiali scoperti nelle campagne di scavo più recente sono stati consegnati al Laboratorio d'Archeobotanica dell'università di Lecce (Fiorentino & Caracuta, 2007) che li ha utilizzati anche per analisi degli isotopi stabili (Fiorentino *et al.*, 2008).

Un altro sito di straordinaria importanza è l'insediamento neolitico di Çatalhöyük che è considerato la più antica città del mondo. Scoperto alla fine degli anni '50, divenne presto famoso a livello internazionale sia per le dimensioni imponenti che per le spettacolari pitture murali. Gli scavi sono portati avanti da un team internazionale guidato da Ian Hodder. Eleni Asouti ha pubblicato una serie di lavori sulle analisi archeobotaniche effettuate sui materiali provenienti da Çatalhöyük (Asouti, 2005; Asouti & Hather, 2001; vedi anche Fairbairn *et al.*, 2002; 2006), molti report sono disponibili direttamente dal sito (<http://www.catalhoyuk.com>). Dai dati ottenuti si evidenzia l'importanza di questo sito anatolico per la domesticazione di cereali e legumi. Asouti ha lavorato anche sui materiali del sito di Pınarbaşı nell'Anatolia centro-meridionale (<http://www.liv.ac.uk/sace/research/projects/pinarbasi-> Asouti, 2003).

Il sito di Göbekli Tepe è molto più antico di Arslantepe, si pensa che possa essere stato abitato già alla fine del Mesolitico. Recentemente gode di grandissima attenzione perché vi è stato scoperto il più antico tempio in pietra mai ritrovato (11500-8000 a.C. circa), edificato da una popolazione di cacciatori raccoglitori prima della nascita dell'agricoltura. Anche in questo sito sono state portate avanti delle analisi archeobotaniche da parte di Reinder Neef (2003), per il momento sono ancora allo stadio preliminare, ma hanno già messo in evidenza la presenza di una serie di semi e frutti, progenitori delle specie che verranno domesticate, e piccoli frammenti lignei.

Uno studioso che ha dato un contributo importante alle ricerche archeobotaniche nel Vicino Oriente a partire dagli anni '50 è Willem Van Zeist, che ha condotto studi per la ricostruzione del paleoambiente attraverso lo studio di polline e macroresti di diversi siti della Turchia e dell'Iran (van Zeist & Bakker-Heeres, 1985; van Zeist & Bottema, 1982; 1988; 1991; van Zeist *et al.*, 1975; 1991).

Un'altra figura importante per l'archeobotanica in Anatolia è Mark Nesbitt, che a lungo si è occupato dell'impatto e delle problematiche legate all'agricoltura nella Turchia sudorientale fin dalla sua nascita (Nesbitt, 1995; 2004; Nesbitt & Samuel, 1996).

Parlando di archeobotanici che hanno lavorato in Anatolia non si può non citare Noemi Miller che lavora presso l'Università della Pennsylvania e che ha scritto numerosi articoli e libri sull'archeobotanica e che recentemente ha pubblicato i risultati dello studio effettuato sul sito di Gordion (Miller, 1992; 1994; 1995; 1998; 1999a; 1999b; 2010).

Altre analisi archeobotaniche sono state effettuate nel sito di Sos Höyük da parte di Catherine Longford e collaboratori (Longford *et al.*, 2009).

2.3 I dati archeobotanici su Arslantepe

Il sito di Arslantepe è oggetto di studi archeobotanici da più di trenta anni. I materiali sono in studio presso il Laboratorio di Archeobotanica e Palinologia del Dipartimento di Biologia Ambientale dell'Università La Sapienza. Essi sono raccolti dagli archeologi secondo un protocollo concordato con il laboratorio e vengono ogni anno portati da Arslantepe a Roma per essere sottoposti alle analisi. Sebbene gli studi procedano senza interruzioni, non tutto il materiale è stato sottoposto ad analisi. Nel corso di questi anni numerose persone hanno avuto l'occasione di partecipare alle ricerche archeobotaniche condotte prima sotto la supervisione di Maria Follieri e oggi sotto quella di Laura Sadori. La prima pubblicazione al riguardo è di Follieri & Coccolini (1983), ne sono seguite molte altre fra cui nomino solo quelle *in extenso*: Belisario *et al.* (1994), Sadori *et al.* (2006a; 2006b; 2008), Alvaro *et al.* (2010) e Balossi Restelli *et al.* (2010). Nonostante il grande impegno e l'ingente lavoro svolto, l'indagine è ancora lontana dall'essere conclusa. I motivi sono svariati, primo tra tutti il continuo arrivo di nuovo materiale, proveniente annualmente dalle campagne di scavo; un secondo motivo è dato dai quantitativi davvero enormi di materiale che si tenta di studiare il più estensivamente possibile; un terzo aspetto riguarda il lungo tempo che tali indagini richiedono per essere svolte; in ultima analisi non va sottovalutata la complessità dell'interpretazione dei dati, sia archeologici che archeobotanici, che debbono essere strettamente correlati.

I materiali sono studiati seguendo il criterio stratigrafico, areale e cronologico proposto dagli archeologi. Solitamente vengono raccolti in funzione dell'interpretazione dello strato e sono suddivisi in campioni a seconda del luogo di ritrovamento e delle caratteristiche dello stesso. I frammenti di legno facilmente identificabili, come ad esempio le travi dei tetti o i paletti delle palizzate, vengono raccolti e conservati come singole unità e definiti reperti isolati. Allo stesso modo si etichettano come singoli campioni i resti di semi/frutti ritrovati in vaschette o contenitori. I materiali ritrovati sparsi invece sono raccolti e accuratamente separati tramite setacciatura a secco. Il materiale carbonizzato di Arslantepe infatti non si presta alla separazione in acqua, né alla flottazione. Quest'ultima, che accelererebbe notevolmente la separazione dei campioni, causa infatti la dissoluzione del materiale carbonizzato.

I campioni di legno carbonizzato provenienti da Arslantepe possono provenire da elementi strutturali quali travi dei tetti, palizzate costruite come pareti o recinti, porte, ma anche da utensili, suppellettili o dai residui trovati in forni e focolari.

Per una valutazione dello stato dell'arte dell'analisi archeobotanica riguardante il sito si rimanda alla letteratura precedentemente citata. Di seguito riassumo solo i risultati utili a tracciare le caratteristiche dell'ambiente circostante nei diversi periodi attraverso l'insieme dei *taxa* ritrovati, a seconda delle loro caratteristiche ecologiche. Piante come pioppi (*Populus* sp.), ontani (*Alnus* sp.) e canne sono considerate **idrofile**, dal momento che sono strettamente legate alla presenza di abbondante acqua. Frassini (*Fraxinus* sp.) e olmi (*Ulmus* sp.) sono anch'essi *taxa* che hanno bisogno di molta umidità, ma non sono strettamente legati alla presenza di corsi d'acqua, vengono definiti piante **igrofile**. Completamente diverse sono le piante che caratterizzano la **steppa arborata**, come querce caducifoglie (*Quercus* gr. caducifoglie) e rosacee (Rosaceae) caratteristiche di un ambiente arido. Infine ginepri (*Juniperus* sp.) e pini (*Pinus* gr. *sylvestris/montana*) identificano i *taxa montani* che si

trovano sulle alture che circondano la piana.

Il quadro che ne esce è riassunto in figura 2.22, che mette bene in evidenza i cambiamenti avvenuti nel corso di circa 1350 anni, dal 3350 al 2000 a.C.

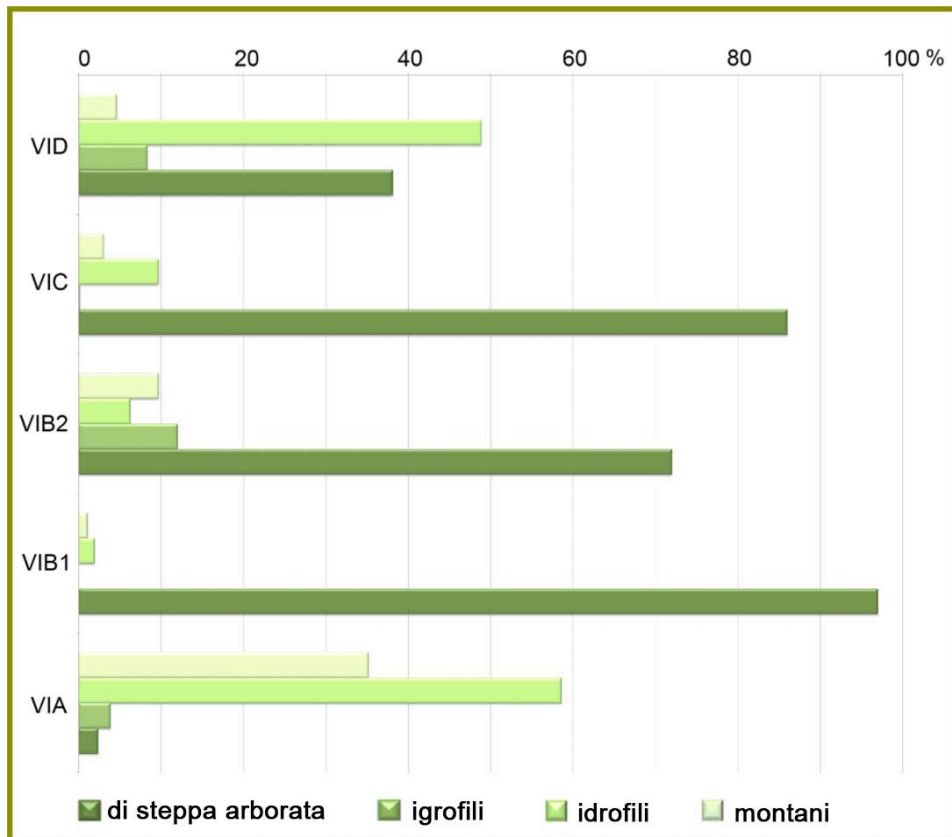


Figura 2.22 Rappresentazione dei *taxa* ritrovati ne cinque periodi a seconda delle loro caratteristiche ecologiche.

Per il periodo VI A la maggior parte dei materiali studiati provengono da elementi strutturali del grande complesso palaziale. Il quantitativo di legno carbonizzato è davvero ingente e il suo uso diversificato, ogni elemento doveva essere stato accuratamente selezionato a seconda della sua destinazione d'uso. (Alvaro *et al.*, 2010). Le necessità costruttive hanno portato a un'attenta selezione dei materiali in modo da sfruttare le caratteristiche proprie di ogni legname. Tutti i *taxa* determinati si trovano nell'area di influenza di Arslantepe. Con selezione umana si intende una scelta più o meno consapevole effettuata alla luce di una serie di motivazioni: le caratteristiche del legno come ad esempio semplicità nella lavorazione; la disponibilità della pianta intorno al sito e la velocità di crescita e rigenerazione degli individui utilizzati; le credenze religiose e le motivazioni culturali.

I *taxa* ritrovati delineano con la loro presenza/assenza e la loro diffusione il paesaggio che doveva circondare il sito ma al tempo stesso la selezione umana.

Il quadro ambientale che i ritrovamenti archeobotanici delineano per il periodo VI A vede la predominanza dei *taxa* idrofilo che configura un ambiente ricco di acqua, confermato anche dalla presenza solo sporadica di *taxa* appartenenti alla steppa arborata. Il grande quantitativo di piante montane è dovuto sia alla consistente presenza di frammenti di ginepro sia alla presenza di grandi travi di pino ritrovate in alcuni accumuli causati dalle rovine di tetti crollati a causa dell'incendio (figg. 2.23, 2.24).

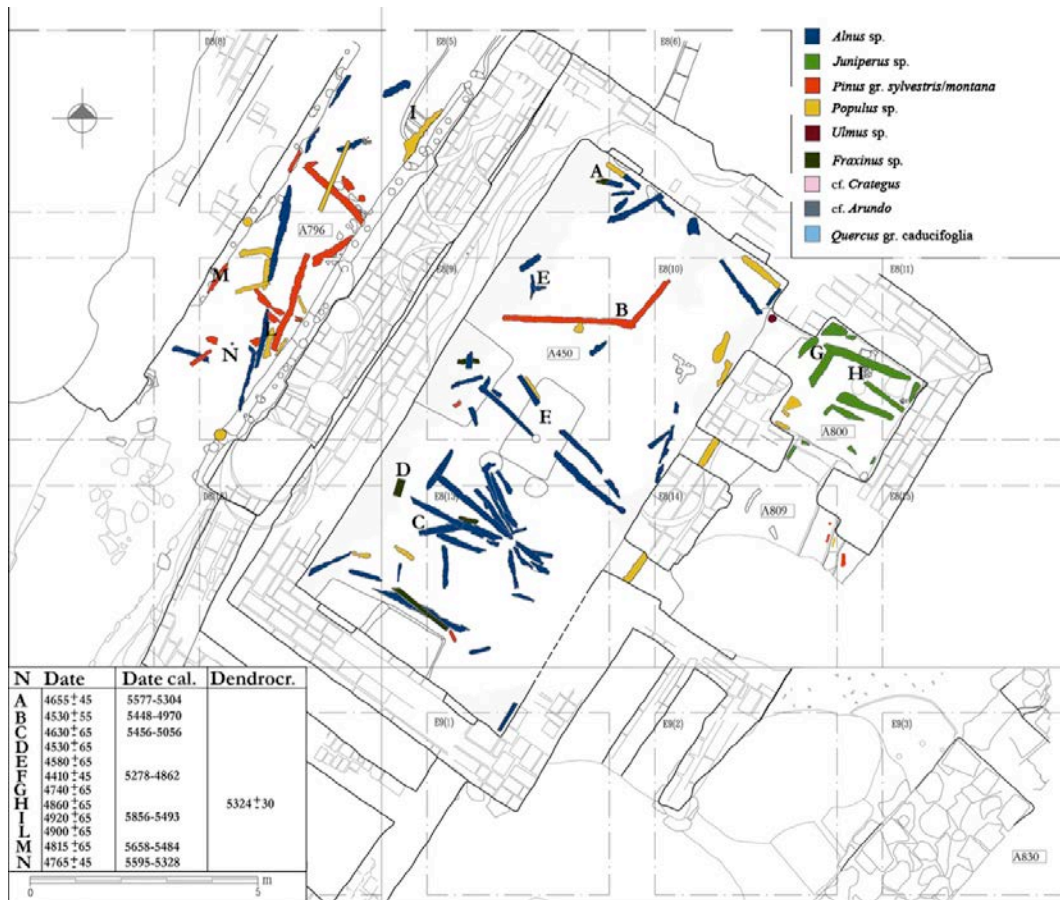


Figura 2.23 Mappa del tempio B e del corridoio adiacente (A796). Sono visibili le travi lignee crollate a causa dell'incendio, la loro determinazione tassonomica e le rispettive datazioni radiocarboniche. Da: Alvaro *et al.*, 2010, modificata.



Figura 2.24 Travi dei tetti crollate a causa dell'incendio dell'area del tempio B. a) A450 la grande sala del tempio B con le travi crollate e, in fondo, l'altare, b) particolare di legni di ginepro nella piccola stanza A800, c) A796 il corridoio alle spalle della sala del tempio.

I legni carbonizzati del periodo VI B1 sono in quantità molto minore e provengono principalmente dalle palizzate che costituivano gli alzati delle capanne e dai recinti esterni eretti per il bestiame. L'insieme dei materiali archeobotanici (fig. 2.22) delinea un ambiente steppico in forte contrapposizione con quello tracciato dai macroresti del periodo VI A. Sicuramente la differente tipologia delle abitazioni ha come effetto una minore necessità di travi lunghe e dritte precedentemente realizzate con *taxa* igrofilo e montani ma queste piante si presterebbero comunque alla costruzione delle palizzate tipiche del periodo a meno di ipotizzare che la loro drastica diminuzione sia dovuta ad un eccessivo sfruttamento o ad un cambio climatico. Per le palizzate è stato invece usato legno di quercia caducifolia, che ha ottime caratteristiche costruttive (Alvaro *et al.*, 2010) ma anche una crescita lenta. La pianta infatti impiega svariati anni prima di dare pali delle dimensioni delle palizzate ritrovate. Il pioppo e l'ontano al contrario crescono rapidamente e possono arrivare a qualche metro di altezza nel giro di pochi mesi. Questi inoltre dovevano essere più facilmente reperibili nei dintorni del *tell*. Perché dunque se ne trovano pochi e sporadici frammenti? I dati a disposizione non permettono di dare una risposta a questa domanda, si potrebbe ipotizzare una scelta consapevole dettata da abitudini o tradizioni della popolazione che abitava il *tell* in questa fase oppure si può ipotizzare una drastica diminuzione di piante ripariali, magari a causa di un eccessivo sfruttamento.

Il VI B2 è caratterizzato da strutture abitative più stabili, il materiale antracologico proviene dalle componenti strutturali degli edifici ma anche dai focolari. Siamo di fronte ad un villaggio più complesso di quello del periodo precedente. I ritrovamenti archeobotanici dipingono la dualità di questo territorio costituito da una fertile piana ricca d'acqua circondata da aride colline. L'incremento delle piante bisognose di acqua è senza dubbio presente ma nell'insieme prevalgono ancora *taxa* legati alle aride steppe collinari. Rimane difficile credere che questa popolazione abbia deliberatamente limitato l'uso delle piante idrofile e igrofile prossime al sito e di rapida crescita per selezionare i più rari *taxa* steppici dalla lenta rigenerazione.

Il periodo VI C non è stato distrutto da un grande ed esteso incendio come nei casi precedenti. I materiali carbonizzati dunque sono sporadici. Fa eccezione la stanza A607 che è stata distrutta da un forte incendio e per questo abbandonata. La stanza aveva al suo interno un focolare, un forno, mortai, macine e pedane di lavoro. L'incendio ha fatto crollare il tetto in legno che ha frantumato una serie di vasi, soprattutto pentole e recipienti per conservare alimenti. Al suo interno sono stati trovati anche grandi quantitativi di materiali vegetali carbonizzati sottoposti a un attento studio (Sadori *et al.*, 2006b). Sotto il punto di vista archeobotanico questo periodo si differenzia dagli altri dal momento che non è possibile avere un'istantanea complessiva dell'intera fase insediativa come invece accade per i periodi precedenti. La stanza A607 è bruciata con tutto il suo contenuto e viene sigillata immediatamente ma il sito continua a vivere e non viene abbandonato. L'abbandono del sito avverrà tempo dopo. Sebbene la stanza sia praticamente l'unica fonte di materiali archeobotanici dell'intero periodo essa contiene un numero incredibile di materiali. Il pavimento della stanza era ricoperto da grandi quantità di macroresti, sia legno che, soprattutto, semi/frutti (fig. 2.25).

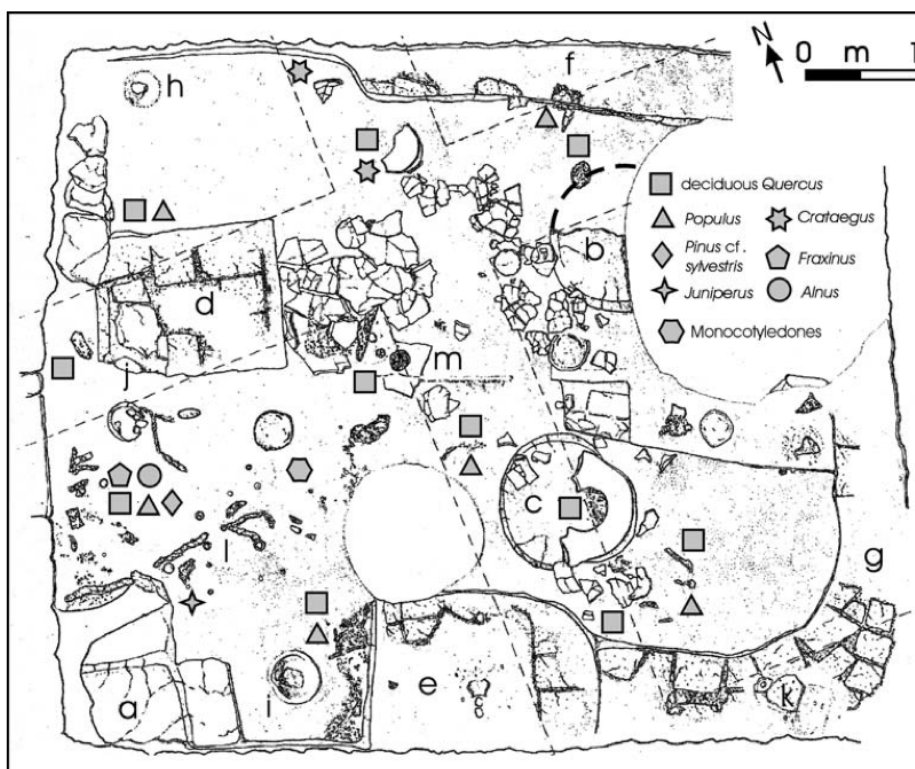


Figura 2. 25 Pianta della stanza A607 del periodo VI C. Sono visibili gli elementi strutturali, i frammenti ceramici rinvenuti in situ sul pavimento e i resti antracologici. a) forno, b-c) focolare, d-e) panche da lavoro, f-g) panchine, h-i) mortai fissi, j-k) pietre da mortaio, l)paletti e buche, m) palo centrale. Da: Sadori et al., 2006b.

Il macroresti lignei delineano un ambiente simile a quello delle fasi precedenti dove, ancora una volta, la quercia è il *taxon* predominante. Le specie montane sembrano in questo caso avere un'importanza leggermente maggiore rispetto ai periodi VI B1 e VI B2 senza mai raggiungere i livelli del VI A. È presumibile che questi fossero i *taxa* di più difficile raccolta dal momento che vivono a quote più elevate di quelle del *tell* e, almeno oggi, a diversi km di distanza.

L'abitato del periodo VI D è costituito da fasi che si sovrappongono e coesistono in un insieme molto complesso. L'interpretazione è resa difficile dal fatto che l'abitato è piuttosto esteso e occupa le pendici della collina. Le abitazioni quindi sono caratterizzate da una serie di terrazzamenti che rendono più complessa l'interpretazione della cronologia interna al sito. I materiali lignei carbonizzati provengono sia dalle strutture abitative come dai focolari. Molte sono le analogie che si possono fare con il periodo VI A, nonostante siano trascorsi quasi mille anni. Le popolazioni di queste due fasi hanno molto in comune e anche la quantità di materiale ritrovato può essere paragonata, anche se la fase VI D non ha tracce evidenti di un'organizzazione centrale che caratterizza tutto l'abitato del periodo VI A. I vari raggruppamenti ecologici mettono in evidenza un cambiamento. La steppa arborata, sebbene ancora predominante, lascia posto a un uso maggiore di piante che necessitano di abbondante acqua per vivere. Gli abitanti di questo insediamento non si spingono lontano, ma utilizzano le piante che crescono proprio ai piedi della collina e che probabilmente sono tornate disponibili (fig. 2.22).

I resti carpologici sono presenti in tutte le fasi di occupazione del sito sotto forma di materiale sparso o di depositi consistenti trovati in contesti diversi quali ambiti di lavorazione, depositi, all'interno delle abitazioni o in posizioni compatibili con un deposito al di sopra dei tetti.

Ci sono grandi quantità di materiale con significative presenze e assenze per ogni singolo periodo. In generale tutte le fasi sono collegate a una produzione agricola basata su orzo (*Hordeum vulgare*) e farri (*Triticum dicoccon* e *T. monococcum*) affiancati, solo in alcuni periodi da un quantitativo rilevante di leguminose quali pisello (*Pisum sativum*) o cece (*Cicer aretinum*). A fronte di un grande numero di cariossidi sono stati trovati pochissimi frammenti di spighe: solamente poche forchette e rarissimi frammenti di rachide.

2.4 Il clima dell'Olocene medio nel Vicino Oriente

La ricostruzione paleoambientale si effettua tramite i registri di sedimenti terrestri e marini, che sono archivi naturali sia dei cambi climatici e dell'azione dell'uomo.

La ricerca sui cambiamenti ambientali avvenuti durante l'Olocene nell'area mediterranea ha portato a interpretazioni divergenti sull'evoluzione del clima. La vegetazione dell'Olocene nel Mediterraneo e nei paesi limitrofi, sembra, dopo un'iniziale e breve fase caratterizzata da steppe più o meno arborate, evolversi verso condizioni più forestali, per poi evidenziare un'apertura dei boschi da circa 6000/7000 anni fa. Tali variazioni da un lato sono state interpretate come il riflesso di una aridificazione che porta verso le condizioni climatiche attuali nel Mediterraneo (Jalut *et al.*, 2000, Sadori & Narcisi, 2001), dall'altro come il risultato del crescente impatto antropico a partire dal Neolitico (Pons & Quezel, 1988; Reille & Pons, 1992). Trovare archivi naturali che possano distinguere questi due fattori è difficile, così come districarsi tra le correnti di pensiero che propendono per una spiegazione climatica e quelle che invece danno grande importanza all'impatto antropico. L'approccio migliore sta nell'utilizzare quegli archivi naturali per cui si può escludere l'influenza antropica (la vegetazione è strettamente influenzata sia dall'uomo che dal clima, pur essendo un ottimo *proxy* ambientale) e perciò stabilirne in modo inequivocabile l'origine climatica. Tra questi archivi ci sono, ad es., le variazioni di livello dei laghi e gli studi isotopici di speleotemi e sedimenti lacustri (per esempio, Bar-Matthews *et al.*, 1997; Magny *et al.*, 2002; Roberts *et al.*, 2008). Essi suggeriscono un'evoluzione del clima a partire da condizioni di umidità nella prima fase dell'Olocene che si sono evolute verso un clima più secco e sembrano perciò indicare, a un livello molto generale, che anche la vegetazione sia maggiormente influenzata dal clima.

Lo studio multidisciplinare di uno stesso sito appare di fondamentale importanza. Possono cioè essere studiati sia *proxies* che danno informazioni esclusivamente climatiche, sia quelli che invece sono influenzati dall'uomo. Il vantaggio di tale approccio è non solo nella perfetta corrispondenza cronologica dei risultati ottenuti, ma anche una preziosa informazione riguardo al contributo antropico.

Un altro aspetto della ricerca paleoambientale e del rapporto uomo/ambiente riguarda l'impatto del clima sullo sviluppo delle civiltà preindustriali. Sotto questo aspetto avere *proxies* ambientali il più possibile vicino ai siti archeologici appare di fondamentale importanza.

In questo lavoro prenderò in considerazione una serie di studi che sono stati effettuati nell'area del Vicino Oriente. Nella loro interpretazione vanno tenute in conto le inevitabili variazioni a livello regionale e anche locale. Il clima, infatti, è frutto di un insieme di molti parametri, tutti strettamente legati tra loro. La stessa eterogeneità che si può vedere nei dati attuali, si registra anche in quelli paleoclimatici così che ogni parametro che viene individuato e studiato deve essere interpretato alla luce dei complessi legami che lo accomunano agli altri parametri necessari per la ricostruzione paleoclimatica. È proprio questa complessità che in alcuni casi si manifesta nel confronto tra dati provenienti da regioni differenti che possono dare informazioni anche opposte tra un luogo e un altro. Ciò rende ancora più necessario avere un numero sempre più consistente di dati da mettere a confronto e effettuare un'attenta e prudente interpretazione degli stessi.

L'Olocene medio è un periodo caratterizzato da una grande variabilità ambientale in tutto il Bacino del Mediterraneo e nei paesi limitrofi (Roberts *et al.*, 2011b). Tale complessità è dovuta al fatto che la regione è sottoposta a varie influenze climatiche, atlantica (ENSO e NAO), nord-africana (spostamento ITCZ) e orientale (regime monsonico). A questa complessità climatica si aggiunge una complessità di impatto antropico, in quanto la regione è culla delle più antiche civiltà umane, che hanno interagito con l'ambiente, modificando e modellando il paesaggio in cui vivevano. Se esaminiamo i dati archeologici disponibili per il Vicino Oriente emerge chiaramente la necessità di discriminare le variazioni ambientali indotte dall'uomo da quelle indotte dal clima. Fortunatamente, i dati paleoambientali per il Vicino Oriente derivano da fonti molto diverse tra loro. Oltre alle già citate analisi di macrofossili vegetali dai siti archeologici, che costituiscono in molti casi validi *proxies* ambientali, si dispone di vari archivi paleoclimatici, pur se disposti in un'area piuttosto vasta. Ognuno di questi archivi, grazie alle analisi condotte, dà informazioni differenti con risoluzioni variabili. Ci sono diversi siti importanti su cui sono state effettuate analisi multidisciplinari, i più importanti verranno illustrati di seguito.

2.4.1 Grotta di Soreq

La grotta di Soreq si trova in Israele e ha fornito uno dei record più importanti del Vicino Oriente. I dati paleoambientali sono stati ricavati da speleotemi (stalattiti e stalagmiti) che costituiscono un record climatico continuo lungo oltre 185.000 anni. Le analisi hanno riguardato il $\delta^{18}\text{O}$, il $\delta^{13}\text{C}$, la composizione isotopica di uranio e torio e sono stati datati attraverso il metodo del $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ (Bar-Matthews *et al.*, 1997; Bar-Matthews & Ayalon, 2011). Gli isotopi stabili dell'ossigeno in generale vengono studiati per valutare le variazioni della temperatura e/o delle precipitazioni. In questo caso specifico il $\delta^{18}\text{O}$ è strettamente legato alle precipitazioni, bassi valori di $\delta^{18}\text{O}$ stanno a indicare periodi più umidi, al contrario alti valori di $\delta^{18}\text{O}$ si trovano in corrispondenza di periodi aridi.

Gli isotopi stabili del carbonio all'interno di speleotemi si collegano a una serie di variabili,

fondamentalmente il carbonio presente in grotta viene trasportato dall'acqua piovana che percola dall'esterno e che trasporta CO₂ di origine vegetale. Il valore di $\delta^{13}\text{C}$ è utilizzato per indicare il rapporto tra le piante C3 e le piante C4. Le prime crescono in prevalenza nei climi temperati mentre le piante con metabolismo C4 caratterizzano climi aridi. Alti valori di $\delta^{13}\text{C}$ indicano una netta presenza di piante C4 quindi sono riferibili a periodi aridi, al contrario bassi valori di $\delta^{13}\text{C}$ sono caratteristici di una predominanza di piante C3 e quindi corrispondono a maggiore umidità.

I principali eventi dell'Olocene sono ben documentati. In figura 2.26 sono riportate le curve di $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ per l'Olocene medio, in linea di massima i valori sono più bassi di quelli attuali.

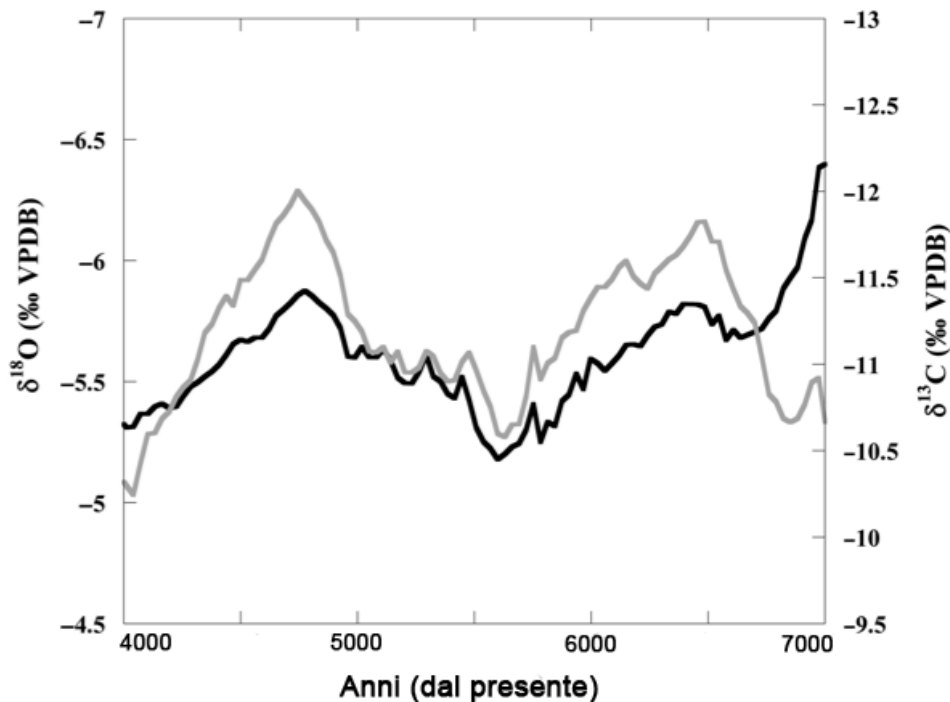


Figura 2.26 Curve di $\delta^{18}\text{O}$ e di $\delta^{13}\text{C}$ degli speleotemi provenienti dalla grotta di Soreq. Da: Bar-Matthews & Ayalon, 2011, modificata.

Il periodo tra il 3350 e il 2000 a.C. (5300-3950 in età calibrata), quello che più interessa per questo studio, è caratterizzato da diverse fluttuazioni, brusche ed estreme con picchi di estrema aridità tra 5250 e 5170 anni fa (Roberts *et al.*, 2011b) (fig. 2.27) e culminanti intorno a 4000 anni fa (fig. 2.26 e 2.27).

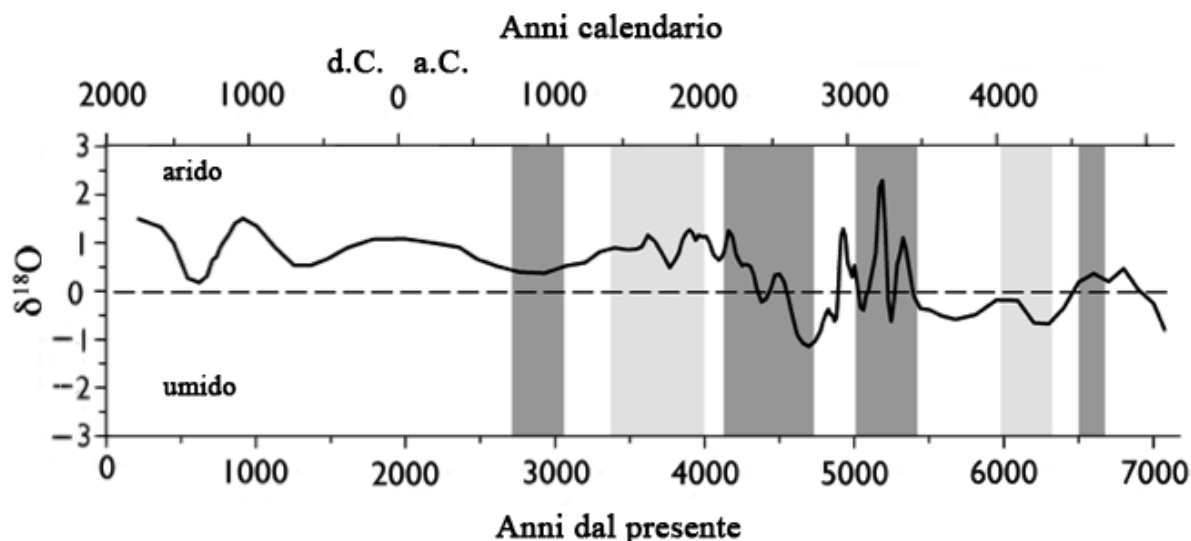


Figura 2. 27 Andamento del $\delta^{18}\text{O}$ per gli speleotemi provenienti dalla grotta di Soreq, in evidenza la forte instabilità intorno al III millennio a.C. In grigio chiaro sono indicate le fasi umide, in grigio scuro le fasi aride secondo Roberts *et al.* (2011b, modificata).

Al contrario, il periodo compreso tra il 2600 e il 2200 a.C., si presenta relativamente umido; a questo segue poi una fase di forte aumento del $\delta^{18}\text{O}$ (2200-1800 a.C.), corrispondente all'aumento di aridità. A seguire, i valori di $\delta^{18}\text{O}$ si manterranno su valori relativamente stabili con cambiamenti visibili solo nel lungo periodo.

2.4.2 Mar Morto

Il Mar Morto è un lago caratterizzato da una salinità talmente alta da non permettere nessuna forma di vita, ad esclusione di alcuni tipi di batteri. Da tempo vengono studiati i livelli delle acque come misura paleoclimatica (Frumkin *et al.*, 2001; Enzel *et al.*, 2003; Migowski *et al.*, 2006). Il livello delle sue acque e conseguentemente anche la sua salinità, sono variabili direttamente collegate con la quantità di acqua che il mare riceve attraverso le precipitazioni e l'evaporazione a cui è soggetto (Enzel *et al.*, 2003). Le variazioni del livello dell'acqua sono visibili in figura 2.28, anche se bisogna tenere presente che il record non è continuo, ma presenta numerose lacune. È visibile una fase umida tra il 5600 e 3500 a.C. Frumkin *et al.* (2001) suggeriscono che la fine del III-inizio secondo millennio sono caratterizzate da un clima relativamente secco, con un livello d'acqua del Mar Morto più basso di 400 m sotto il livello del mare, rispetto ai -390 m presenti prima dell'introduzione dei moderni meccanismi di irrigazione.

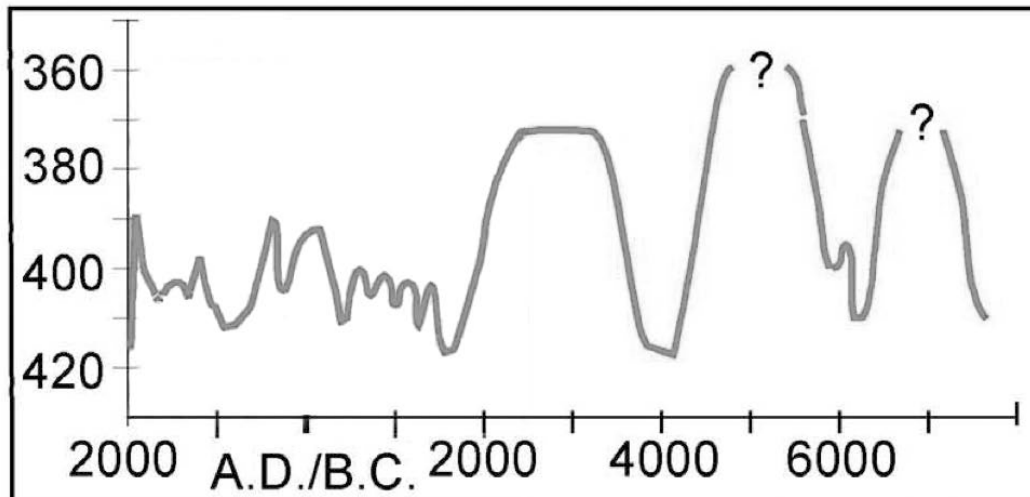


Figura 2.28 Curva di livello del Mar Morto indicante i metri al di sotto del livello del mare. Da: Enzel *et al.*, 2003, modificata.

2.4.3. Golfo di Oman e Mar Rosso

Il Mar Rosso, e in particolare il Golfo di Oman, si trovano a grande distanza dalla Turchia. È stato però dimostrato che sui loro fondali si accumulano polveri provenienti da luoghi molto lontani come la Turchia e la Mesopotamia. Queste polveri hanno una caratterizzazione tipica che ne permette il riconoscimento. L'aumento della loro quantità è correlabile con le fasi di aridità, anche se il clima del golfo in sé non ha un diretto collegamento con l'area turca. Cullen *et al.* (2000) hanno caratterizzato queste polveri e la loro provenienza e ne hanno calcolato il tasso di sedimentazione per gli ultimi 25.000 anni (fig. 2.29). I risultati di tale lavoro hanno evidenziato un brusco aumento di polveri, correlabile ad un aumento di aridità, intorno a 4025 ± 125 anni dal presente secondo le date radiocarbonio e che persiste per circa 300 anni.

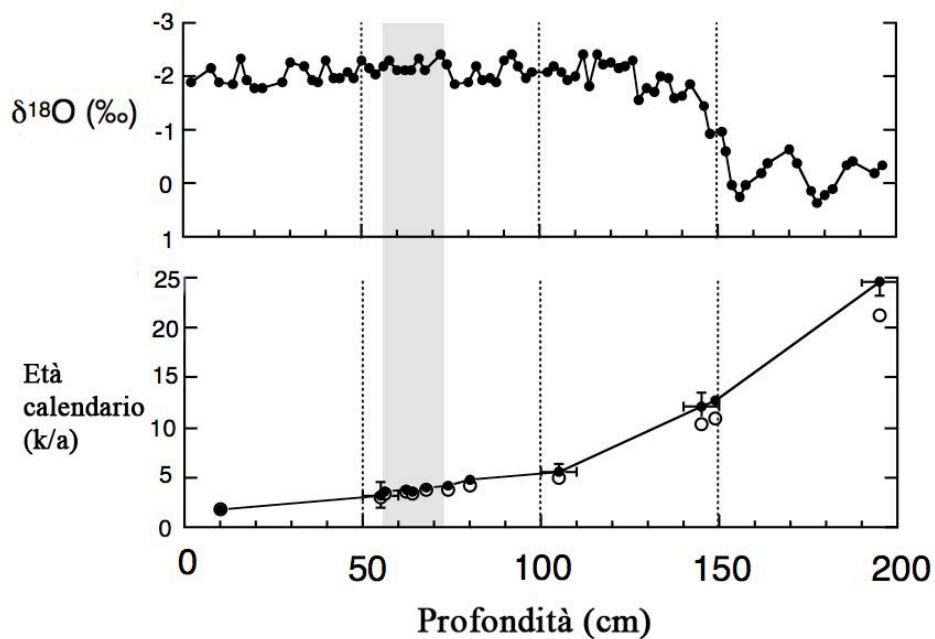


Figura 2.29 Valori di $\delta^{18}\text{O}$ e datazioni radiocarbonio dei sedimenti del Golfo di Oman. Da: Cullen *et al.*, 2000, modificata.

2.4.4 Lago di Van

Il lago di Van si trova nel sud-est della Turchia, a circa 400 km da Arslantepe (fig. 2.30).



Figura 2.30 Mappa della Turchia con i siti delle analisi polliniche discusse. Da: Eastwood *et al.*, 2007, modificata.

Oltre a essere il più grande lago del paese è anche una fonte preziosa di dati paleoclimatici dal momento che si trova nell'intersezione di tre grandi aree climatiche, da cui dovrebbe essere in

egual modo influenzato. Le datazioni inoltre sono state effettuate sia con il radiocarbonio che con il conteggio delle varve, quindi utilizzando modalità indipendenti.

I campioni di sedimento prelevati dal lago a più riprese, sono stati inizialmente studiati da van Zeist & Woldring (1978), ma successive analisi effettuate da Landmann *et al.* (1996), Lemcke & Sturm (1997) e Wick *et al.* (2003) hanno profondamente modificato i primi risultati. Le laminazioni annuali dei sedimenti sono varve costituite da depositi annuali di carbonati e strati organici in un susseguirsi pressoché ininterrotto per gli ultimi 14000 anni. Da questo tipo di sedimenti si traggono diversi *proxies*, in questo caso sono stati studiati il polline, i microcarboni, il CaCO_3 , il $\delta^{18}\text{O}$, e il rapporto Mg/Ca.

Ognuno ha fornito informazioni preziose: il rapporto Mg/Ca indica cambiamenti di salinità delle acque (un rapporto elevato indica un'elevata salinità; Lemcke & Sturm, 1997), il $\delta^{18}\text{O}$ si collega, come per le grotte di Soreq, all'aumento di aridità, i dati pollinici infine tracciano i contorni della vegetazione presente e dell'impatto umano su di essa.

L'analisi di questi diversi fattori mostra come l'Olocene è caratterizzato da un clima relativamente umido a circa 6000 a.C. Nell'intervallo tra il 4000 e il 2000 a.C. il lago registra condizioni climatiche ottimali, con un picco di umidità in corrispondenza a 3500 a.C. Il clima che caratterizza la fase tra 2500 e 2000 a.C. è più secco, con l'esclusione di una breve inversione a circa 2100 a.C., seguito da un aumento dell'aridità, a cui corrisponde la diminuzione di quercia (fig. 2.31; Lemcke & Sturm, 1997; Wick *et al.*, 2003).

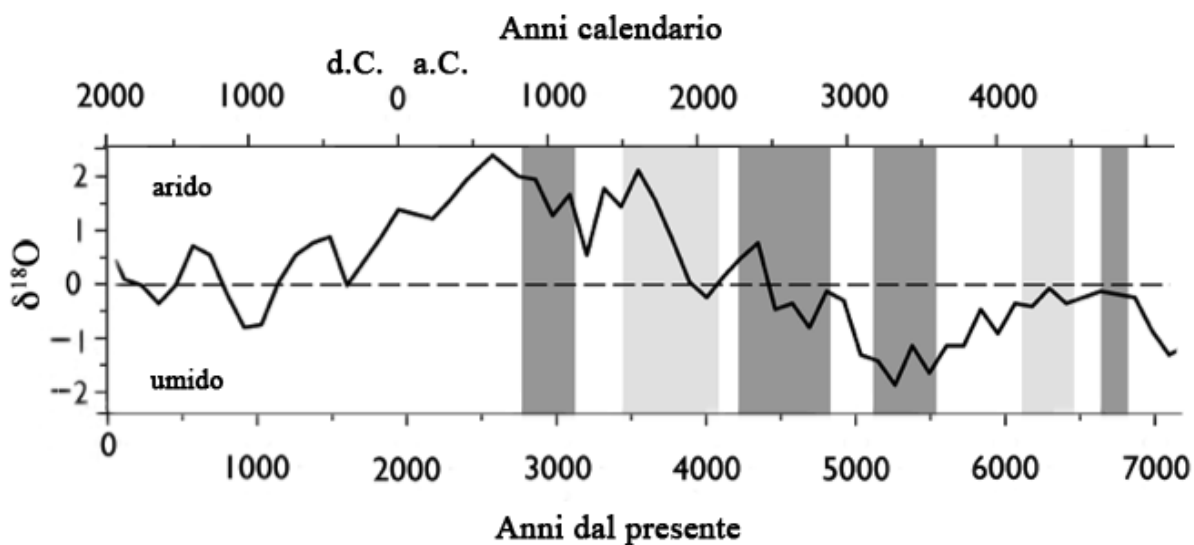


Figura 2.31 Andamento del $\delta^{18}\text{O}$ per i sedimenti provenienti dal lago di Van. In grigio chiaro sono indicate le fasi umide, in grigio scuro le fasi aride secondo Roberts *et al.* (2011b, modificata).

L'analisi pollinica delinea un periodo tardo glaciale freddo e secco caratterizzato da una vegetazione steppica in corrispondenza di una elevata salinità dell'acqua. Durante la fase Younger Dryas il livello delle acque cala drasticamente e la vegetazione diventa semi-desertica. L'inizio dell'Olocene registra un aumento dell'umidità desumibile dall'aumento di *Artemisia*, *Chenopodiacee* e *Pistacia*. Un ritardo di circa 3000 anni nell'arrivo della steppa arborata, dominata da querce, e la frequenza degli incendi suggeriscono la presenza di primavere ed estati asciutte durante le prime fasi dell'Olocene. A partire da 8200 anni dal presente un cambiamento a carattere regionale del clima ha facilitato il trasporto di maggiore

umidità dalle aree interne della catena del Tauro, causando un cambio nella distribuzione stagionale delle precipitazioni. Il progressivo cambiamento porta alla dominazione delle foreste steppiche da parte delle querce con il culmine a circa 6200 anni dal presente. Il periodo compreso tra 6200 e 4000 anni dal presente indica un *optimum* nelle condizioni climatiche, con bassa salinità e un alto livello delle acque. Dopo i 4000 anni dal presente l'aridità torna a crescere fino allo stabilizzarsi delle condizioni attuali. L'impatto antropico ha inizio circa 3800 anni fa dal presente e si è intensificato durante gli ultimi 600 anni (Wick *et al.*, 2003).

2.4.5 Eski Acıgöl

Il secondo record pollinico utile è la sequenza del lago vulcanico di Eski Acıgöl (Turchia centrale, fig. 2.30) che copre gli ultimi 16000 anni.

Le analisi polliniche mostrano una brusca sostituzione di *Artemisia* e chenopodiacee ad opera di una vegetazione predominata da *Pistacia* insieme a un crescente aumento di querce caducifoglie che dà inizio all'Olocene (Roberts *et al.*, 2001b; Woldring & Bottema, 2003). Il graduale aumento di polline arboreo, caratterizzato da *Quercus* gr. caducifoglie, *Corylus*, *Juniperus* e *Pistacia* durante la fase iniziale dell'Olocene, si interrompe circa 6500 anni dal presente cal. quando i *taxa* decidui declinano insieme a *Pistacia*, *Corylus* e *Ulmus*. Questo cambiamento viene registrato anche attraverso la diminuzione del livello delle acque del lago. Contemporaneamente *taxa* erbacei e steppici (*Artemisia* e *Chenopodiaceae*) tornano a svilupparsi a spese delle *Poaceae*.

Tra 4500 e 4000 anni dal presente l'impatto antropico si traduce in un improvviso declino delle querce, prima ben rappresentate, che raggiungono il loro minimo intorno a circa 3800 anni dal presente. Alcuni indicatori antropici come *Rosaceae*, *Compositae*, *Plantago*, *Polygonum aviculare* e *Urtica*, si sviluppano e mostrano chiaramente che il loro impatto accresce gli effetti dell'aridificazione sulla vegetazione. Successivamente le analisi mineralogiche, sulle diatomee e sugli isotopi e hanno dimostrato che nella seconda parte dell'Olocene il lago diviene poco profondo spesso anche salmastro. Il sincronismo tra i cambi nella vegetazione e il livello del lago suggerisce che l'aridificazione ha indotto cambi nella copertura vegetale (Roberts *et al.*, 2001b; Jalut *et al.*, 2000). La sequenza registra anche polline di pino. La pianta oggi non cresce nella zona, probabilmente proviene da lontano dato che il suo polline può viaggiare per lunghe distanze.

2.4.6 Gölü Gölhisar

L'ultimo sito illustrato è Gölü Gölhisar, un piccolo lago montano che si trova nel sudovest della Turchia (fig. 2.30). Gli studi effettuati sulle carote provenienti da questo lago hanno dato informazioni climatiche per gli ultimi 9500 anni circa. Le analisi polliniche indicano che la vegetazione, inizialmente caratterizzata da un paesaggio aperto, si è arricchita di *taxa* arborei a partire da 8500 anni dal presente. Sono presenti foreste miste di querce, pini e ginepri fino a circa 3000 anni dal presente quando l'impatto antropico diventa chiaramente visibile dalle curve polliniche. Le chiare tracce di antropizzazione sono ben datate dal momento che si

registrano poco prima della deposizione del tefra di Santorini datato al 3330 ± 70 anni dal presente (circa 1600 a.C. cal.; Eastwood *et al.*, 2002). L'occupazione umana si caratterizza con la diminuzione delle foreste, la coltivazione di alberi da frutto come *Olea*, *Juglans*, *Castanea* e l'aumento di agricoltura e pastorizia. A partire da 3000 anni dal presente sono avvenuti cambi idrogeologici associati ad attività vulcaniche. La forte presenza dell'uomo ha fine 1300 anni dal presente quando le foreste tornano ad essere dominanti (Eastwood *et al.*, 1999).

Metodologie di studio

3.1 L'analisi isotopica

3.1.1 Gli isotopi e i loro campi di applicazione

Il termine isotopo è stato introdotto da F. Soddy nel 1913 (dal greco ισος -isos- uguale, e τόπος -tòpos- luogo) per indicare nello stesso posto sulla tavola periodica di Mendeleev. Con esso si intendono quegli atomi di uno stesso elemento che hanno pari numero di protoni e differente numero di neutroni. Un elemento dunque può avere uno o più isotopi in quanto un uguale numero di elettroni fa sì che abbiano le stesse proprietà chimiche. Il differente numero di neutroni, al contrario, fa sì che abbiano massa diversa e quindi diverse proprietà fisiche. Gli isotopi si dividono in stabili e instabili (o radioattivi), poiché alcuni rimangono immutati nel tempo mentre altri tendono a perdere energia sotto forma di radiazioni fino a trasformarsi in un elemento stabile. La maggior parte degli isotopi ha origine naturale ma alcuni vengono prodotti in laboratorio attraverso reazioni nucleari.

I primi isotopi a essere scoperti furono quelli radioattivi, in particolare, intorno ai primi del '900, si individuano gli isotopi del torio. La scoperta dell'esistenza degli isotopi stabili avvenne poco dopo a opera di O. Hönigschmid, che ne trovò due del piombo.

Un grande impulso al loro studio arrivò durante la Seconda Guerra Mondiale quando si riuscì a separare gli isotopi dello stesso elemento attraverso metodi fisici e chimici. Inizialmente vennero utilizzati per la costruzione di bombe atomiche ma successivamente i campi di applicazione si sono rivelati molto più ampi.

In linea di massima si utilizzano gli isotopi stabili in campo ambientale per ricostruire, attraverso il frazionamento, le condizioni presenti al momento del loro accumulo e gli isotopi instabili in campo cronologico attraverso lo studio della loro abbondanza e dei prodotti del decadimento.

In natura sono conosciuti circa 300 isotopi stabili e 1200 instabili (radioattivi). Non tutti

rivestono la stessa importanza, in particolare vengono studiati gli isotopi stabili di idrogeno, boro, azoto, idrogeno, ossigeno e zolfo (Tab. 3.1). I più importanti sono quelli che partecipano alla formazione delle rocce e dei giacimenti, che sono coinvolti nel ciclo idrologico e nei processi vitali. Questi sono principalmente quattro: idrogeno, carbonio, ossigeno e zolfo.

Elemento	Isotopo	abbondanza	Elemento	Isotopo	abbondanza
Carbonio	^{12}C	98,8922%	Ossigeno	^{16}O	99,7628%
	^{13}C	1,1078%		^{17}O	0,0372%
Idrogeno	^1H	99,984426%		^{18}O	0,2004%
	$^2\text{H D}$	0,015574%	Zolfo	^{32}S	95,00%
Boro	^{10}B	19,82%		^{33}S	0,76%
	^{11}B	80,18%		^{34}S	4,22%
Azoto	^{14}N	99,6349%		^{36}S	0,014%
	^{15}N	0,3669%			

Tabella 3.1 Isotopi stabili degli elementi più comuni.

L'impulso principale all'uso degli isotopi in un'ampia serie di campi di applicazione è sicuramente dovuto ai progressi della spettrometria di massa, la tecnica utilizzata per il loro studio. La spettrometria di massa si basa sul principio della possibilità di separare una miscela di ioni in funzione del loro rapporto massa/carica attraverso l'applicazione di campi magnetici. Alcuni degli isotopi che vengono usati in questo tipo di studi sono in quantitativi estremamente ridotti e il loro utilizzo è strettamente legato al miglioramento delle strumentazioni coinvolte.

I campi di applicazione dell'analisi degli isotopi sono incredibilmente vasti: è molto diffusa nelle scienze naturali con implicazioni nelle scienze biologiche, della terra e dell'ambiente e recentemente si stanno aprendo prospettive sempre più ampie. In questo lavoro si tratteranno esclusivamente gli isotopi stabili di cui vengono elencati gli ambiti di utilizzo più significativi.

Geochimica isotopica

La geochimica isotopica è un aspetto della geologia con applicazioni molto vaste. Si occupa tra l'altro della datazione e caratterizzazione delle rocce e dello studio dell'atmosfera e delle acque. Un aspetto molto importante è lo studio della paleoclimatologia. La maggior parte dei dati paleoclimatici citati nel presente lavoro sono stati ricavati da studi di geochimica isotopica (vedi paragrafo 2.4). Gli archivi più importanti nella ricostruzione del paleoclima sono le carote di ghiaccio dei ghiacciai, gli speleotemi, i sedimenti marini e lacustri. Il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ rinvenuto in questi record è dipendente dai fattori ambientali e può essere utilizzato per ricostruire i cambiamenti climatici.

Un altro ambito di applicazione molto interessante, e simile per certi aspetti all'argomento di questo lavoro, è la ricostruzione paleoclimatica effettuata attraverso lo studio di molluschi terrestri, in particolare dei gusci di lumache. Questi gusci vengono spesso rinvenuti in grandi quantità presso depositi archeologici in Europa e nell'area mediterranea dove l'accumulo può essere dovuto sia a cause naturali che all'utilizzo alimentare. I valori isotopici dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$) e del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) dei gusci delle lumache sono un ottimo parametro paleoambientale e paleoclimatico, avvalorato dal fatto che tali animali si spostano solo per

brevi distanze e sono particolarmente sensibili alle variazioni di temperatura e umidità. Il loro contributo è utile tanto alla ricostruzione climatica quanto all'interpretazione archeologica (Colonese *et al.*, 2010a; 2010b; 2011).

Ecosistemi acquatici

Gli isotopi sono molto utilizzati anche nello studio di ecosistemi acquatici attuali poiché possono aiutare a comprendere i collegamenti ed elaborare le informazioni riguardanti la rete trofica marina. I tre principali isotopi utilizzati nello studio delle catene alimentari per gli ecosistemi acquatici sono ^{13}C , ^{15}N e ^{34}S .

Queste analisi possono essere utilizzati in una certa misura anche nei sistemi terrestri.

Ecologia

Tutti gli elementi biologici contengono carbonio proveniente dall'atmosfera e fissato dagli organismi vegetali sotto forma di composti organici. Lo studio del rapporto isotopico permette di comprendere i meccanismi e i passaggi interscambi tra il carbonio atmosferico e quello fissato negli organismi viventi. A esso si affianca lo studio di altri isotopi presenti nei composti organici: azoto, ossigeno, idrogeno.

Ricostruzione delle paleodiete in ambito archeologico

Gli isotopi che si trovano nelle ossa, sia umane che animali, possono fornire indicazioni efficaci sulla dieta degli individui e sul luogo di provenienza, mettendo in luce ad esempio, possibili flussi migratori.

Per ricostruire la dieta si utilizza la composizione isotopica di azoto e carbonio che vengono assimilati con i cibi e che permettono di capire di quali piante si è nutrito un individuo o quali animali ha mangiato (nel caso di carnivori). Per ricostruire l'origine geografica si studia l'ossigeno poiché viene assimilato attraverso l'acqua. Sempre per questo scopo sono stati utilizzati con successo sia lo stronzio che il piombo presenti nelle ossa e nei denti. Tali studi devono essere portati avanti sempre con molta cautela perché i processi di diagenesi potrebbero creare problemi all'interpretazione dei dati.

Caratterizzazione dei manufatti archeologici

La caratterizzazione della provenienza dei manufatti avviene confrontando la composizione isotopica di materiali di origine riferiti a una data zona con i materiali archeologici. Si applica a metalli, vetro e pigmenti soprattutto a base di piombo. L'interpretazione è spesso problematica principalmente per metalli e vetri a causa del continuo riutilizzo di queste preziose materie.

Ambito forense

Recentemente si sta sviluppando l'applicazione dello studio isotopico ai capelli. La crescita dei capelli infatti è continua e varia in funzione della dieta e soprattutto dell'acqua. La composizione isotopica dell'acqua, a sua volta, è legata al territorio è quindi possibile trarre informazioni sui luoghi in cui una persona ha soggiornato.

Anche la provenienza delle droghe o di altre sostanze vietate è in via teorica identificabile attraverso uno studio isotopico.

3.1.2 Lo studio del rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nei vegetali

Il carbonio presenta tre isotopi: il più comune ^{12}C , (98,89%), il ^{13}C (1,11%) stabile e il ^{14}C radioattivo. Il ^{14}C è detto anche radiocarbonio e viene usato per datare i reperti di origine organica basandosi sul ben noto tempo di decadimento specifico per ogni elemento (Bowman, 1990).

Il ^{13}C è stabile e la sua quantità in rapporto al ^{12}C nei materiali vegetali varia in funzione dei parametri ambientali, quali temperatura, umidità e precipitazioni (Farquhar *et al.*, 1982; Edwards *et al.*, 2000; Leavitt, 2002; McCarroll & Loader, 2004).

Pur avendo le stesse proprietà chimiche, gli isotopi presentano differenze nell'attività chimico-fisica dovute alla variazione nella massa. L'abbondanza relativa del carbonio-13 rispetto al carbonio-12 nei tessuti vegetali di piante terrestri è comunemente inferiore rispetto alla sua abbondanza nel CO_2 atmosferico. Questo vuol dire che durante le fasi di incorporazione del CO_2 nella biomassa avviene una discriminazione che è stata studiata approfonditamente.

Si definisce rapporto isotopico (R) il rapporto dell'isotopo più pesante (p) su quello più leggero (l)

$$R = \frac{n_p}{n_l} \quad (1)$$

nel caso degli isotopi stabili del carbonio

$$R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \quad (2)$$

Dal momento che gli isotopi stabili non sono soggetti a decadimento, in sistemi chiusi il rapporto $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ rimane inalterato nel tempo e può essere utilizzato per comprendere i processi chimici, fisici e metabolici che hanno contribuito a fissare il carbonio.

Farquhar *et al.* (1982) definiscono come effetto isotopico (α) tutte quelle variazioni del rapporto isotopico del carbonio dovute alla differenza di massa come ad esempio gli scambi gassosi. Nelle piante α è dato da

$$\alpha = \frac{R_a}{R_p} \quad (3)$$

dove R_a è l'abbondanza isotopica nell'aria,

R_p è l'abbondanza isotopica nelle piante.

Gli isotopi del carbonio-13 sono presenti in piccole quantità. La loro misura diretta è possibile, ma si preferisce utilizzare metodi di analisi indiretta che hanno il vantaggio di ridurre molto i limiti strumentali. Gli strumenti di misura indiretta sono gli spettrometri di massa che esprimono la differenza nella composizione isotopica del materiale studiato rispetto a quella di uno standard di riferimento. Per convenzione il rapporto isotopico è espresso in unità δ -‰

(per mille) secondo la formula

$$\delta_{\text{‰}} = \frac{(R_c - R_s)}{R_s} 1000 = \left(\frac{R_c}{R_s} - 1 \right) 1000 \quad (4)$$

dove R_c è il rapporto isotopico del campione

R_s è il rapporto isotopico dello standard.

I valori del rapporto isotopico del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) sono estremamente piccoli, quindi vengono espressi in parti per mille (‰). Lo standard di riferimento usato è la calcite del rostro del fossile di un mollusco del Cretaceo, *Belemnitella americana*, trovato nella formazione Pee Dee della Carolina del sud (USA). Per questa ragione lo standard è denominato PDB, recentemente sostituito con Vienna-PDB.

In generale con frazionamento isotopico si intende qualunque cambiamento della composizione isotopica tra reagenti e prodotti causata dalle già citate differenti proprietà chimico-fisiche degli isotopi. Nelle piante il frazionamento avviene principalmente nelle foglie, dove i processi di fotosintesi fissano il carbonio atmosferico nella formazione di zuccheri semplici.

Le piante terrestri (al contrario di quelle acquatiche) hanno sviluppato sulla superficie esterna alcuni rivestimenti impermeabili protettivi per cui gli scambi gassosi, indispensabili alla fotosintesi, avvengono esclusivamente all'interno della pianta e principalmente all'interno delle foglie.

A partire dalla pagina superiore, le foglie sono costituite da una cuticola impermeabile e protettiva che copre interamente lo strato di cellule dell'epidermide superiore. Al di sotto si trova il mesofillo, una struttura composta da cellule parenchimatiche con funzione fotosintetica che si divide in due parti. Nella zona adassiale si trova il parenchima (o mesofillo) a palizzata solitamente costituito da una sola fila di cellule con ridotti spazi intercellulari. Nella zona abassiale si trova il parenchima spugnoso (o lacunoso) costituito da cellule irregolari caratterizzate da ampi spazi intercellulari che favoriscono la circolazione dell'anidride carbonica (fig. 3.1). Proprio qui la CO_2 entra in soluzione diventando disponibile per gli enzimi fotosintetici che la utilizzano insieme alla luce solare, per produrre zuccheri (Pasqua *et al.*, 2008).

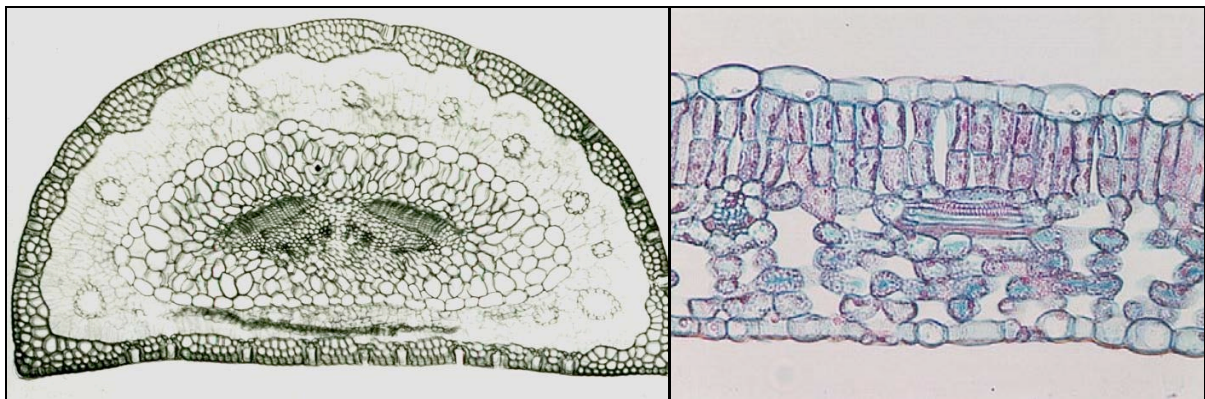


Figura 3.1 Sezione trasversale di foglia di gimnosperma a sinistra e di angiosperma dicotiledone a destra.

La pagina inferiore è anch'essa costituita da uno strato di cellule epidermiche protette dalla cuticola. L'accesso dell'aria è garantito dalla presenza di interruzioni dette aperture stomatiche che si trovano lungo lo strato di cellule epidermiche. Le aperture stomatiche sono circondate da due cellule (dette di guardia) che ne regolano l'apertura. Il complesso nel suo insieme è chiamato stoma e ha la funzione di regolare gli scambi con l'esterno per limitare la perdita di umidità dovuta all'evaporazione (fig 3.2).

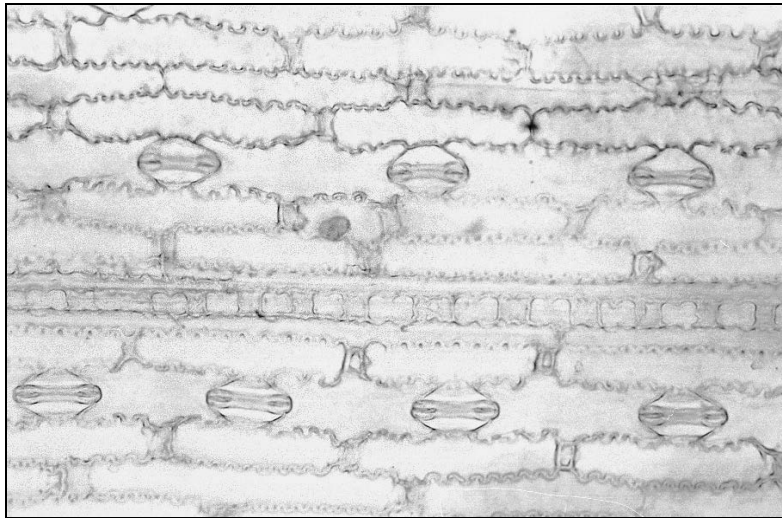


Figura 3.2 Dettaglio di una foglia di graminacea dove sono ben visibili le cellule di guardia dei complessi stomatici ben allineati lungo la foglia.

Con gli stomi aperti l'acqua proveniente dalle radici, una volta raggiunte le foglie, evapora. La pianta quindi regola le aperture a seconda dell'umidità ambientale per limitare tale perdita. La chiusura degli stomi impedisce l'evaporazione ma allo stesso tempo anche lo scambio gassoso tra la foglia e l'ambiente. La pressione dei gas, la loro composizione e la concentrazione interna alle foglie è quindi strettamente collegata all'umidità ambientale. Alcune piante hanno sviluppato adattamenti ai climi aridi che riguardano non solo la morfologia delle foglie ma anche il tipo di metabolismo utilizzato (C4 e CAM). Nello studio degli isotopi stabili si utilizzano soltanto piante con metabolismo C3 poiché discriminano gli isotopi pesanti meglio delle piante C4 e CAM.

I tessuti vegetali di piante con metabolismo C3 contengono proporzionalmente meno ^{13}C rispetto all'aria a causa del frazionamento isotopico. Il valore di $\delta^{13}\text{C}$ attuale dell'aria è circa -8‰ mentre la composizione tipica in una foglia C3 arriva a -29‰ (Farquhar *et al.*, 1989). I valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ dell'atmosfera stanno diventando sempre più negativi (circa 0,02-0,03‰/anno) a causa degli effetti combinati della deforestazione e dell'uso dei combustibili fossili (Keeling *et al.* 1979). Per questo, per confrontare i segnali isotopici misurati nei campioni fossili con i valori delle piante viventi, è necessario eliminare l'effetto della variazione del $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 atmosferica (Farquhar *et al.*, 1980) secondo la relazione:

$$\Delta^{13}C(\text{‰}) = \frac{\delta^{13}C_{aria} - \delta^{13}C_{pianta}}{\left(1 + \frac{\delta^{13}C_{pianta}}{1000}\right)} \quad (5)$$

dove $\delta^{13}C_{pianta}$ rappresenta il valore isotopico misurato per il campione fossile e $\delta^{13}C_{aria}$ rappresenta il valore isotopico della CO_2 atmosferica del corrispondente periodo di tempo. I valori isotopici del $\delta^{13}C_{aria}$ per l'Olocene vengono ricavati dal record ottenuto dalle bolle di gas intrappolate nelle carote di ghiaccio dell'Antartide (Eyer *et al.*, 2004; Francey *et al.*, 1999; Indermühle *et al.*, 1999; Leuenberger *et al.*, 1992).

Nelle piante a fotosintesi C3 la discriminazione degli isotopi del carbonio è dipendente (in maniera lineare) da due fattori: il rapporto delle pressioni parziali di CO_2 atmosferica e della foglia e il processo della carbossilazione (Farquhar *et al.*, 1982; McCarroll & Loader, 2004). Quando l'aria diffonde attraverso gli stomi, le molecole che la compongono sono interessate da una serie di collisioni tra di esse e con le cellule di guardia. A causa della maggiore inerzia le molecole più pesanti risultano rallentate mentre quelle leggere diffondono più velocemente causando il cosiddetto frazionamento da diffusione. Bisogna ricordare che le molecole di anidride carbonica sono composte oltre che da atomi di carbonio anche da ossigeno che a sua volta ha degli isotopi più pesanti. La massa di una molecola di CO_2 può essere perciò molto variabile. La massa di molecole contenenti ^{13}C dipende anche da quali molecole di ossigeno sono legate ad esso, esistono molte combinazioni possibili, ad esempio $^{12}C^{16}O_2$; $^{13}C^{16}O_2$; $^{12}C^{16}O^{18}O$; $^{13}C^{16}O^{18}O$; $^{12}C^{18}O_2$; ecc. La morfologia, il numero e la disposizione degli stomi influenza profondamente la composizione isotopica del gas contenuto nelle foglie soprattutto in funzione del diametro dell'apertura stomatica: tanto più piccoli sono gli stomi e tanto maggiore è il frazionamento. In specie che hanno aperture stomatiche estremamente piccole (<0,1 mm) le collisioni con le cellule di guardia divengono significative nel bilancio finale del frazionamento (Farquhar & Lloyd, 1993).

Il frazionamento da carbossilazione avviene durante la fotosintesi che si compone di una serie di passaggi (e di reazioni chimiche), ognuno dei quali è causa di un rallentamento degli atomi più pesanti a favore di quelli più leggeri. Questo secondo tipo di frazionamento è sicuramente il più ingente. Sulla base del modello sviluppato da Farquhar & Lloyd (1993), è prevista una relazione lineare diretta (Δ) che tiene conto sia della discriminazione durante la diffusione della $CO_2(a)$ che di quella associata alla carbossilazione preminente del ribulosio-1,5-bifosfato (b) (vedi anche Farquhar *et al.*, 1982):

$$\Delta\text{‰} = a \frac{P_a - P_i}{P_a} + b \frac{P_i}{P_a} = a + (b - a) \cdot \frac{P_i}{P_a} \quad (6)$$

dove p_a e p_i sono le pressioni parziali rispettivamente ambientale e intercellulare della CO_2 ,
 a è il discriminante dovuto alla diffusione in aria,
 b è il discriminante dovuto alla carbossilazione.

Dunque il valore di $\Delta^{13}C$ nelle piante C3 dipende dai contributi dei due passaggi, determinati

a loro volta dalla relazione tra conduttanza stomatica e fotosintesi. Quando gli stomi sono aperti (fig. 3.3a) la CO_2 diffonde più facilmente negli spazi intracellulari quindi il valore di p_i si approssima a p_a e di conseguenza a b (circa 30%). La conduttanza stomatica è maggiore del tasso di fotosintesi e c'è una forte discriminazione del ^{13}C , si producono quindi bassi valori di $\delta^{13}\text{C}$. Al contrario, la momentanea chiusura degli stomi riduce la conduttanza stomatica (fig. 3.3b) limitando il flusso di CO_2 e causando un arricchimento di ^{13}C . In questo caso p_i sarà significativamente più basso di p_a e la fotosintesi strettamente limitata dalla conduttanza stomatica. $\Delta^{13}\text{C}$ si avvicina ad a , il valore del discriminante, durante la diffusione di CO_2 nell'aria (circa 4,4‰). Il ^{13}C viene discriminato avendo come risultato valori di $\delta^{13}\text{C}$ più alti. (Ferrio, 2005).

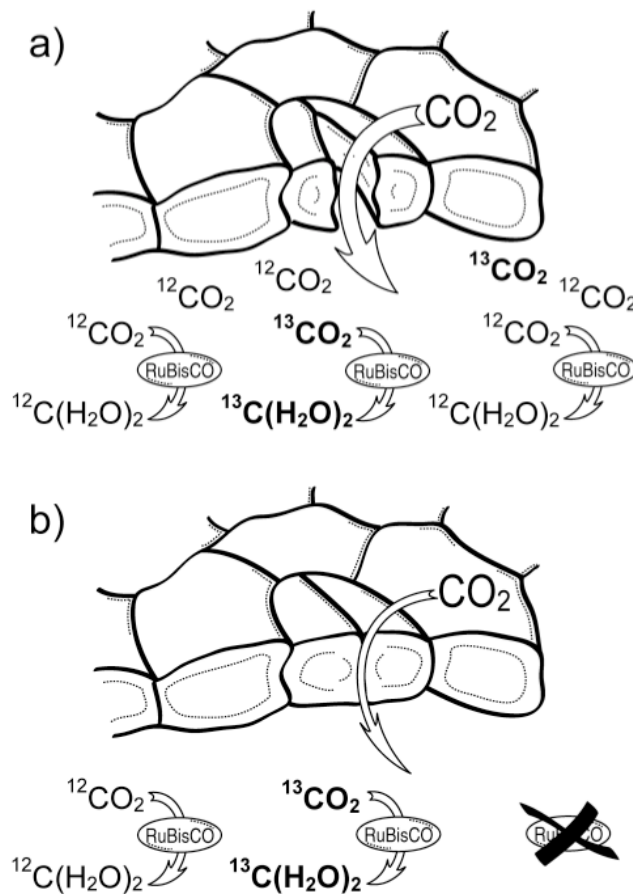


Figura 3.3 Schema semplificato della relazione tra $\Delta^{13}\text{C}$ e conduttanza stomatica. a) Quando la conduttanza stomatica è alta c'è una forte discriminazione: la CO_2 diffonde facilmente tra gli spazi cellulari con una maggiore possibilità di discriminare il ^{13}C . b) Quando la conduttanza stomatica è bassa c'è poca discriminazione: il flusso di CO_2 è ridotto e di conseguenza la fotosintesi è limitata. Da: Ferrio, 2005.

Questa serie di passaggi determina il contenuto isotopico degli zuccheri semplici che si vengono a creare a livello della foglia.

La pianta utilizza questi zuccheri nella produzione delle varie componenti (es. lignina, cellulosa, emicellulose) causando un ulteriore frazionamento di ^{13}C . La cellulosa e la lignina hanno valori di $\delta^{13}\text{C}$ inferiori a quelli che si trovano nelle foglie (McCarroll & Loader, 2004). Il lavoro di Hall *et al.* (2008) ha ben evidenziato come il carbonio-13 è più o meno frazionato a seconda della componente che si analizza, in questo caso cellulosa, lignina e legno intero.

Sulle varie cause che possono far variare il contenuto isotopico si parlerà nel dettaglio nel paragrafo 3.1.3.

3.1.3 Fattori che influenzano il $\delta^{13}\text{C}$

Fattori ambientali

L'intensità della luce

Alcuni studi (Berry *et al.*, 1997; Francey *et al.*, 1985; Vogel, 1978) hanno dimostrato un rapporto positivo tra il gradiente di irraggiamento e il $\delta^{13}\text{C}$ all'interno delle coperture forestali. I risultati però sono abbastanza controversi dal momento che non è affatto semplice distinguere tra gli effetti diretti della luce e quelli causati dalla differenza della concentrazione di CO_2 , la pressione di vapore e il $\delta^{13}\text{C}$ dell'aria.

Più chiara è l'importanza che ha la luce quando è un fattore limitante come hanno dimostrato Broadmeadow *et al.* (1993), Yakir & Israeli (1995), Zimmerman & Ehleringer (1990).

La concentrazione atmosferica di CO_2

Il primo lavoro che ha dimostrato una relazione diretta tra la concentrazione atmosferica di CO_2 e il $\delta^{13}\text{C}$ delle piante è quello di Park & Epstein (1960) che fecero crescere piante di pomodoro a diversi livelli di CO_2 dimostrando che quelle cresciute a livelli più alti avevano un valore di $\delta^{13}\text{C}$ più negativo. Viceversa le piante coltivate in atmosfere con concentrazioni più basse avevano valori di $\delta^{13}\text{C}$ meno negativi. Successivamente una serie di lavori sono giunti allo stesso risultato sperimentando diversi livelli di CO_2 , sia su specie erbacee (Beerling & Woodward, 1995; Polley *et al.*, 1993) che su alberi (Beerling, 1997; Picon *et al.*, 1997). Dal momento che il fattore limitante della fotosintesi è principalmente la presenza di CO_2 è facile comprendere come un suo aumento corrisponda ad un aumento del tasso di fotosintesi. D'altro canto per aumentare la fotosintesi le piante tendono ad ottimizzare l'efficienza idraulica chiudendo gli stomi. I risultati sperimentali indicano che tale riduzione della conduttanza stomatica non limita la fotosintesi, pertanto i valori di $\delta^{13}\text{C}$ diventano più negativi con l'aumentare della concentrazione di CO_2 (Beerling & Woodward, 1995; Polley *et al.*, 1993).

L'acqua

Come già detto, la prima reazione di una pianta alla mancanza d'acqua è quella di chiudere gli stomi causando una riduzione di p_i e un conseguente aumento di $\delta^{13}\text{C}$ (Farquhar *et al.*, 1989). Una serie di studi ha effettivamente dimostrato che le piante cresciute in uno stato di stress idrico (inteso come basso contenuto di acqua nel suolo) hanno prodotto valori maggiori di $\delta^{13}\text{C}$ (Ferrio *et al.*, 2003; Griffiths & Parry, 2002; Mateo *et al.*, 2004; Warren *et al.*, 2001). Bisogna tenere presente però che il quantitativo di acqua che arriva alle foglie dipende molto anche dalle caratteristiche intrinseche della pianta. Il rapporto tra $\delta^{13}\text{C}$ e la disponibilità di acqua non è lineare ma tende alla saturazione con l'aumentare della disponibilità d'acqua (Araus *et al.*, 1997a; Korol *et al.*, 1999; Warren *et al.*, 2001).

L'altitudine

Hultine & Marshall (2000) studiando le conifere sempreverdi delle Montagne Rocciose statunitensi hanno creato un modello generale per spiegare le variazioni del $\delta^{13}\text{C}$ attraverso gradienti altitudinali. Il risultato è una variazione significativa del valore di $\delta^{13}\text{C}$ in funzione dell'altitudine con un valore compreso tra $0,91 \text{‰ km}^{-1}$ e $2,68 \text{‰ km}^{-1}$ a seconda della specie. Tale differenza è in parte dovuta alle variazioni della struttura delle foglie che avvengono in funzione dell'altitudine. La densità stomatica tende a diminuire mentre la massa fogliare per unità di superficie aumenta.

I siti sensibili

Le risposte fisiologiche delle piante alle variazioni ambientali dipendono da una serie di fattori strettamente interconnessi. In ambienti in cui una singola risorsa è fortemente limitata questa è più strettamente collegata con la risposta della pianta. In situazioni limite le risposte fisiologiche, dunque, sono più precise e meglio leggibili, per tale ragione si preferisce scegliere ambienti aridi piuttosto che umidi (McCarroll & Loader, 2004). I siti soggetti a condizioni climatiche critiche vengono definiti siti sensibili.

Differenze intraspecifiche nello studio del $\delta^{13}\text{C}$

Le piante possono avere un'incredibile varietà morfologica e adattativa. Molte delle caratteristiche di una pianta causano una variazione nella fissazione del carbonio. Per questo motivo i valori di $\delta^{13}\text{C}$ devono essere confrontati dove possibile per piante della stessa specie o quantomeno dello stesso genere.

Di seguito si elencano tutti i fattori intrinseci che causano un diverso frazionamento isotopico in *taxa* diversi.

Efficienza idraulica

La fotosintesi avviene tramite l'uso di anidride carbonica proveniente dall'aria e di acqua che viene raccolta dalle radici. Un sistema di trasporto dell'acqua poco efficiente causa un rallentamento della fotosintesi e lascia il tempo alla diffusione dell'aria nelle foglie di sostituire il ^{13}C non assimilato con nuove molecole contenenti ^{12}C . Una buona conduttività idraulica è dovuta principalmente alla specie e al percorso che l'acqua compie all'interno della pianta. La differenza più evidente è tra piante erbacee e arboree ma anche all'interno delle sole piante arboree ci sono caratteristiche diverse. Gli elementi anatomici preposti alla conduzione dell'acqua nelle gimnosperme (conifere) sono le tracheidi, cellule affusolate, collegate l'una all'altra da numerose punteggiature nella parete, che si sviluppano verso l'alto fino alle foglie. Le angiosperme dicotiledoni hanno un insieme di cellule, dette elementi vasali o tracheali, con diametro maggiore rispetto alle tracheidi, perfettamente allineate una sull'altra in senso longitudinale. Quando assumono la funzione di conduzione perdono buona parte della parete cellulare alle loro estremità andando a formare una struttura cava detta vaso o trachea. L'acqua procede molto più velocemente nei vasi piuttosto che nelle tracheidi, dove deve continuamente attraversare le punteggiature delle pareti (Purves *et al.*, 2001). La minore efficienza fa sì che anche la fotosintesi proceda più lentamente e che il ^{13}C abbia il tempo di venire fissato senza essere rimpiazzato da nuovo ^{12}C (Stuiver & Braziunas, 1987; Leavitt &

Newberry, 1992; Warren & Adams, 2000; Leavitt, 2002).

Morfologia della foglia

Le foglie delle diverse specie di piante hanno morfologie molto variabili che possono influenzare la fissazione di carbonio nella pianta. Riguardo agli stomi di cui si è parlato precedentemente, per ogni specie essi hanno una grandezza, morfologia, frequenza e funzionalità caratteristiche. Queste sono spesso così peculiari da essere diagnostiche per il riconoscimento delle piante a cui appartengono. Le foglie in generale si distinguono per forma, grandezza e colore che sono variabili anche all'interno di uno stesso individuo. Le differenze morfologiche delle foglie sono influenzate dall'ambiente in cui si sviluppano e dall'irraggiamento a cui sono sottoposte. Tutte queste variabili possono in qualche modo intervenire nella fissazione del carbonio, la caratteristica principale è lo spessore fogliare. A seconda dell'irraggiamento e dello spessore fogliare la temperatura all'intero delle foglie può variare molto. Più alte sono le temperature e maggiore è l'evaporazione. Lo spessore delle foglie influenza anche la quantità d'aria che può rimanere intrappolata nel mesofillo fogliare.

Profondità delle radici

Si è vista precedentemente l'importanza della conduttività idraulica per i processi della fotosintesi. L'acqua prima di essere trasportata deve essere raccolta, e questo avviene tramite l'apparato radicale. La quantità di acqua raccolta dalla pianta dipende dalle caratteristiche delle sue radici, principalmente dalla morfologia e dalla profondità di penetrazione delle radici nel terreno. Piante con radici poco profonde sono più strettamente influenzate dalle precipitazioni e dall'evaporazione del terreno. Al contrario, piante con radici che penetrano in profondità possono più facilmente raggiungere l'acqua di falda e quindi essere influenzate dalla permanenza di acqua nel terreno. Queste considerazioni sono sempre strettamente collegate alle caratteristiche e alle proprietà geologiche del terreno dove la pianta cresce. Le aree limite, a rischio siccità, sono le zone migliori verso cui rivolgere questo genere di studi dal momento che sono più facilmente soggette a momenti di forte stress idrico ben registrabili nei record isotopici (McCarroll & Loader, 2006; Warren *et al.*, 2001).

Fotosintesi della corteccia

Fino a questo momento si è parlato di fotosintesi riferendosi esclusivamente alle foglie. Bisogna tenere presente però che ogni parte della pianta dotata di pigmenti fotosintetici può effettuare la fotosintesi. È il caso dei rami giovani, ancora verdi, ma anche di cortecce più spesse e delle radici. Tutte queste strutture, qualora raggiunte dalla luce solare, sono interessate da processi di fissazione del carbonio sebbene non siano provviste di stomi per l'accesso dell'aria. In questo caso la fotosintesi viene portata avanti utilizzando il carbonio presente nella pianta (Cernusak, *et al.*, 2001). Questo può essere un elemento di disturbo nello studio isotopico dal momento che il carbonio presente nella pianta ha sicuramente subito processi di frazionamento difficili da stabilire.

Rami giovani

Riguardo allo studio delle specie arboree esistono numerosi lavori che prendono in considerazione la rappresentatività dei rami giovani. La variazione degli anelli in funzione

dell'età è ormai un dato noto (Cook *et al.*, 1995). Esistono varie interpretazioni che cercano di spiegare questo fenomeno, denominato effetto giovanile. Si è ipotizzato che gli esemplari giovani che si trovano più vicini al suolo, al disotto di quelli adulti abbiano a disposizione l'aria respirata da questi ultimi e quindi con un valore di concentrazione di ^{13}C falsato rispetto all'atmosfera (Schleser & Jayasekera, 1985). Questa teoria, sebbene non sia priva di fondamento, non è sufficiente a spiegare tale variazione di $\delta^{13}\text{C}$ dal momento che lo stesso impoverimento è riscontrato in esemplari che vivono in zone dalle coperture arboree sparse o in zone molto ventose dove difficilmente si può parlare di riciclo di aria. Probabilmente è corretto prendere in considerazione questo fattore da associare a quanto detto per la fotosintesi della corteccia, dal momento che con la crescita dello spessore della corteccia la capacità fotosintetica si riduce sempre più.

Allo stesso modo deve essere presa in considerazione l'altezza della pianta.

Altezza della pianta

Questo fattore è legato non solo all'impoverimento di ^{13}C che si riscontra nelle piante giovani ma anche alle differenze intraspecifiche. Il potenziale di acqua nelle foglie infatti decresce con l'altezza della pianta. Diversi studi hanno dimostrato che è possibile mettere in relazione la conduttanza stomatica con l'età e quindi l'altezza della pianta (Ryan & Yoder, 1997; McDowell *et al.*, 2002)

Piante annuali eduli, i cereali e le leguminose

A differenza degli alberi, le piante annuali vivono per un numero limitato di mesi e registrano le condizioni ambientali di un determinato periodo di un solo anno. Nello studio isotopico andrà considerato che le condizioni climatiche registrate riguardano solo la stagione più secca dell'anno, la stagione invernale per quanto connessa a quella estiva, non verrà registrata. Le differenze di $\delta^{13}\text{C}$ tra cereali e leguminose e tra specie e specie può essere spiegata (almeno in parte) in termini di differenze nel modello di crescita. I cereali sono piante a crescita determinata cioè producono tutte le spighe in un unico momento dell'anno e la fase di crescita, nell'area mediterranea, coincide con l'inizio della siccità. I legumi invece sono piante a crescita indeterminata e producono baccelli ininterrottamente per tutto il ciclo colturale (in genere da marzo a giugno). Pertanto, per i legumi, la maggior parte dei semi si possono sviluppare nel momento in cui è disponibile una maggior quantità d'acqua (Ferrio *et al.*, 2005).

Per quanto riguarda la variabilità specifica nei cereali, Ferrio *et al.* (2005) hanno notato che i valori di $\delta^{13}\text{C}$ per il frumento proveniente da siti archeologici sono generalmente inferiori a quelli dell'orzo. Si potrebbe ipotizzare che l'orzo venisse coltivato con una minore disponibilità idrica del frumento ma è un risultato apparente, in realtà l'orzo cresce più velocemente del grano arrivando a maturazione con circa due settimane di anticipo nelle condizioni attuali. L'orzo quindi risente meno dell'arrivo della siccità che nei climi mediterranei aumenta a cavallo dei mesi di maggio e giugno che corrispondono alle ultime settimane del ciclo colturale. Di conseguenza, i chicchi d'orzo in genere mostrano valori più negativi di $\delta^{13}\text{C}$ rispetto al grano.

Un altro fattore importante da considerare riguarda la forte influenza che l'uomo ha sulle piante coltivate. Le piante coltivate vengono seminate arbitrariamente dall'uomo su suoli

selezionati, in genere i più umidi e favorevoli (Hillman, 1996), accudite e, spesso, irrigate (Helbæk, 1960). Non bisogna dimenticare che l'orzo è meno sensibile alla siccità tanto che in molte regioni aride è pratica comune quella di riservare i terreni migliori o più vicini ai corsi d'acqua per il frumento. L'irrigazione e il tipo di suolo possono modificare pesantemente il $\delta^{13}\text{C}$ ma non per questo inficiare il suo studio. Confrontando la concentrazione isotopica delle piante coltivate e selvatiche si possono capire le strategie di gestione dell'acqua. Uno studio che prenda in considerazione diversi *taxa* di piante coltivate come ad esempio cereali e leguminose può dare delle informazioni ancora più di dettaglio, distinguendo la provenienza dell'acqua usata (di irrigazione o precipitazione).

3.1.4 Lo studio isotopico su materiali carbonizzati

I resti botanici si conservano raramente negli scavi archeologici a causa della loro deperibilità. Esistono alcuni casi particolari in cui i materiali vegetali si conservano fino a noi, attraverso la carbonizzazione, il disseccamento (mummificazione) e la sommersione.

Il disseccamento e la sommersione non permettono, in modi diversi, l'attacco da parte di microrganismi (batteri e funghi) responsabili del degrado. Il disseccamento è tipico dei climi molto aridi quali i deserti, di cui uno splendido esempio sono i resti ritrovati negli insediamenti del nord Africa (Mercuri, 2008a; 2008b). La sommersione si verifica in ambienti umidi naturali o artificiali, l'esempio più comune sono le palificazioni, e le strutture lignee in generale, degli insediamenti preistorici che spesso emergono sulle rive dei laghi italiani. Nei sedimenti corrispondenti sono frequenti anche resti di semi e frutti, spesso perfettamente conservati (Jacquat, 1988). La mineralizzazione in contesti archeologici avviene per infiltrazione di sostanze minerali, spesso in ambienti come le latrine (Bandini Mazzanti *et al.*, 2005) o i butti in cui veniva gettata calce per igienizzare.

L'ultima modalità di conservazione che espongo è la conservazione per carbonizzazione. I reperti ritrovati in questa condizione sono molto frequenti, dal momento che il fuoco è sempre stato un compagno prezioso per l'uomo e una presenza indispensabile. È quindi molto frequente trovare tracce d'incendi o di utilizzo del fuoco, più o meno controllati, in ambito archeologico.

Il legno è costituito da una serie di macromolecole come la cellulosa, la lignina e polisaccaridi. I processi da cui si forma e si conserva il carbone sono ben compresi. Durante la combustione queste macromolecole si rompono formando vari prodotti di pirolisi. La perdita di questi composti è guidata dalla loro stabilità chimica e del potere dei legami molecolari. Il risultato di questi processi è un materiale biologicamente e chimicamente inerte e quindi ideale per la conservazione (Cohen-Ofri *et al.*, 2006). Il carbone dunque è definito come il residuo nero ottenuto da qualsiasi materiale di origine vegetale che sia stato modificato, chimicamente e strutturalmente, attraverso il riscaldamento dovuto a fuoco (Forbes *et al.*, 2006). Esso si genera, in atmosfere a basso contenuto di ossigeno, in pochi minuti ad alte temperature (ad esempio $>400^\circ\text{C}$) oppure in alcune ore a temperature basse (ad esempio $<190^\circ\text{C}$) (Poole *et al.*, 2002). Il componente principale del carbone è la grafite, sia cristallina che amorfa, uno dei materiali più stabili esistenti in natura (Cohen-Ofri *et al.*, 2006). La quantità di composti che volatilizzano e la loro composizione dipende molto dalle condizioni in cui è avvenuta la combustione.

Dopo la formazione del carbone, i fenomeni di degrado si riducono drasticamente e quelli ancora presenti, principalmente dovuti all'elevata resistenza alle sostanze chimiche ossidanti (Skjemstad *et al.*, 1996; Bird & Gröcke, 1997), sono estremamente lenti (Cohen-Ofri *et al.*, 2006; Forbes *et al.*, 2006).

In atmosfere poco controllate come possono essere i contesti provenienti da uno scavo archeologico (es. focolari) i processi di carbonizzazione non sono uniformi e i carboni presentano caratteristiche varie, anche considerando la specie di provenienza (Cohen-Ofri *et al.*, 2006). In generale le strutture anatomiche del legno si conservano anche nella forma carbonizzata, mantenendo i caratteri diagnostici necessari al riconoscimento della specie di appartenenza (Bandini Mazzanti *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 1997).

Il carbone di origine naturale e di origine antropica è una rappresentazione diretta dei valori isotopici dei tessuti di legno e quindi una registrazione dei segnali ambientali e climatici (ad esempio Aguilera *et al.*, 2008; 2009; Araus *et al.*, 1997b; Ferrio 2005; Ferrio *et al.*, 2003; 2005; Fiorentino *et al.*, 2008; Hall *et al.*, 2008; Riehl 2008; Riehl *et al.*, 2008; Skjemstad *et al.*, 1996; Tieszen 1991; Van Bergen & Poole, 2002; Voltas *et al.*, 2008)

In letteratura si trovano molti lavori che cercano di capire gli effetti della combustione sulla composizione isotopica per le piante C3, con risultati spesso contrastanti. Turekian *et al.* (1998) hanno dimostrato che i valori di $\delta^{13}\text{C}$ tra il materiale di origine e quello combusto presentano solo piccole differenze. Questi dati sono stati confermati anche dal lavoro di Steinbeiss *et al.* (2006) che, inoltre hanno dimostrato che le differenze tra la composizione isotopica di cellulosa e lignina non sono significative. Ballentine *et al.* (1998) hanno registrato un arricchimento nel carbonizzato rispetto al materiale incombusto. Bird & Gröcke (1997) hanno riscontrato valori $\delta^{13}\text{C}$ più negativi nei campioni di foglie bruciate rispetto al materiale fresco.

Hall *et al.* (2008) hanno dimostrato chiaramente che intercorrono alcune variazioni nella composizione isotopica dei campioni e che queste sono proporzionali alle temperature di riscaldamento. Essi hanno effettuato analisi di $\delta^{13}\text{C}$ anelli di accrescimento di rami di *Podocarpus latifolius* prima sul legno tal quale e successivamente su carboni ottenuti in atmosfere diverse, sia ossidanti che riducenti. Come è possibile vedere in figura 3.4 i valori di $\delta^{13}\text{C}$ del materiale carbonizzato sono più negativi rispetto a quello del materiale tal quale. Il valore $\delta^{13}\text{C}$ per i carboni ottenuti in atmosfera riducente sono in media -1,4‰ più negativi del fresco, quelli ottenuti in atmosfera riducente -1,2‰ in media.

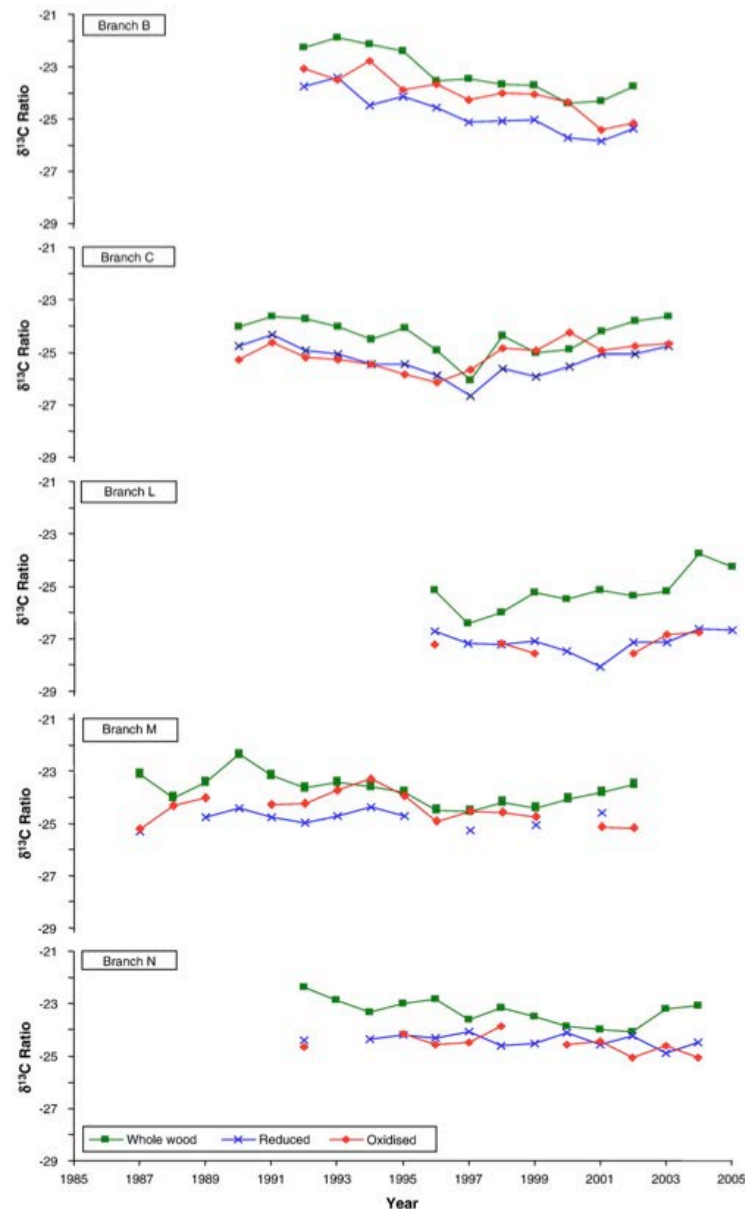


Figura 3.4 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ di anelli di accrescimento di cinque rami di *Podocarpus latifolius*. Vengono mostrati i valori per il legno tal quale e carbonizzato in atmosfere riducenti e ossidanti. Da: Hall *et al.*, 2008.

De Niro & Hastorf (1985) erano giunti a un risultato simile confrontando piante moderne e archeologiche e verificando che gli esemplari archeologici carbonizzati di *Pisum sativum* L., presentavano valori isotopici impoveriti rispetto a quelli del materiale non carbonizzato.

Turney *et al.* (2006) hanno studiato campioni di legno di *Eucalyptus* spp., *Quercus robur* e *Pinus radiata* dimostrando che la combustione non lascia traccia sulla composizione isotopica finale del carbone fino a 30 minuti di combustione, dopo dei quali tutti i *taxa* vedono una progressiva diminuzione di $\delta^{13}\text{C}$ in concomitanza con l'aumento di temperatura.

Hall *et al.* (2008) nel loro interessante lavoro prendono in considerazione anche la variabile della temperatura e come essa influisca sulla creazione di composti volatili che si formano durante la combustione e che hanno un loro proprio valore di $\delta^{13}\text{C}$. Come si vede in figura 3.5 è stato calcolato il valore di $\delta^{13}\text{C}$ per un campione di legno di *Podocarpus latifolius* riscaldato

per incrementi di temperatura di 5-10° C. Si vede come i valori di $\delta^{13}\text{C}$ per la componente volatile siano molto variabili ma come, al contrario, i valori del legno carbonizzato si mantengano più o meno uguali fino a circa 650° C. A temperature maggiori il carbonio residuo mostra valori sempre più negativi.

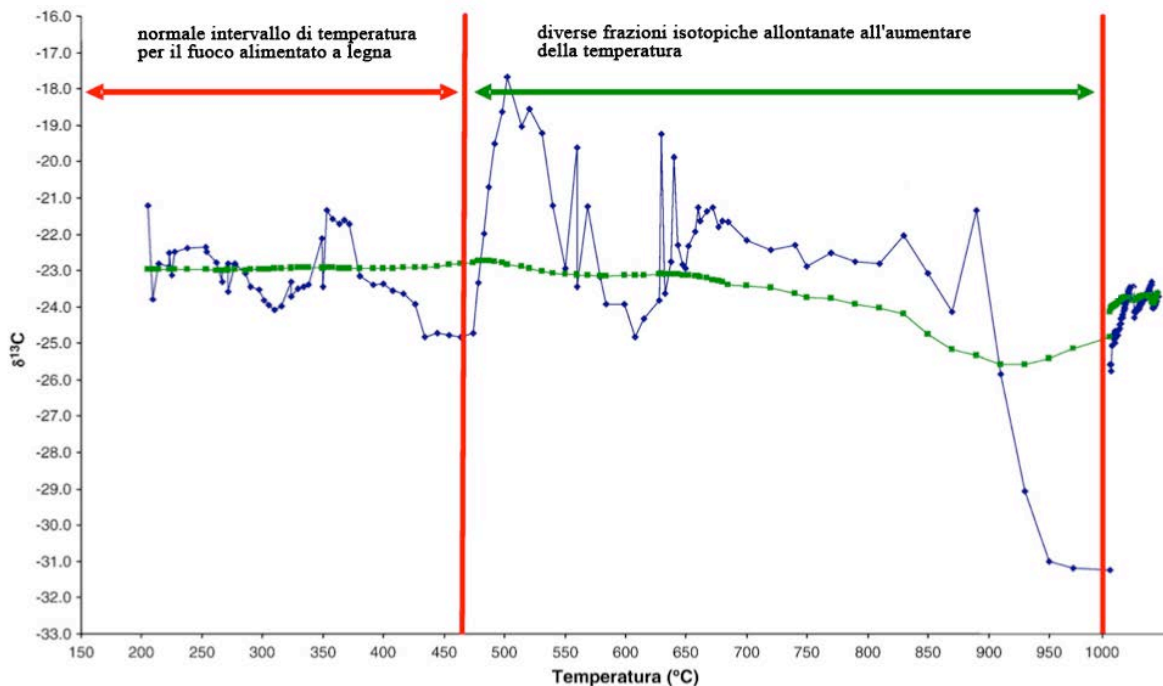


Figura 3.5 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ di un campione fresco di *Podocarpus latifolius* per cicli di riscaldamento successivi in condizioni riducenti. In blu sono presentati i valori per della frazione volatile che si produce fino a 1000° C. In verde sono presentati i valori di $\delta^{13}\text{C}$ della frazione di carbonio residuo. Lan frazione volatile rappresenta una parte relativamente piccola del contenuto di carbonio totale fino a 650° C. Da: Hall *et al.*, 2008, modificata.

L'ultimo aspetto da prendere in considerazione riguarda la diagenesi dei carboni. Dal momento della creazione a quando vengono rinvenuti i resti archeologici infatti possono trascorrere anche migliaia di anni. Cohen-Ofri *et al.* (2006) hanno dimostrato come la struttura di campioni archeologici di legni carbonizzati presenta la stessa struttura di carboni moderni di confronto, con la sola differenza che, con il passare del tempo, la proporzione tra la grafite cristallina e quella amorfa varia con un aumento delle fasi non cristalline.

3.1.5 La spettrometria di massa per lo studio isotopico

Lo strumento di gran lunga più utilizzato nell'analisi isotopica è lo spettrometro di massa. Il principio su cui si basa afferma che è possibile separare gli atomi e le molecole sulla base della loro massa attraverso l'uso di campi magnetici e/o elettrici. Esistono molti tipi di spettrometri, in questa sede si illustreranno brevemente solo i principi di funzionamento.

In generale ogni spettrometro è suddiviso in quattro elementi fondamentali come è possibile vedere in figura 3.6.

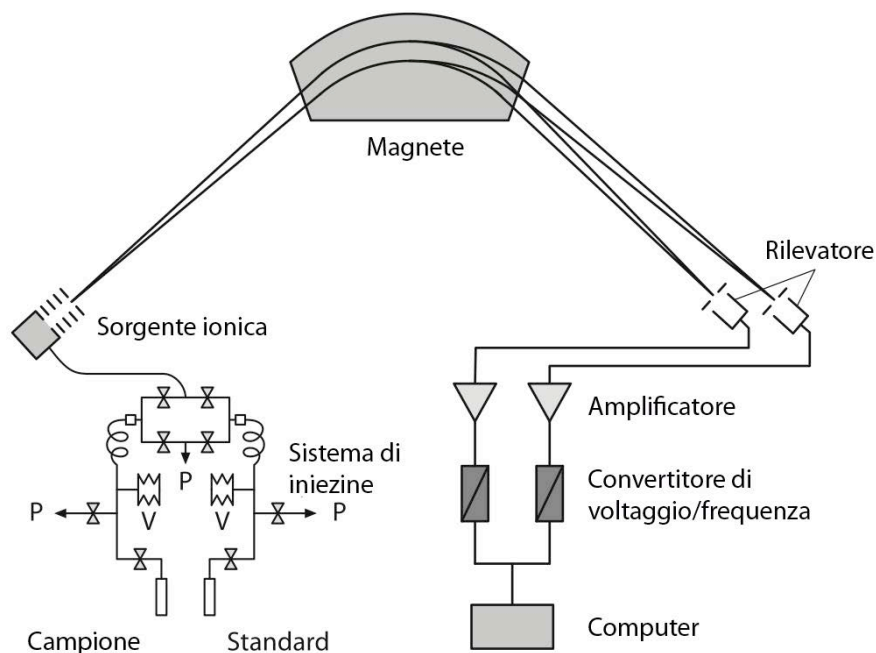


Figura 3.6 Rappresentazione schematica di uno spettrometro di massa per analisi isotopica. P indica il sistema di pompaggio mentre V i volumi variabili. Da: Hoefs, 2009, modificata.

1) Il sistema aspirante immette nella macchina a pochi secondi di distanza il campione e lo standard. Solitamente lo strumento è collegato in uscita a una colonna cromatografica, attraverso la quale il campione entra nello strumento direttamente in fase gassosa. 2) La sorgente di ioni è composta da un filamento di tungsteno che, sottoposto ad una differenza di potenziale, genera ioni accelerati. Il fascio successivamente viene accelerato da un potenziale elettrostatico ed entra nella camera di ionizzazione. Le molecole, una volta ionizzate dal fascio di elettroni, vengono accelerate fino a diversi kV e, sotto forma di fascio, passano attraverso una fenditura nell'analizzatore. In questo modo gli ioni positivi che entrano nel campo magnetico sono essenzialmente monoenergetici. La loro energia cinetica è data dalla formula (Hoefs, 2009):

$$\frac{1}{2}Mv^2 = eV \quad (7)$$

A questo punto un 3) analizzatore di massa separa i fasci di ioni secondo il loro rapporto m/e (massa/carica). Durante il percorso compiuto nel campo magnetico gli ioni vengono deviati secondo curve i cui raggi sono proporzionali alla radice quadrata di m/e . Gli ioni dunque vengono separati in fasci ognuno caratterizzato da un dato valore di m/e . Dopo aver attraversato il campo magnetico i fasci separati degli ioni vengono raccolti in un 4) rivelatore di ioni. Il rivelatore trasforma i segnali in impulsi elettrici che vengono inviati ad un amplificatore (Hoefs, 2009).

Come già accennato, i più moderni spettrometri di massa sono abbinati a cromatografi che hanno permesso non solo di velocizzare le analisi ma anche di ridurre drasticamente il quantitativo di materiale necessario.

3.2 Selezione dei materiali e procedure di analisi

3.2.1 Procedura di selezione dei materiali

Materiali archeologici

La selezione dei materiali in questo tipo di studio è un passaggio fondamentale per ottenere dati rappresentativi. Per questo motivo si è data grande importanza alla scelta dei campioni. I materiali provengono tutti da campioni archeobotanici pertinenti a contesti archeologici chiari, ben datati e sicuramente sigillati dagli strati successivi. Parte dei materiali da me utilizzati per le analisi isotopiche erano già stati analizzati presso il Laboratorio di Archeobotanica e Palinologia nel corso di questo trentennio, altri invece sono stati accuratamente selezionati dai campioni ancora in corso di analisi o da analizzare *in toto* e identificati per questo lavoro.

Sono stati selezionati i *taxa* più frequenti, presenti in tutti i periodi o quanto meno nel maggior numero possibile. Per quanto riguarda i legni, sono stati scelti campioni appartenenti ai generi *Quercus* e *Juniperus* per una serie di motivi. Prima di tutto si è scelto di analizzare un'angiosperma e una gimnosperma dal momento che la loro risposta alle variazioni ambientali è differente. Tra le angiosperme utilizzabili le specie ripariali sono state escluse perché la loro crescita è strettamente legata alla presenza di acqua di falda mentre la quercia caducifoglia, non solo è ben rappresentata fra i carboni, ma numerose specie di questo gruppo crescono ancora oggi in prossimità del *tell*. È inoltre il *taxon* arboreo più abbondante e disponibile nel periodo, per quanto risulta dalle serie polliniche della regione. Tra le gimnosperme presenti, pino e ginepro, si è deciso di selezionare il secondo, dal momento che molti dei reperti di pino provengono da elementi strutturali. Nella selezione delle cariossidi esistono pochi dubbi riguardo la scelta di *Hordeum vulgare*, sempre presente e abbondante. Per il genere *Triticum* la decisione è caduta su *T. dicoccon* poiché è relativamente abbondante e soprattutto poiché è presente in tutti i periodi in esame.

Ogni campione antracologico raccolto sullo scavo è solitamente composto da un certo numero di frammenti, in molti casi non è possibile stabilire se sono appartenuti alla stessa pianta o a esemplari diversi. Con il termine campione si intende perciò un insieme di frammenti raccolti seguendo l'interpretazione archeologica. Nella maggior parte dei casi i contesti sono stati sigillati da crolli delle strutture in seguito a incendi che hanno distrutto non solo i singoli ambienti, ma anche gli interi insediamenti. Questa carbonizzazione ha permesso la conservazione dei materiali vegetali. Tra di essi, per quanto riguarda i legni, si possono essere conservate le strutture delle abitazioni stesse, sotto forma ad esempio di pali che costituivano i muri o travi di sostegno dei tetti, ma anche porte, finestre, utensili o legna utilizzata come combustibile. L'interpretazione archeologica è spesso in grado di riconoscere la funzione d'uso originaria degli oggetti ormai ridotti a frammenti.

Sempre a riguardo dei materiali lignei, all'interno di ogni contesto sono stati selezionati i campioni ritrovati su pavimento, cercando di escludere, dove possibile, quelli appartenenti

alle strutture, dal momento che esse possono risalire a un tempo anteriore anche di alcuni secoli rispetto al momento dell'incendio e dell'abbandono. Considerato infatti il periodo di uso delle strutture e il periodo di crescita della pianta (le travi più grandi provengono da piante che hanno vissuto molte decine di anni) i valori isotopici ottenuti da questi campioni sarebbero spostati indietro nel tempo per un periodo difficilmente quantificabile. Quando non riferibili alle strutture, i campioni provengono con ogni probabilità da materiale d'uso il cui periodo di vita è prossimo al momento dell'incendio.

Per il periodo VI A i campioni provengono da diversi contesti. Alcuni campioni di ginepro provengono da elementi strutturali ben datati, sono travi rinvenute nell'ambiente denominato A800, una delle due piccole stanze laterali di accesso al tempio B. Su queste travi sono state effettuate sia analisi radiocarbonio che dendrocronologiche (3374 ± 30 a.C.) che hanno chiaramente indicato come il legno preceda di molto il momento di abbandono del sito (Kuniholm, 1996; Sadori *et al.*, 2008; Alvaro *et al.*, 2010). Altri campioni di ginepro provengono dalla soglia di ingresso al tempio, denominata A805.

Molti campioni, sia di quercia caducifolia che di ginepro, provengono dalle stanze dell'edificio III detto delle armi (A112, A113, A127) che, secondo le fasi costruttive, è una delle zone più antiche del palazzo. Il maggior numero di campioni di entrambi i *taxa* proviene dai magazzini adiacenti al tempio (edificio IV: A364, A367, A365 e A340) che, sempre secondo un punto di vista strutturale, sono successivi a quelli menzionati precedentemente. Sono stati selezionati frammenti di querce anche dal tempio A (A77), l'ambiente costruttivamente più recente, e dalla parte scoperta del corridoio di accesso all'area palaziale (A209), da cui provengono anche alcune cariossidi. Infine tre soli campioni di orzo sono stati selezionati dall'ambiente A51 (B. D'Anna, comunicazione personale).

Per il periodo VI B1 la selezione dei materiali non è stata semplice dal momento che si hanno pochi resti archeobotanici. Non è stato possibile selezionare campioni di ginepro poiché è assente per questo periodo. Per i campioni di quercia si hanno materiali da A518, A792, A771, da cui provengono anche i campioni di farro, e A772, da cui provengono i campioni di orzo. Gli ambienti dovrebbero appartenere tutti alla stessa fase archeologica, i campioni sono stati ritrovati all'interno delle buche lasciate dai pali delle palizzate o da resti su pavimento. La maggior parte di essi proviene dall'ambiente A518 da cui sono state campionati materiali di entrambe le possibili provenienze (G. Palumbi, comunicazione personale).

Il periodo VI B2 è ricco di materiali archeobotanici, quindi è stato possibile selezionare campioni da molti ambienti differenti. Secondo l'interpretazione archeologica gli ambienti A109, A153, A166, A170, A175, A200, A313, A342, A472, A645, sono tutti contemporanei. Da essi sono stati prelevati campioni di quercia caducifolia. Anche A738, da cui proviene il ginepro, è contemporaneo agli altri. Qualche dubbio non è stato ancora risolto a riguardo di A1144 e A1187 che potrebbero essere un po' più antichi, ma che comunque sono perfettamente pertinenti da un punto di vista archeologico. Infine bisogna considerare che A308, da cui sono stati presi alcuni campioni di quercia, è invece più tardo, si tratta infatti di un'area aperta con buche di palo che copre il crollo degli ambienti del villaggio. Il materiale carpologico proviene tutto dall'ambiente A736 (P. Piccione, comunicazione personale).

Per il periodo VI C tutti i materiali archeobotanici (sia antracologici che carpologici) provengono da A607, una stanza ricca di materiale vegetale che è stata distrutta da un violento incendio (Sadori *et al.*, 2006b). È stato possibile analizzare un solo campione di quercia proveniente da un altro ambiente (A631).

Per l'ultimo periodo, il VI D, sono stati campionati una serie di ambienti per le analisi sul legno di quercia, ma non è stato possibile analizzare campioni di ginepro. Gli ambienti studiati provengono per la maggior parte dalla fase chiamata VI D2 (A158, A406, A417, A491, A502, A516, A548, K702 E K684). Da A516, un'area esterna senza copertura, proviene anche il materiale carpologico. Esistono poi dei campioni che provengono da una fase intermedia (A818, periodo VI D2/3) e da quella successiva (A544, periodo VI D3) (F. Balossi Restelli, comunicazione personale).

Materiali di riferimento

I campioni di riferimento sono stati raccolti durante una ricognizione nei dintorni del *tell* avvenuta nell'agosto del 2008. L'obiettivo era la raccolta di campioni di quercia caducifoglia (fig. 3.7) e ginepro (fig. 3.8) da poter confrontare con i campioni archeologici.



Figura 3.7 Esempio di quercia caducifoglia, dettaglio di foglie e ghiande nei dintorni di Arslantepe. Foto: M. Giardini.



Figura 3.8 Esempio di ginepro (a sinistra) e dettaglio di foglie e bacche (a destra) nei dintorni di Arslantepe. Foto: M. Giardini.

La raccolta non è stata semplice, nei dintorni di Arslantepe ogni area con disponibilità di acqua è sfruttata dalla popolazione locale mentre le aride colline sono coperte solo da sporadici arbusti (fig. 3.9).



Figura 3.9 Due immagini di come si presenta il paesaggio delle colline nei dintorni di Arslantepe. Foto: M. Giardini.

I campioni sono stati raccolti da cinque diverse stazioni visibili in figura 3.10 e i cui dettagli sono elencati in tabella 3.2.

La stazione 1 si trova a circa 22 km in direzione sud-ovest rispetto al sito. Sono stati raccolti rami e foglie appartenenti a due esemplari di quercia caducifoglia esposti su un versante NE ad una quota di circa 1100 m s.l.m. Nell'area erano presenti anche *Prunus* sp., *Ficus* sp., *Fraxinus* sp., *Teucrium* cfr. *polium*, *Aegilops* cfr. *geniculata*, *Hordeum* sp., diverse specie di *Centaurea*, *Osyris alba*, *Stachys* sp., molte altre graminacee (M. Giardini, comunicazione personale).

La stazione 2 si trova a 41 Km dal sito archeologico ad una quota di circa 1350 m s.l.m. e con un'esposizione nord-est. Anche da questo luogo sono stati raccolti rami e foglie di un esemplare di quercia caducifoglia dal momento che non era presente nessun esemplare di ginepro. Erano visibili però esemplari di *Crataegus* cfr. *monogyna*, *Crataegus* sp., qualche raro esemplare di *Pyrus* sp., *Rosa* sp., *Bromus* sp. (M. Giardini, comunicazione personale).

La stazione 3 è la più distante, si trova a 61 km ad ovest di Arslantepe ed è anche la più alta in quota (1750 m s.l.m). Il punto di raccolta degli esemplari è esposto a ovest. In questa stazione è stato finalmente possibile campionare un esemplare di ginepro (*Juniperus* cfr. *phoenicea*) insieme a due esemplari di quercia caducifolia. Nell'area sono stati riconosciuti solo alcuni esemplari di *Triticum* sp., *Aegilops* sp., *Teucrium* cfr. *polium* (M. Gardini, comunicazione personale).

La quarta stazione si trova a circa 1500 m s.l.m. e a circa 17 km dalla collina, in questo caso sono stati campionati rami e foglie di due esemplari di ginepro e due di quercia.

La stazione 5 è distante 41 km e si trova a circa 1200 m s.l.m. Il versante di esposizione delle piante raccolte è nord-ovest e anche in questa stazione sono stati raccolti campioni di quercia (2 esemplari) e un esemplare di ginepro.

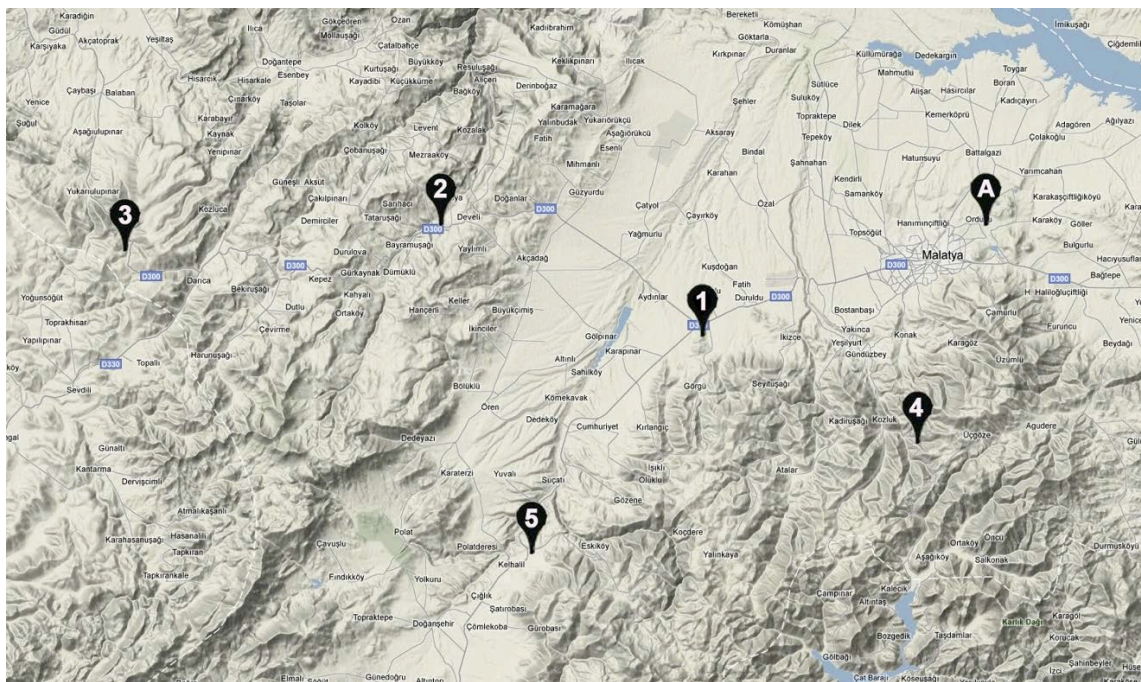


Figura 3.10 Mappa della collocazione delle stazioni di raccolta dei campioni moderni (numeri da 1 a 5) rispetto al sito di Arslantepe (lettera A). Da: maps.google.com, modificata.

Stazione	Altitudine (m)	Distanza da Arslantepe (km)	Versante di esposizione	Genere
1	1100	22	nord/est	<i>Quercus</i> gr. caducifoglie
2	1350	41	nord/est	<i>Quercus</i> gr. caducifoglie
3	1750	64	ovest	<i>Quercus</i> gr. cad.; <i>Juniperus</i> sp.
4	1500	17	ovest	<i>Quercus</i> gr. cad.; <i>Juniperus</i> sp.
5	1200	42	nord/ovest	<i>Quercus</i> gr. cad.; <i>Juniperus</i> sp.

Tabella 3.2 Dati di altitudine, distanza dal sito di Arslantepe, versante di esposizione e *taxa* raccolti per ogni stazione.

3.2.3 Procedura di analisi

Analisi antracologica

I campioni di legno carbonizzato provenienti da Arslantepe sono piuttosto ben conservati, generalmente in forma di piccoli frammenti (pochi cm³). Non sono stati trovati campioni vetrificati, le uniche cause di mancata determinazione sono l'eccessiva compressione o l'eventuale dimensione ridotta, caratteristiche che hanno reso impossibile l'individuazione di caratteri diagnostici. Il riconoscimento di un legno si ferma perlopiù a livello di genere, talvolta a livello di gruppo come nel caso delle querce o dei pini. L'analisi dei campioni avviene per confronto morfologico di superfici diagnostiche. Le superfici diagnostiche sono raramente visibili nel campione così come viene rinvenuto dallo scavo, principalmente a causa della terra e di altri inclusi che lo ricoprono. Una volta identificata la posizione delle superfici diagnostiche al microscopio ottico a luce riflessa, il campione viene fratturato lungo di esse per ottenere superfici fresche e ben visibili. L'osservazione e l'identificazione avviene a ingrandimenti maggiori di quelli dello stereo microscopio ed è effettuata tramite un microscopio a contrasto interferenziale di fase secondo Nomarski che ha il pregio di avere una buona profondità di campo anche ad alti ingrandimenti. L'analisi può essere effettuata anche con un microscopio elettronico a scansione (SEM) che ha lo svantaggio di rendere le procedure molto più lente a causa delle caratteristiche dello strumento, ma che può ottenere ingrandimenti maggiori e fotografie migliori rispetto al microscopio Nomarski. L'ingrandimento che si utilizza nell'analisi di routine al microscopio a contrasto di fase interferenziale dipende molto dal tipo di legno e dal carattere che si desidera identificare, solitamente si va da 50x fino a 400x. Il confronto si effettua con atlanti di riferimento (Fahn *et al.*, 1986; Greguss, 1955; 1959; Schweingruber, 1978; 1990).

Caratteristiche microscopiche di *Quercus* gruppo caducifoglie

Il legno di quercia caducifolia si caratterizza in sezione trasversale per la presenza della cerchia porosa, costituita da una o più file, più o meno compatte, di cellule conduttrici disposte all'inizio dell'anello. La disposizione dei vasi tardivi e la loro dimensione rispetto a quelli della cerchia porosa è un carattere diagnostico per la discriminazione tra le querce a foglie caduche e quelle semi-decidue. Nel caso di materiali carbonizzati e di campioni di piccole dimensioni tale discriminazione non è sempre possibile. All'interno dei vasi sono spesso presenti le tille, indicanti la presenza di parenchima paratracheale. Il parenchima apotracheale è diffuso o in bande uniseriate, diagonali o tangenziali. Sono presenti raggi pluriseriati, talmente grandi da essere ben visibili anche a occhio nudo.

In sezione radiale si osservano trachee con perforazioni semplici, raggi omogenei con cellule procombenti (nei raggi multi serciati), e talvolta quadrate in quelli uniseriati.

La sezione tangenziale mostra i raggi uniseriati e multi serciati, che possono raggiungere l'ampiezza di 1 mm (fino a 30 cellule) e altezze di diversi mm (fig. 3.11; Greguss, 1959; Schweingruber, 1978; 1990; Cambini, 1967a; 1967b).

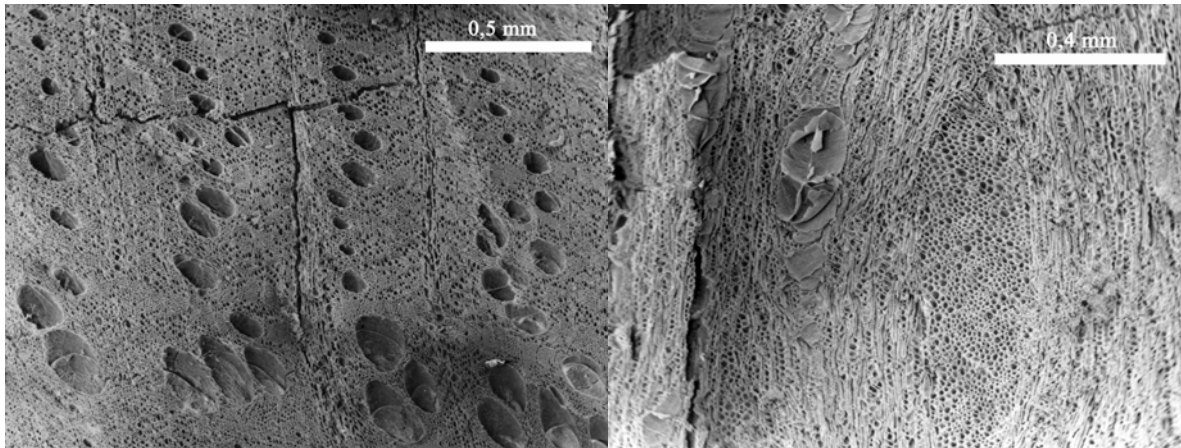


Figura 3.11 Immagini al microscopio elettronico a scansione (SEM) di legno carbonizzato di *Quercus* gr. caducifoglie proveniente da Arslantepe. Sono visibili i caratteri diagnostici utilizzati per l'identificazione. A sinistra superficie trasversale, a destra superficie tangenziale.

Caratteristiche microscopiche del genere *Juniperus*

Il ginepro presenta legno omoxilo caratterizzato, in sezione trasversale, da anelli ben distinti dove il passaggio tra la zona primaticcia e quella tardiva è graduale. Solitamente la zona primaticcia è più ridotta di quella tardiva. Il ginepro non ha canali resiniferi. In sezione radiale le punteggiature delle tracheidi sono uniseriate. I raggi appaiono sottili, con cellule a pareti lisce, qualche volta ondulate.

In visione tangenziale l'altezza dei raggi uniseriati varia da 2 a 5 cellule, solo raramente sono più lunghi fino ad un massimo di 20 cellule (fig. 3.12; Greguss, 1955; Schweingruber, 1978; 1990).

In sezione radiale si evidenzia la presenza di punteggiature, generalmente cupressoidi nei campi d'incrocio e l'assenza di tracheidi del raggio.

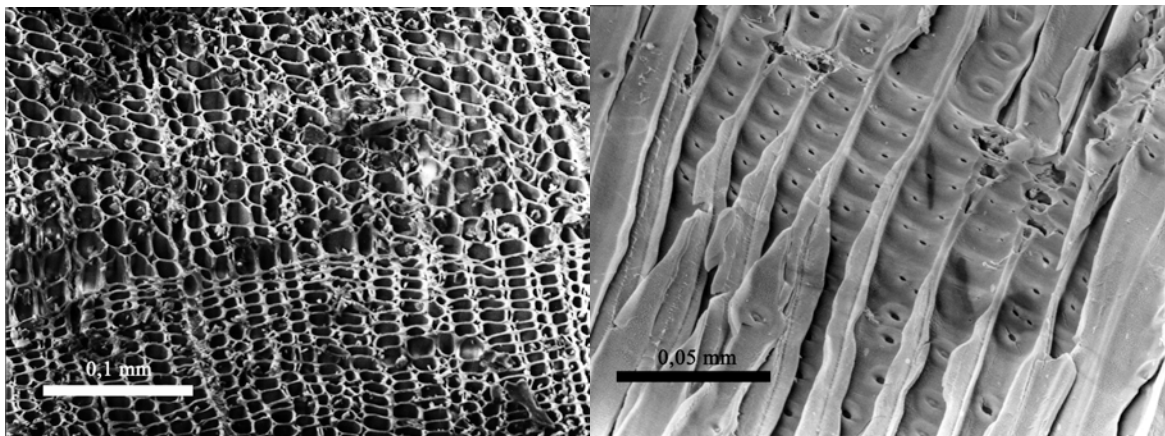


Figura 3.12 Immagini al microscopio elettronico a scansione (SEM) di legno carbonizzato di *Juniperus* sp. proveniente da Arslantepe. Sono visibili i caratteri diagnostici utilizzati per l'identificazione. A sinistra superficie trasversale, a destra superficie radiale.

Analisi carpologica

I campioni di semi e frutti sono ben conservati, si ritrovano interi o grossolanamente frammentati. Il protocollo prevede che vengano raccolti in maniera estensiva e setacciati a secco, dal momento che in acqua i campioni si dissolvono.

L'identificazione di campioni carpologici è solitamente a livello di specie e avviene attraverso un'accurata osservazione del materiale e una divisione in tipi morfologici.

Le cariossidi, frutti dei cereali, vengono suddivise, a seconda delle caratteristiche morfologiche osservate in posizione dorso-ventrale, laterale e apicale. L'osservazione avviene ad occhio nudo o tramite una lente e, solo nei casi più dubbi, attraverso uno stereomicroscopio. Le cariossidi integre possono essere riconosciute fino al livello di specie e sono successivamente contate. I campioni frammentati vengono esaminati separatamente e, dove è possibile determinati fino al livello di specie. I frammenti vengono quindi pesati per stimarne la quantità numeriche. Il riconoscimento avviene tramite confronto con atlanti di riferimento (Anderberg, 1994; Berggren, 1969; Flood, 1986; Jacomet, 1987).

Un sotto-campione dei materiali meglio conservati è sottoposto a misurazione. Solitamente si misurano un minimo di 50 cariossidi di cui si registrano le tre misure diagnostiche, la lunghezza, la larghezza e lo spessore, attraverso una lente graduata posta nello stereomicroscopio. Le cariossidi migliori per conservazione e morfologia vengono infine fotografate secondo le posizioni diagnostiche.

Caratteristiche morfologiche di *Hordeum vulgare* L.

Hordeum vulgare, comunemente detto orzo, è una pianta della famiglia Poaceae. La pianta è una erbacea annuale composta da un culmo cilindrico con foglie alternate. L'inflorescenza è una spiga con rachide breve e a zig zag. A ogni nodo sono presenti tre fiori che possono essere tutti fertili, (varietà esastica), oppure uno fertile tra due sterili (orzo distico).

La cariosside in visione dorsale e ventrale è a forma di fuso, più o meno appuntita o assottigliata alle estremità. In visione laterale è nuovamente fusiforme ma relativamente piatta. Il punto di massima ampiezza si colloca più o meno nel mezzo. Alcune differenze si riscontrano tra l'orzo vestito e quello nudo, nel primo caso le glume rimangono ben adese alla cariosside, nel secondo invece si tolgono con facilità. Tutto l'orzo ritrovato nel sito di Arslantepe è vestito (fig. 3.13).

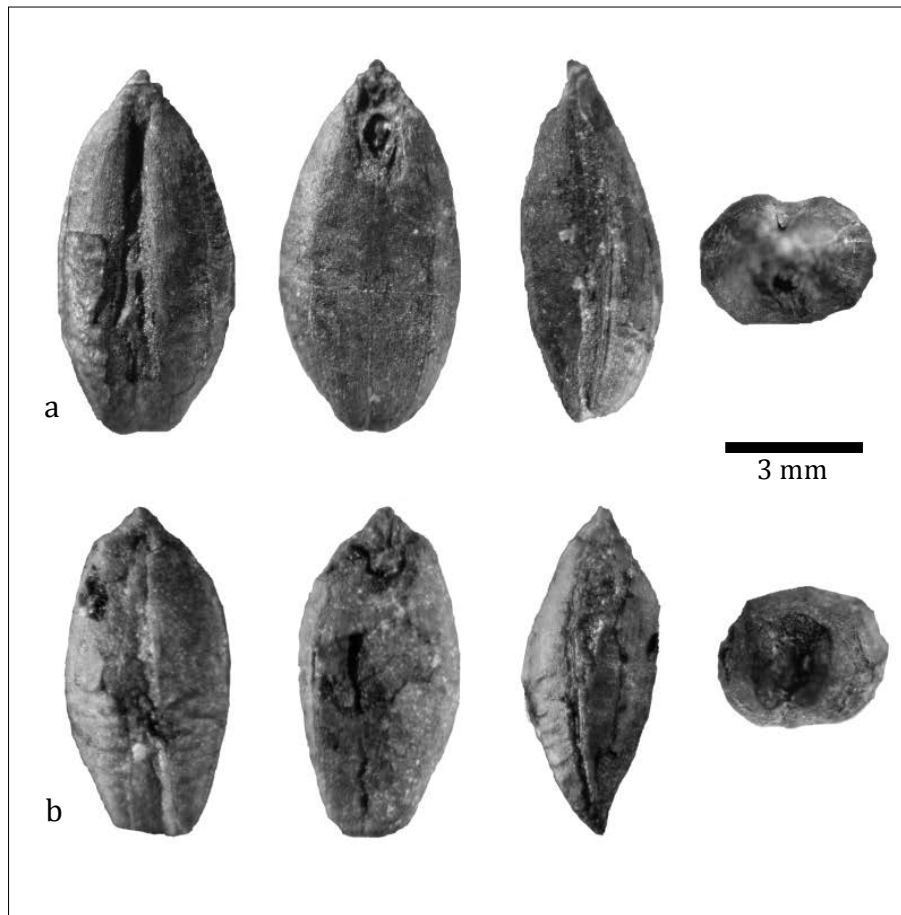


Figura 3.13 Cariossidi di *Hordeum vulgare* vestito proveniente da Arslantepe in posizione ventrale, dorsale, laterale e vista dall'alto. a) periodo VI B2; b) periodo VI C. Foto allo stereomicroscopio. Da: Susanna, 2007.

Caratteristiche morfologiche di *Triticum dicoccon* Schrank

Il genere *Triticum* presenta una grande varietà di specie, molte delle quali eduli. Ad esso appartengono infatti vari tipi di farro e il grano tenero e duro. Con il nome di farro in italiano si intendono sia il *T. monococcon*, meglio detto farro piccolo o farricello, il *T. dicoccon*, detto farro medio e il *T. spelta* o farro grande. Sebbene appartengano allo stesso genere, le cariossidi delle diverse specie hanno caratteristiche morfologiche che ben le distinguono. Le cariossidi di *T. dicoccon* hanno l'estremità piuttosto appuntita in alcuni casi, ma frequentemente appare anche molto arrotondata. La zona embrionale invece è appuntita. In visione laterale il profilo dorsale appare curvo, a schiena d'asino, con il punto più alto spostato verso la zona embrionale che è spesso poco simmetrica. Il profilo ventrale è invece ben dritto o, in alternativa, leggermente concavo. Se si osserva la sezione trasversale, il solco ventrale è stretto e profondo e il perimetro può essere arrotondato o piuttosto spigoloso. Questo fa assumere alla cariosside una forma triangolare. Le cariossidi si presentano sempre nude, solo raramente si può trovare qualche traccia delle glume (fig. 3.12).



Figura 3. 14 Cariossidi di *Triticum dicoccon* proveniente da Arslantepe in posizione ventrale, dorsale, laterale e vista dall'alto. Foto allo stereomicroscopio. Da: Susanna, 2007.

Analisi isotopica

Per ogni campione archeologico, scelto secondo i criteri precedentemente descritti, è stato selezionato un frammento di legno. Per scongiurare il rischio di selezionare materiale più antico rispetto al momento di abbandono dei singoli ambienti, sono stati scelti rami quanto più giovani possibili. Questa selezione è stata effettuata attraverso la stima del diametro degli anelli e la presenza del midollo o di tracce di corteccia. Di ogni campione è stato quindi selezionato l'anello più esterno dei singoli frammenti. Il materiale è stato poi pulito con un bisturi per rimuovere le parti esterne a rischio di contaminazione.

Nella selezione delle cariossidi non è stata necessaria nessuna cura particolare. Tutti i campioni archeologici provengono infatti da contesti ben identificati e sicuramente pertinenti alle fasi di occupazione degli insediamenti. Ogni campione raccoglie un insieme variabile di cariossidi da cui sono state prelevate al massimo 5 cariossidi di orzo e 5 di farro di ogni periodo. Per alcuni periodi non è stato possibile arrivare a 5 cariossidi, a causa della scarsità del materiale archeobotanico. Si è anche tenuto conto della necessità di lasciare almeno un testimone per ogni campione. La pulizia si è rivelata più lunga e difficile in confronto a quella dei frammenti lignei a causa delle piccole dimensioni delle cariossidi e spesso della durezza delle stesse.

Dopo la pulizia ogni frammento di legno e ogni cariosside sono stati polverizzati in un mortaio di agata ponendo particolare cura al rischio di inquinamento. La polvere ottenuta è conservata in appositi porta-campioni ed è in quantità sufficiente per poter ripetere l'analisi più volte.

I campioni moderni di riferimento sono stati disseccati prima del campionamento. Per le foglie si sono prelevati dei piccoli frammenti. Per le querce questi provengono dalle zone

interne della foglia, per il ginepro sono frammenti dell'ago. I campioni di legno sono stati prelevati tutti da rami molto giovani con uno, massimo due anelli. La corteccia e il midollo sono stati eliminati attraverso una pulizia a bisturi.

I campioni sono stati pesati su una bilancia di precisione prima di essere immessi nello strumento di misurazione, un analizzatore elementare (Thermo Finnigan, Elemental Analyzer EA-1108), interfacciato con uno spettrometro di massa (Thermo Finnigan-Delta Plus XP) mediante un regolatore dei flussi dei gas prodotti e separati nell'EA (CONFLOW-III, Thermo Finnigan – fig. 3.15). La quantità di campione inserito nello strumento non è rilevante dal momento che l'analisi è quantitativa e, soprattutto, il parametro fondamentale è il suo contenuto di carbonio. Nel caso dei campioni archeologici, costituiti interamente da carbone, il contenuto di carbonio, davvero molto elevato, ha saturato facilmente lo strumento. È stato necessario dunque preparare dei micro-campioni di circa 0,02 mg. Il peso dei campioni moderni si è aggirato tra 0,04 e 0,08 mg. Le quantità selezionate sono state poste in piccoli cilindri di stagno. Tali cilindri sono stati accuratamente pressati fino a ottenere delle piccole sfere adatte a essere inserite nel sistema di ingresso dello strumento dotato di un carosello ad immissione automatica che permette allo strumento di lavorare a flusso continuo. Prima dello spettrometro vero e proprio una colonna cromatografica provvede a separare le componenti. Ogni campione impiega circa 400 secondi a essere analizzato. I materiali in analisi sono intervallati da una serie di campioni contenenti standard per verificare che le misurazioni siano sempre corrette. I campioni di verifica sono cinque: lo zucchero bianco (proveniente da una pianta C3), lo zucchero di canna (proveniente da una pianta C4), la grafite, campioni vuoti e lo standard di riferimento ufficiale per le analisi isotopiche del carbonio V-PDB.

Tutti i risultati vengono registrati attraverso un software specifico dello strumento. Per ogni campione si è cercato di effettuare almeno due misure. Talvolta, quando la deviazione standard era eccessivamente elevata, le analisi sono state ripetute più volte allo scopo di scongiurare possibili rischi di inquinamento.

Nel capitolo successivo si riportano i valori di $\delta^{13}\text{C}$ e le relative deviazioni standard per ogni campione studiato. Per il confronto tra i dati archeobotanici e quelli attuali è stato necessario calcolare il $\Delta^{13}\text{C}$ secondo la formula (5) del paragrafo 3.1.2 e i dati disponibili per il gas intrappolato nelle carote di ghiaccio dell'Antartide (Eyer *et al.*, 2004; Francey *et al.*, 1999; Indermuhle *et al.*, 1999; Leuenberger *et al.*, 1992) al fine di tenere in considerazione le variazioni del $\delta^{13}\text{C}$ dell'aria nel tempo.

L'elaborazione dei dati è stata fatta con il programma STATISTICA, Stat. Soft, 2005.



Figura 3. 15 Strumentazione utilizzata per le analisi. È visibile il cromatografo e lo spettrometro di massa ed esso collegato situato presso il Laboratorio di Isotopi Stabili, Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) del CNR di Pisa.

Risultati delle analisi isotopiche

4.1 Risultati delle analisi isotopiche dei resti antracologici

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ ottenuti dalle analisi dei resti antracologici sono mostrati di seguito, suddivisi secondo le fasi archeologiche. Nelle tabelle si riportano gli ambienti di provenienza e il numero botanico di riferimento dei campioni. Per ognuno di essi sono riportati i valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ con le relative deviazioni standard da intendersi calcolati sulle ripetizioni effettuate il cui numero è specificato nella colonna “misure”. I valori di minimo e massimo sono riferiti all’insieme delle ripetizioni effettuate per ogni campione.

Periodo VI A

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni provenienti dal periodo VIA sono riportati in tabella 4.1 e in figura 4.1 e 2.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di quercia sono compresi tra un minimo di -25,9‰ e un massimo di -22,0‰ (media -24,3‰ \pm 1,1; numero di campioni misurati n=37).

<i>Quercus gr. caducifoglie</i>							<i>Juniperus sp.</i>						
Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max	Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max
A364	3	-24,9	0,2	2	-25,1	-24,8	A127	2107	-22,9		1		
	5	-24,8	0,1	3	-24,9	-24,7	A340	2119	-22,0		1		
A367	32	-25,5	0,4	3	-25,9	-25,0		2120	-21,7		1		
A209	44	-25,4	0,4	2	-25,6	-25,1	A364	5	-21,7		1		
	45	-25,4	0,1	2	-25,5	-25,4	A365	2126	-22,3		1		
A77	142	-24,4	0,3	3	-24,7	-24,1		2128	-22,5	0,3	2	-22,8	-22,3
	144	-24,4	0,3	2	-24,6	-24,2	A800	1252	-23,0		1		
	2076	-24,8	0,1	2	-24,8	-24,7		1277b	-21,7		1		
	2078	-24,6	0,1	2	-24,7	-24,6	A805	1290	-21,3		1		
A112	2079	-24,4	0,1	2	-24,5	-24,4		1291	-22,3		1		
	2080	-22,8	0,1	2	-22,9	-22,8							
	2081	-25,5	0,2	2	-25,6	-25,3							
	2082	-24,2	0,3	2	-24,4	-24,0							
A113	2087	-22,8	0,0	2	-22,8	-22,8							
	2173	-22,3	0,0	2	-22,3	-22,2							
A127	2106	-24,5	0,3	2	-24,7	-24,3							
	2107	-22,2	0,2	2	-22,4	-22,0							

Tabella 4.1 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori di massimo e minimo per i campioni di quercia caducifoglia a sinistra e di ginepro a destra del periodo VI A raggruppati per ambiente.

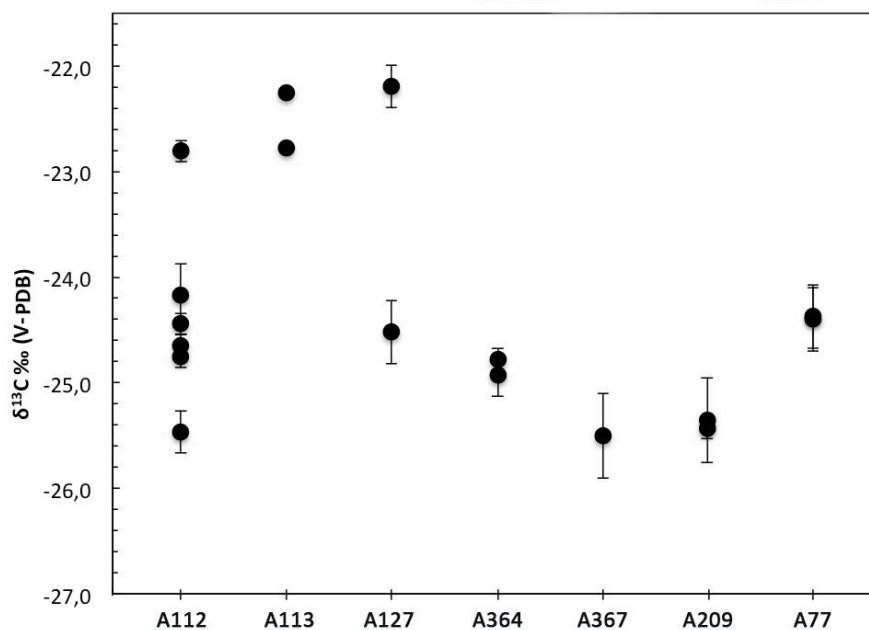


Figura 4.1 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di quercia caducifoglia del periodo VI A. Per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard dei diversi campioni.

Gli ambienti A364, A209 e A113 hanno valori molto simili, al contrario dei campioni provenienti dagli ambienti A112 e A127, dove è visibile un'alta variabilità. In generale l'intervallo di variabilità del periodo è 3,9‰. Le variazioni nel confronto tra gli ambienti sono spesso significative (Tab. 4.2).

	A367	A209	A77	A112	A113	A127
A364	0,018	0,003	0,008	0,258	0,034	0,000
A367		0,683	0,004	0,049	0,034	0,000
A209			0,001	0,037	0,016	0,000
A77				0,992	0,159	0,000
A112					0,199	0,000
A113						0,032

Tabella 4.2 Valore p per i campioni di quercia degli ambienti di VI A, le differenze statisticamente significative ($P < 0,05$) sono evidenziate in grigio.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di ginepro sono compresi tra un minimo di $-23,0\text{‰}$ e un massimo di $-21,3\text{‰}$ (media $-22,2\text{‰} \pm 0,5$; $n=11$).

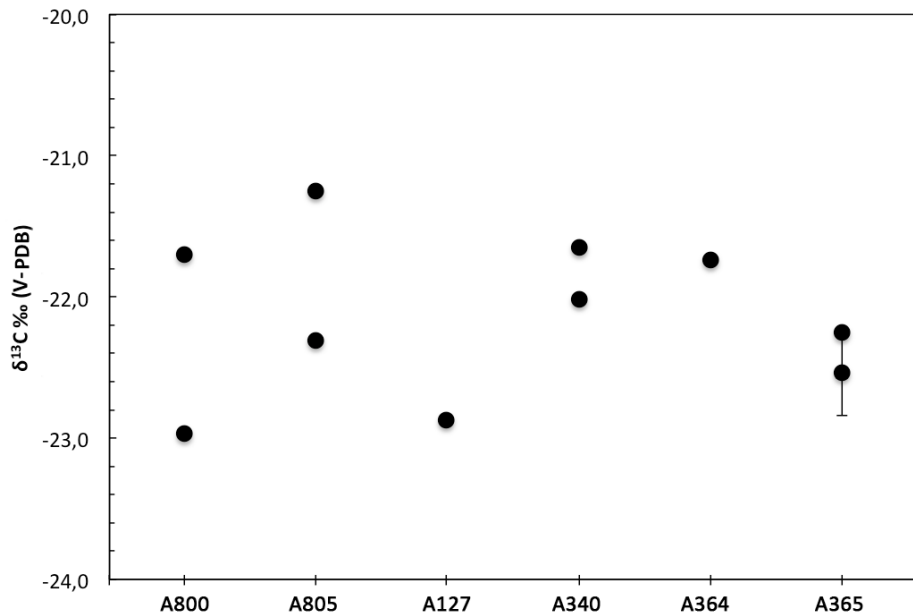


Figura 4.2 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di ginepro del periodo VI A, per ogni ambiente sono visibili le medie e per il solo ambiente A365 la deviazione standard di un campione.

L'intervallo di variabilità del periodo è $1,7\text{‰}$. La distribuzione dei dati è abbastanza omogenea e le variazioni nel confronto tra gli ambienti non sono mai significative (Tab. 4.3).

	A800	A805	A340	A365	A127
A364	0,684	0,972	0,817	0,158	
A800		0,571	0,529	0,847	0,712
A805			0,931	0,233	0,446
A340				0,091	0,191
A365					0,313

Tabella 4.3 Valore p per i campioni di ginepro degli ambienti del periodo VI A.

Periodo VI B1

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni provenienti dal periodo VI B1 sono riportati in tabella 4.4 e figura 4.3.

Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max
A518	741	-24,4	0,2	2	-24,6	-24,3
	742	-24,3	0,0	2	-24,3	-24,3
	743	-25,3	0,1	2	-25,3	-25,2
	744	-24,6	0,1	2	-24,7	-24,5
	748	-24,2	0,3	2	-24,4	-24,0
	749	-26,0	0,3	3	-26,2	-25,6
	750	-24,3	0,3	2	-24,5	-24,2
	751	-24,2	0,0	2	-24,2	-24,1
	752	-24,1	0,1	2	-24,2	-24,0
	753	-24,4	0,1	2	-24,4	-24,3
	754	-23,7	0,0	2	-23,7	-23,7
	755	-22,7	0,1	2	-22,8	-22,7
	756	-25,3	0,2	2	-25,4	-25,1
	757	-24,3	0,0	2	-24,3	-24,3
A792	1264	-25,2	0,3	3	-25,5	-25,0
A772	1296b	-25,9	0,1	2	-25,9	-25,8
A771	1297	-24,9	0,1	3	-25,0	-24,8

Tabella 4.4 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di quercia caducifolia del periodo VI B1 raggruppati per ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di quercia sono compresi tra un minimo di -26,2‰ e un massimo di -22,7‰ (media -24,6 ‰ \pm 0,8; n=37). Per i campioni archeologici di ginepro è stata effettuata una sola analisi (ambiente A738, campione 1143, $\delta^{13}\text{C}$ -23,5‰).

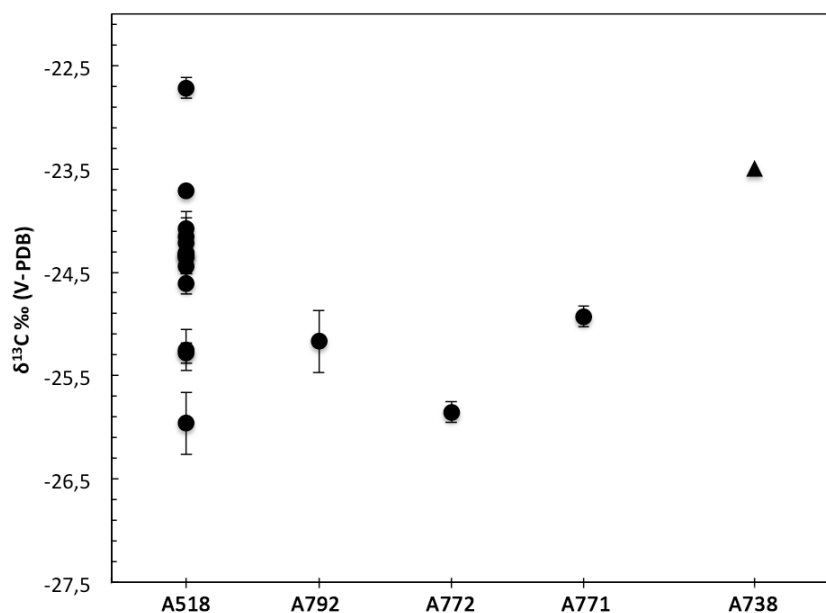


Figura 4.3 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di quercia caducifolia (pallino) e ginepro (triangolo) del periodo VI B1, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard dei diversi campioni.

La maggior parte dei campioni proviene dall'ambiente A518, gli altri campioni hanno valori che ricadono nel suo stesso intervallo. L'intervallo di variabilità del periodo è 4,1‰. Le uniche differenze statisticamente significative riguardano i campioni dell'ambiente A772 in confronto a quelli di A518 e A771 (Tab. 4.5).

	A792	A772	A771
A518	0,143	0,022	0,330
A792		0,065	0,262
A772			0,003

Tabella 4.5 Valore p per i campioni di quercia caducifolia degli ambienti del periodo VI B1, le differenze statisticamente significative ($P < 0,05$) sono evidenziate in grigio.

Periodo VI B2

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni provenienti dal periodo VI B2 sono riportati in tabella 4.6 e Fig. 4.4.

Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max
A109	758	-25,2	0,0	2	-25,2	-25,1
A153	759	-26,1	0,2	3	-26,2	-25,8
	761	-24,5	0,4	2	-24,8	-24,2
A166	762	-22,7	0,1	2	-22,9	-22,6
A175	765	-24,3	0,2	2	-24,5	-24,1
	766	-25,5	0,0	2	-25,5	-25,4
A199	768	-23,6	0,3	3	-23,9	-23,3
A200	94	-25,6	0,3	2	-25,8	-25,4
A308	782	-24,3	0,3	2	-24,5	-24,0
	774	-24,4	0,1	2	-24,4	-24,3
A342	775	-24,9	0,0	2	-24,9	-24,9
	776	-24,4	0,1	2	-24,4	-24,3
A472	777	-23,2	0,2	2	-23,3	-23,1
	779	-25,6	0,0	2	-25,6	-25,6
A645	919	-25,6	0,0	2	-25,6	-25,6
A1144	2146	-25,4	0,1	3	-25,5	-25,3
A170	116	-24,0	0,0	2	-24,0	-24,0
	117	-24,5	0,1	2	-24,6	-24,4
A170	118	-22,4	0,1	2	-22,4	-22,3
	119	-23,9		1		
A170	120	-23,4	0,2	2	-23,6	-23,3
	95	-24,1	0,0	2	-24,1	-24,1
A170	96	-25,3	0,0	2	-25,3	-25,2
	98	-24,7	0,0	2	-24,7	-24,6
A170	99	-25,7	0,1	2	-25,8	-25,6
	100	-25,3	0,1	2	-25,3	-25,2
A313	101	-24,3	0,1	2	-24,3	-24,2
	769	-25,8	0,1	2	-25,9	-25,7
A313	770	-25,4	0,0	2	-25,4	-25,4
	771	-24,7	0,1	2	-24,8	-24,7
A1187	2148	-25,1	0,1	2	-25,2	-25,0
	2155	-24,6	0,2	3	-24,8	-24,5

Tabella 4.6 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di quercia caducifolia del periodo VI B2 raggruppati per ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di quercia sono compresi tra un minimo di -26,2‰ e un massimo di -22,3‰ (media -24,6‰ \pm 0,9; n=66). Non sono state effettuate analisi di campioni di ginepro a causa della scarsità di materiale archeologico.

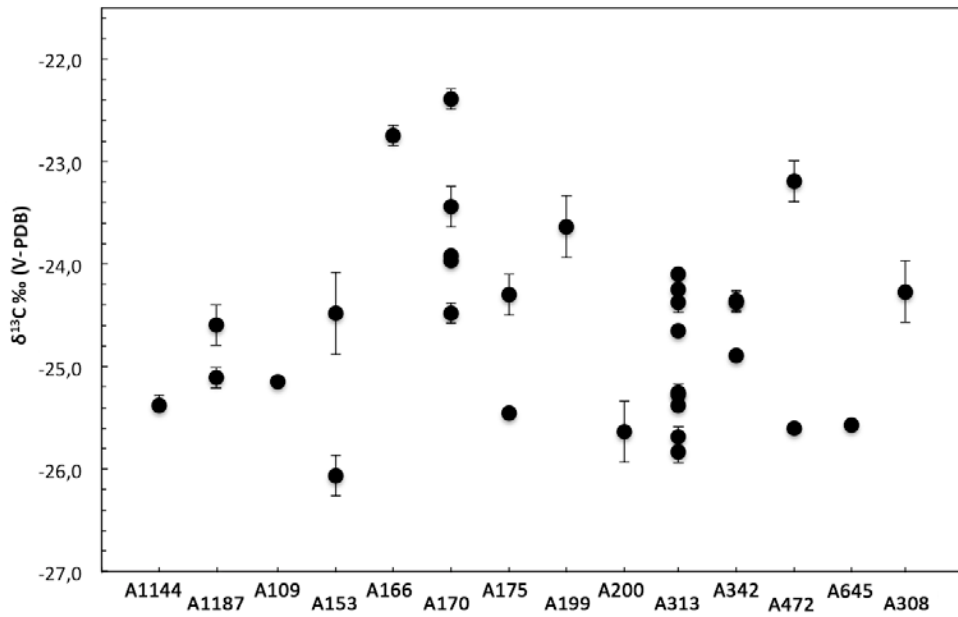


Figura 4.4 Valori di $\delta^{13}C$ per i campioni di quercia caducifoglia del periodo VI B2, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard dei diversi campioni.

L'intervallo di variabilità del periodo è 3,9‰. Gli ambienti sono in tutto 14, di cui A166 e A170 sono quelli che presentano variazioni significative rispetto la maggior parte degli altri ambienti (Tab. 4.7).

	A313	A170	A109	A153	A166	A175	A199	A342	A472	A308	A645	A1144	A1187
A200	0,175	0,007	0,381	0,774	0,006	0,219	0,006	0,003	0,304	0,045	0,771	0,205	0,024
A313		0,000	0,846	0,237	0,000	0,670	0,001	0,074	0,160	0,104	0,220	0,324	0,446
A170			0,103	0,002	0,172	0,018	0,960	0,017	0,214	0,290	0,008	0,004	0,008
A109				0,784	0,048	0,748	0,057	0,104	0,665	0,273	0,026	0,150	0,390
A153					0,011	0,341	0,018	0,114	0,218	0,151	0,842	0,926	0,179
A166						0,014	0,040	0,046	0,190	0,026	0,001	0,000	0,000
A175							0,035	0,304	0,561	0,318	0,243	0,267	0,837
A199								0,003	0,406	0,121	0,004	0,001	0,003
A342									0,808	0,298	0,003	0,002	0,183
A472										0,911	0,324	0,288	0,543
A308											0,030	0,009	0,107
A645												0,064	0,024
A1144													0,026

Tabella 4.7 Valore p per i campioni di quercia caducifoglia degli ambienti di VI B2, le differenze statisticamente significative ($P < 0,05$) sono evidenziate in grigio.

Periodo VI C

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni provenienti dal periodo VI C sono riportati in tabella 4.8 e figura 4.5.

<i>Quercus gr. caducifoglie</i>							<i>Juniperus sp.</i>							
Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max	Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max	
A607	923	-24,5	0,2	2	-24,6	-24,3	A607	931/2	-23,9	0,2	2	-24,0	-23,8	
	927/1	-23,8	0,2	3	-24,1	-23,7		939/1	-23,5	0,2	2	-23,7	-23,4	
	929	-23,2	0,3	2	-23,4	-23,0		939/2	-23,6	0,2	2	-23,8	-23,5	
	930	-24,3	0,0	2	-24,4	-24,3		939/3	-23,2	0,1	2	-23,3	-23,1	
	931/2	-25,9	0,0	2	-26,0	-25,9		969	-23,7	0,1	2	-23,8	-23,6	
	932	-24,0	0,4	3	-24,3	-23,6								
	943	-24,0	0,1	2	-24,0	-23,9								
	945	-25,0	0,0	2	-25,0	-24,9								
	959	-24,8	0,0	2	-24,8	-24,8								
	968	-25,7	0,1	2	-25,8	-25,7								
	971	-25,0	0,1	2	-25,1	-24,9								
	975	-23,9	0,1	2	-24,0	-23,9								
	982	-24,3	0,3	3	-24,5	-24,0								
	985	-22,4	0,1	2	-22,5	-22,4								
A631	564	-24,5	0,2	3	-24,6	-24,3								

Tabella 4. 8 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori di massimo e minimo per i campioni di quercia caducifoglia a sinistra e di ginepro a destra del periodo VI C raggruppati per ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di quercia sono compresi tra un minimo di -26,0‰ e un massimo di -22,4‰ (media -24,4‰ \pm 0,9; n=34). Per i campioni archeologici di ginepro sono compresi tra un minimo di -24,4‰ e un massimo di -23,1‰ (media -23,6‰ \pm 0,3; n=10).

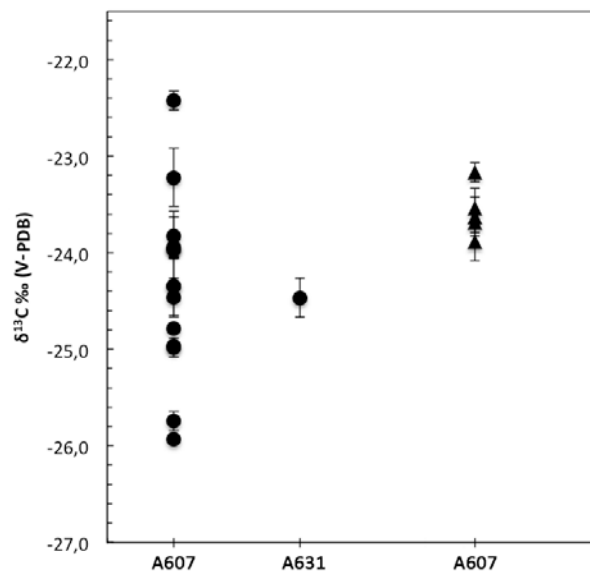


Figura 4.5 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di quercia caducifoglia (pallini) e ginepro (triangoli) del periodo VI C, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard dei diversi campioni.

Periodo VI D

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni provenienti dal periodo VI D sono riportati in tabella 4.9 e Fig. 4.6.

Ambiente	Campione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max
A158	796	-23,9	0,1	2	-23,9	-23,8
A406	787	-23,7	0,2	2	-23,9	-23,6
	791	-25,0	0,2	2	-25,1	-24,9
A417	799	-24,4	0,0	2	-24,5	-24,4
	807	-24,7	0,1	2	-24,8	-24,6
A491	816/2	-24,8	0,3	2	-25,0	-24,6
	817	-24,7	0,1	2	-24,7	-24,6
A502	821	-24,1	0,5	3	-24,7	-23,7
	583	-25,6	0,0	2	-25,6	-25,6
A516	584	-24,6	0,0	2	-24,6	-24,5
	585	-24,7	0,3	2	-24,9	-24,5
	588	-24,9	0,2	3	-25,1	-24,7
A544	566	-23,7	0,0	2	-23,8	-23,7
	567	-24,4	0,0	2	-24,5	-24,4
A548	900	-25,3	0,3	2	-25,5	-25,1
A818	1492	-24,3	0,3	4	-24,7	-24,1
	1677	-23,2	0,4	3	-23,7	-22,8
K702	649	-24,7	0,3	2	-24,9	-24,5
K684	826	-24,6	0,0	2	-24,6	-24,6
	827	-24,4	0,2	2	-24,52	-24,21

Tabella 4.9 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di quercia caducifolia del periodo VI D raggruppati per ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di quercia sono compresi tra un minimo di -26,5‰ e un massimo di -22,8‰ (media -24,5 ‰ \pm 0,6; n=45).

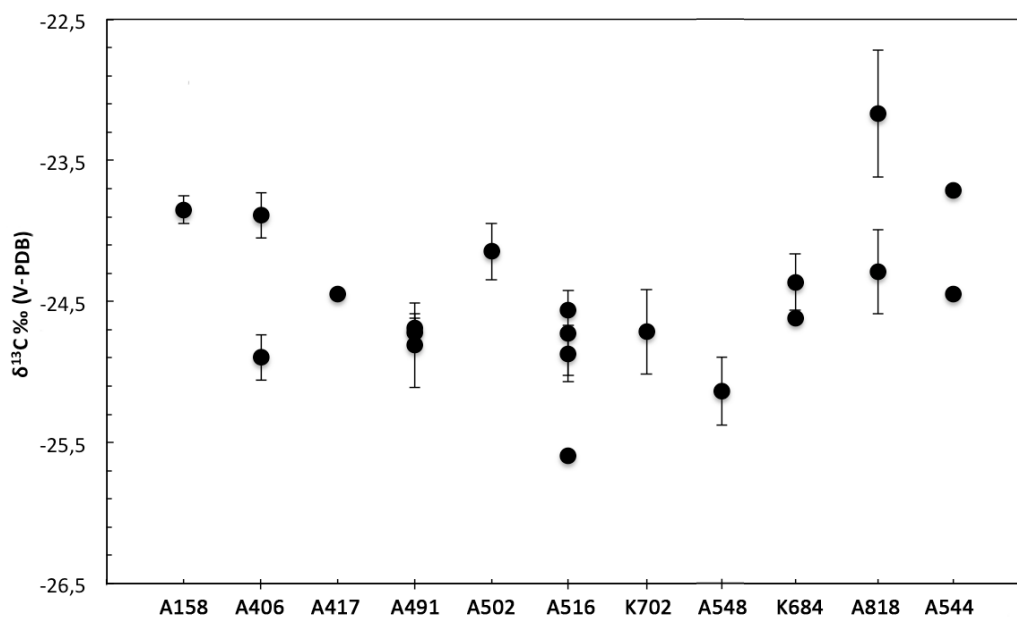


Figura 4.6 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di quercia caducifoglia del periodo VI D, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard dei diversi campioni.

L'intervallo di variabilità del periodo è 3,7‰. Dei dieci ambienti analizzati i confronti hanno messo in luce che solo pochi hanno differenze statisticamente rilevanti tra di loro. Significativo è che anche gli ambienti evidenziati dalla sigla K (K702, K684) sono sostanzialmente omogenei (Tab. 4.10).

	A516	K702	A406	A158	A417	A491	A502	K684	A548	A818
A544	0,007	0,132	0,521	0,511	0,314	0,007	0,851	0,127	0,023	0,499
A516		0,518	0,106	0,007	0,155	0,317	0,022	0,078	0,277	0,001
K702			0,575	0,047	0,285	0,870	0,228	0,294	0,158	0,122
A406				0,402	0,899	0,257	0,699	0,759	0,176	0,236
A158					0,012	0,000	0,462	0,013	0,018	0,940
A417						0,047	0,457	0,762	0,047	0,252
A491							0,021	0,057	0,009	0,008
A502								0,232	0,055	0,467
K684									0,012	0,089
A548										0,023

Tabella 4.10 Valore p per i campioni di quercia caducifoglia degli ambienti del periodo VI D, le differenze statisticamente significative ($P < 0,05$) sono evidenziate in grigio.

Per i campioni archeologici di ginepro non ci sono analisi dal momento che i pochi campioni contenenti ginepro per questo periodo sono stati determinati quando la fase analitica del presente lavoro era già conclusa. Ci si augura di poterli sottoporre ad analisi in un successivo sviluppo di questo lavoro.

4.2 Risultati delle analisi isotopiche dei resti carpologici

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i resti carpologici sono mostrati di seguito, suddivisi secondo le fasi archeologiche. Per ogni campione sono state analizzate, dove possibile, 5 cariossidi diverse identificate con le lettere dell'alfabeto. Nelle tabelle si riportano gli ambienti di provenienza e il numero botanico di riferimento dei campioni. Per ognuno di essi sono riportati i valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ con le relative deviazioni standard da intendersi calcolati sulle ripetizioni effettuate (il cui numero è specificato nella colonna "misure") su ogni cariosside. I valori di minimo e massimo sono riferiti all'insieme delle ripetizioni effettuate per ogni cariosside.

Periodo VI A

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni carpologici provenienti dal periodo VI A sono riportati in tabella 4.11 e figura 4.7.

Specie	Ambiente	Campione	Cariosside	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev st.	Misure	Min	Max	
<i>Hordeum vulgare</i>	A206	392	a	-21,1	0,3	3	-21,4	-20,8	
			b	-22,9	0,1	2	-22,9	-22,8	
			c	-23,4	0,0	2	-23,4	-23,4	
			d	-23,1	0,0	2	-23,1	-23,1	
			e	-23,6	0,0	2	-23,6	-23,6	
	A51			a	-21,8	0,2	2	-22,0	-21,7
				b	-23,9	0,1	2	-24,0	-23,9
				c	-22,0	0,0	2	-22,0	-22,0
				d	-21,3	0,1	2	-21,3	-21,2
				e	-20,0	0,0	2	-20,0	-20,0
<i>Triticum dicoccon</i>	A206	392	a	-20,7	0,2	3	-20,9	-20,6	
			b	-21,0	0,0	2	-21,0	-21,0	
			c	-22,4	0,0	2	-22,4	-22,4	
			d	-21,3	0,1	2	-21,3	-21,2	
			e	-20,0	0,0	2	-20,0	-20,0	
	A340	997	a	-21,2	0,1	2	-21,2	-21,1	

Tabella 4.11 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di cereali del periodo VI A, raggruppati per specie e ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di orzo sono compresi tra un minimo di -24,0‰ e un massimo di -20,8‰ (media -22,6‰ \pm 1,0; n=17). Per i campioni archeologici di farro sono compresi tra un minimo di -22,4‰ e un massimo di -20,0‰ (media -21,1‰ \pm 0,7; n=13).

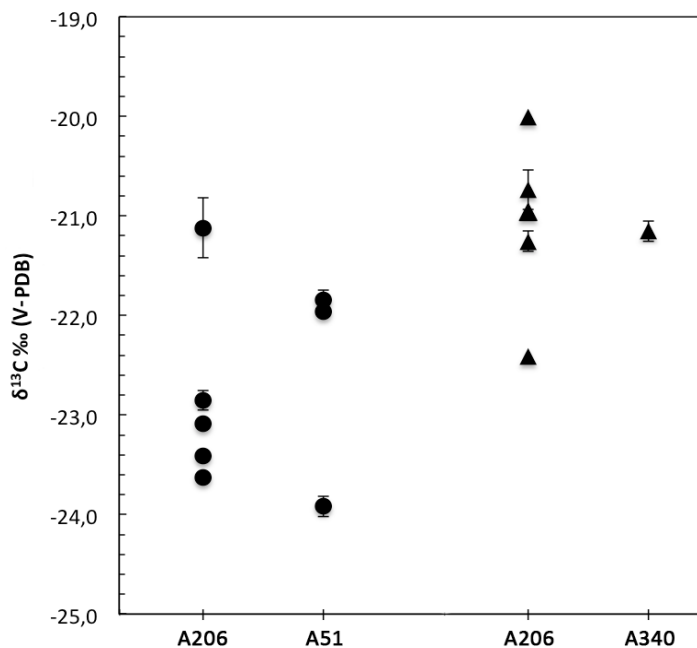


Figura 4.7 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di orzo (pallino) e farro (triangolo) del periodo VI A, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard di diversi grani.

Periodo VI B1

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni carpologici provenienti dal periodo VI B1 sono riportati in tabella 4.12 e figura 4.8.

Specie	Ambiente	Campione	Cariosside	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ PDB	Dev st.	Misure	Min	Max
<i>Hordeum vulgare</i>	A772	1574	a	-23,0	0,2	2	-23,2	-22,9
			b	-21,6	0,2	2	-21,7	-21,5
			c	-20,7	0,3	2	-20,9	-20,5
<i>Triticum dicoccon</i>	A771	1596	a	-22,6	0,2	2	-22,7	-22,5
			b	-21,4	0,1	2	-21,5	-21,4
			c	-21,6	0,3	2	-21,8	-21,4
			d	-21,8	0,1	2	-21,9	-21,8

Tabella 4.12 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di cereali del periodo VI A raggruppati per specie e ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di orzo sono compresi tra un minimo di -23,2‰ e un massimo di -20,5‰ (media -21,8‰ \pm 1,1; n=6). Per i campioni archeologici di farro sono compresi tra un minimo di -22,7‰ e un massimo di -21,4‰ (media -21,9‰ \pm 0,5; n=8).

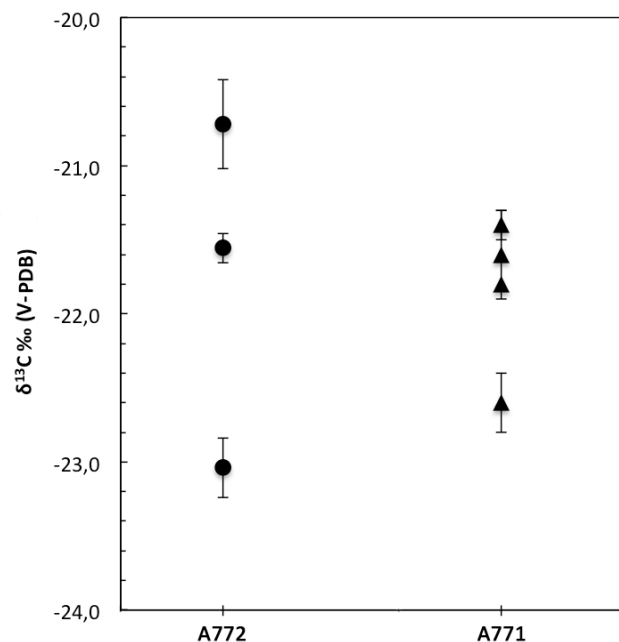


Figura 4.8 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di orzo (pallino) e farro (triangolo) del periodo VI B1, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard di diversi grani.

Periodo VI B2

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni carpologici provenienti dal periodo VI B2 sono riportati in tabella 4.13 e figura 4.9.

Specie	Ambiente	Campione	Cariosside	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ PDB	Dev st.	Misure	Min	Max
<i>Hordeum vulgare</i>	A736	1632	a	-21,4	0,4	2	-21,7	-21,2
			b	-21,3	0,0	2	-21,4	-21,3
			c	-23,0	0,1	2	-23,1	-22,9
			d	-23,1	0,0	2	-23,1	-23,1
			e	-20,3	0,2	2	-20,5	-20,1
<i>Triticum dicoccon</i>	A736	1632	a	-21,5	0,2	2	-21,7	-21,4
			b	-22,5	0,1	2	-22,5	-22,4
			c	-21,8	0,3	2	-22,0	-21,6
			d	-21,5	0,1	2	-21,6	-21,5
			e	-21,0	0,0	2	-21,1	-21,0

Tabella 4.13 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di cereali del periodo VI B2 raggruppati per specie e ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di orzo sono compresi tra un minimo di -23,1 ‰ e un massimo di -20,1 ‰ (media -21,8 ‰ \pm 1,13; n=10). Per i campioni archeologici di farro sono compresi tra un minimo di -22,5 ‰ e un massimo di -21,0 ‰ (media -21,7 ‰ \pm 0,50; n=10).

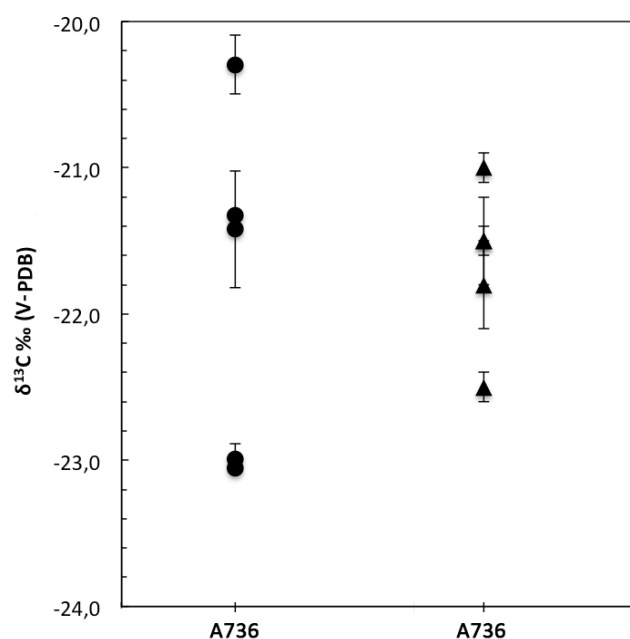


Figura 4.9 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di orzo (pallini) e farro (triangoli) del periodo VI B2, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard di diverse cariossidi.

Periodo VI C

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni carpologici provenienti dal periodo VI C sono riportati in tabella 4.14 e figura 4.10.

Specie	Ambiente	Campione	cariosside	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev st.	Misure	Min	Max
<i>Hordeum vulgare</i>	A607	1793	a	-23,4	0,04	2	-23,4	-23,4
			b	-23,7	0,08	2	-23,8	-23,6
			c	-23,5	0,13	2	-23,6	-23,4
			d	-19,9	0,17	2	-20,0	-19,8
			e	-22,4	0,12	2	-22,5	-22,4
<i>T. dicoccon</i>	A607	1055-2	a	-19,4	0,04	2	-19,5	-19,4
			b	-20,8	0,10	2	-20,9	-20,7

Tabella 4.14 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori di massimo e minimo per i campioni di cereali del periodo VI C, raggruppati per specie e ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeologici di orzo sono compresi tra un minimo di -23,8‰ e un massimo di -19,8‰ (media -22,6 ‰ \pm 1,5; n=10). Per i campioni archeologici di farro sono compresi tra un minimo di -20,9 ‰ e un massimo di -19,4 ‰ (media -20,1 ‰ \pm 0,8; n=4).

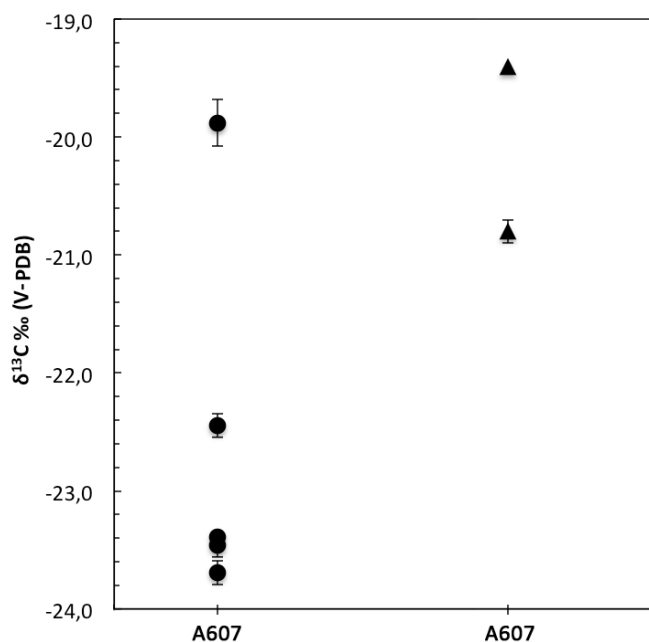


Figura 4.10 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di orzo (pallini) e farro (triangoli) del periodo VI C, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard di diversi grani.

Periodo VI D

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni carpologici provenienti dal periodo VI D sono riportati in tabella 4.15 e figura 4.11.

Specie	Ambiente	Campione	Cariosside	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev st.	Misure	Min	Max
<i>Hordeum vulgare</i>	A516	1025-2	a	-23,3	0,04	2	-23,4	-23,3
			b	-23,3	0,00	2	-23,3	-23,3
			c	-23,9	0,06	2	-24,0	-23,9
			d	-24,0	0,07	2	-24,1	-24,0
			e	-21,2	0,01	2	-21,3	-21,2
<i>Triticum dicoccon</i>	A516	1025-2	a	-22,2	0,12	2	-22,3	-22,1
			b	-21,7	0,06	2	-21,7	-21,6
			c	-21,9	0,00	2	-21,9	-21,9
			d	-21,3	0,04	2	-21,3	-21,3
			e	-23,7	0,03	2	-23,7	-23,7

Tabella 4.15 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di cereali del periodo VI D raggruppati per specie e ambiente.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeobotanici di orzo sono compresi tra un minimo di -24,1‰ e un massimo di -21,2‰ (media -23,2‰ \pm 1,1; n=10). Per i campioni di farro sono compresi tra un minimo di -23,7‰ e un massimo di -21,3‰ (media -22,2‰ \pm 0,9; n=10).

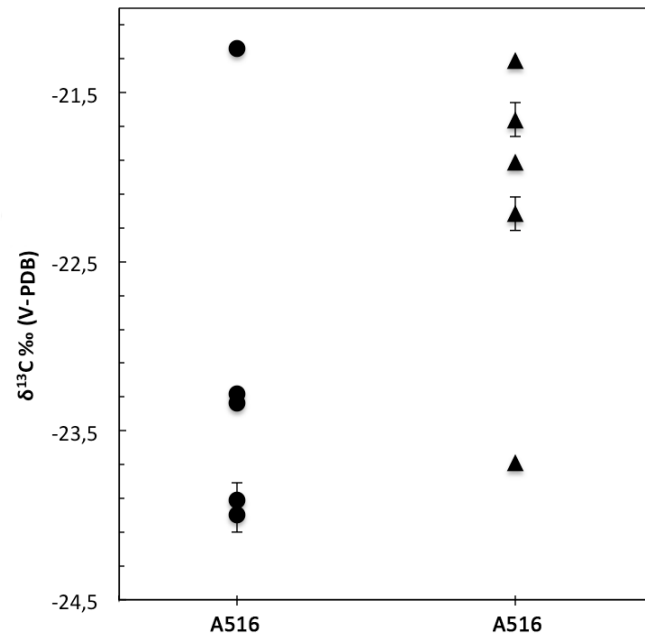


Figura 4.11 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di orzo (pallino) e farro (triangolo) del periodo VI D, per ogni ambiente sono visibili le medie e le deviazioni standard di diverse cariossidi.

4.3 Risultati delle analisi isotopiche dei materiali di riferimento

I risultati delle analisi di $\delta^{13}\text{C}$ sui campioni di piante attuali sono riportati in tabella 4.16 e figure 4.12 e 13. Nelle tabelle si riportano le stazioni di provenienza e gli esemplari indicati da una lettera dell'alfabeto. Per ognuno di essi sono riportati i valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ con le relative deviazioni standard da intendersi calcolati sulle ripetizioni effettuate (il cui numero è specificato nella colonna "misure") su ogni frammento di ramo o di foglia. I valori di minimo e massimo sono riferiti all'insieme delle ripetizioni effettuate per ogni elemento.

<i>Quercus gr. caducifoglie</i>								<i>Juniperus sp.</i>								
Stazione	Esemplare	Elemento	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. st.	Misure	Min	Max	Stazione	Esemplare	Elemento	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. st.	Misure	Min	Max	
1	a	foglia	-26,2	0,1	2	-26,3	-26,2	3	a	foglia	-24,3	0,3	3	-24,5	-24,0	
		ramo	-26,0	0,2	2	-26,1	-25,8			ramo	-22,0	0,5	2	-22,3	-21,6	
	b	foglia	-25,7	0,7	3	-26,4	-25,0		4	a	foglia	-25,3	0,9	3	-26,3	-24,6
		ramo	-26,2	0,3	2	-26,4	-26,0				ramo	-22,1	0,1	3	-22,3	-22,1
2	a	foglia	-28,6	0,2	3	-28,7	-28,4	5	b	foglia	-27,1	0,7	3	-27,9	-26,6	
		ramo	-27,4	0,5	2	-27,7	-27,0			ramo	-25,0	0,7	3	-25,6	-24,3	
3	a	foglia	-27,7	0,6	3	-28,2	-27,1	5	a	foglia	-24,5	0,5	2	-24,8	-24,1	
		ramo	-26,7		1					ramo	-24,0	0,6	2	-24,4	-23,6	
4	b	foglia	-26,2	0,1	3	-26,3	-26,0	5	a	foglia	-27,3	0,3	3	-27,6	-27,1	
		ramo	-24,8		1					ramo	-26,6		1			
	a	foglia	-27,3	0,3	3	-27,6	-27,1		b	foglia	-27,9	0,4	3	-28,2	-27,5	
		ramo	-26,6		1					ramo	-26,2		1			
5	a	foglia	-27,3	0,1	3	-27,3	-27,2	5	a	foglia	-27,3	0,1	3	-27,3	-27,2	
		ramo	-25,9		1					ramo	-25,9		1			
	b	foglia	-27,0	0,4	3	-27,3	-26,6		b	foglia	-27,0	0,4	3	-27,3	-26,6	
		ramo	-25,3		1					ramo	-25,3		1			

Tabella 4.16 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori massimo e minimo per i campioni di piante attuali divisi per stazione di raccolta, esemplare ed elemento.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di legno provenienti da rami di quercia sono compresi tra un minimo di -27,7‰ della stazione 2 e un massimo di -24,8‰ della stazione 3 (media -26,2‰ \pm 0,8; n=12). Sono state effettuate una serie di analisi anche su frammenti provenienti dalle foglie degli stessi esemplari. Le analisi di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di foglie di quercia hanno dato valori compresi tra un minimo di -28,7‰ della stazione 2 e un massimo di -25,0‰ della stazione 1 (media -27,1‰ \pm 0,9; n=26).

Come è possibile vedere dalla fig. 12 i valori di $\delta^{13}\text{C}$ sia di foglie che di rami delle querce caducifoglie delle 5 diverse località sono molto diversi. Le foglie degli esemplari raccolti nella stazione 1 sono caratterizzate da valori un po' più positivi rispetto ai rami, in completa opposizione con quanto è visibile in tutte le altre stazioni. La media di $\delta^{13}\text{C}$ delle foglie di quercia è significativamente più negativa della media dei campioni di rami ($P < 0,02$) e delle analisi condotte sulle piante di ginepro in generale ($P < 0,001$).

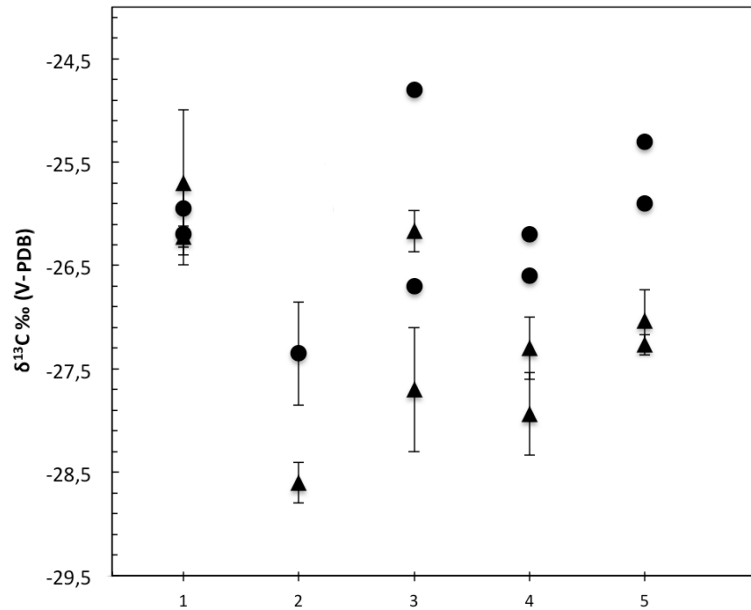


Figura 4.12 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di riferimento attuali di piante di quercia caducifolia. Per ogni stazione è mostrato il valore di $\delta^{13}\text{C}$ di rami (pallino) e foglie (triangolo) di ogni esemplare.

Il confronto tra i campioni di rami provenienti dalle diverse stazioni è più interessante. Piante cresciute in prossimità (nella stessa stazione) danno risultati molto simili, l'intervallo nelle singole piante è al massimo 1‰, nelle stazioni si va da un minimo di 0,2 (stazione 1) a un massimo di 1,9‰ (stazione 3). Considerato che sono tutte coeve e comprese in un raggio di 64 Km si può stimare che variazioni al disotto dell'intervallo di variabilità del 2,9‰ riscontrato sono da attribuire all'intrinseca variabilità del *taxon* in esame.

Per quanto riguarda i risultati delle analisi effettuate sulle piante di ginepro i campioni di legno provenienti da rami, questi hanno valori di $\delta^{13}\text{C}$ sono compresi tra un minimo di -25,6‰ della stazione 4 e un massimo di -21,6‰ della stazione 3 (media -23,4‰ \pm 1,4; n=10) ‰ con una differenza massima di m 1,3‰. I campioni di foglie di ginepro hanno valori compresi tra un minimo di -27,9‰ della stazione 4 e un massimo -24,0‰ della stazione 3 (media -25,4‰ \pm 1,3; n=11) con una differenza, all'interno della stessa pianta compresa tra 1,7‰ e 0,5‰. Le analisi dei campioni di ginepro sono state effettuate su solo tre stazioni invece di cinque per la difficoltà a trovare esemplari di questa pianta (fig. 4.13).

Dalla figura 13 appare evidente che i valori isotopici dei rami sono sempre significativamente più negativi di quelli delle foglie ($P < 0,003$), le differenze all'interno dello stesso esemplare vanno da un minimo di 0,5 ad un massimo di 3,2‰.

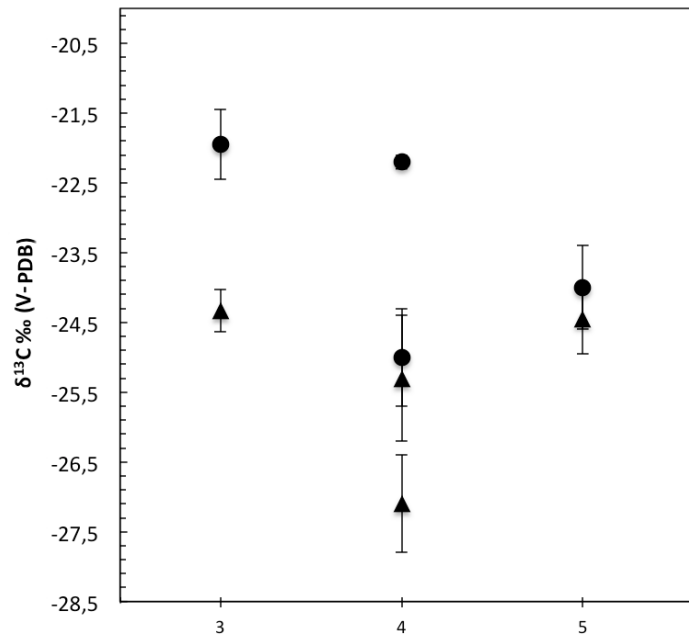


Figura 4. 13 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di riferimento attuali di piante di ginepro. Per ogni stazione è mostrato il valore di $\delta^{13}\text{C}$ di rami (pallino) e foglie (triangolo) di ogni esemplare.

4.5 Risultati delle analisi di $\Delta^{13}\text{C}$

Per confrontare i segnali isotopici misurati nei campioni fossili con i valori delle piante viventi è stato necessario eliminare l'effetto della variazione del $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 atmosferica calcolando i valori di $\Delta^{13}\text{C}$ (Farquhar *et al.*, 1980).

I risultati delle analisi di $\Delta^{13}\text{C}$ sui tutti i campioni analizzati sono riportati in tabella 4.17 e 18.

VI A						VI B1					
Area	Sample	<i>Quercus</i> gr. caducifoglie	<i>Juniperus</i> sp.	<i>Hordeum</i> <i>vulgare</i>	<i>Triticum</i> <i>dicoccon</i>	Area	Sample	<i>Quercus</i> gr. caducifoglie	<i>Juniperus</i> sp.	<i>Hordeum</i> <i>vulgare</i>	<i>Triticum</i> <i>dicoccon</i>
A364	3	19,1					741	18,6			
	5	18,9	15,8				742	18,5			
A367	32	19,7					743	19,5			
A209	44	19,6					744	18,8			
	45	19,6					748	18,4			
A77	142	18,5					749	20,3			
	144	18,6				A518	750	18,5			
	2076	18,9					751	18,3			
	2078	18,8					752	18,2			
A112	2079	18,6					753	18,5			
	2080	16,9					754	17,8			
	2081	19,7					755	16,8			
	2082	18,3					756	19,4			
A113	2087	16,9					757	18,5			
	2173	16,3				A792	1264	19,7			
A127	2106	18,7					1296b	20,1			
	2107	16,3	17,0			A772	1574-a			17,1	
A365	2126		16,3				1574-b			15,6	
	2128		16,6				1574-c			14,7	
A800	1252		17,1				1297	19,0			
	1277b		15,7				1596-a				16,7
A805	1290		15,3			A771	1596-b				15,5
	1291		16,4				1596-c				15,6
A340	2119		16,1				1596-d				15,9
	2120		15,7			A738	1143		17,6		
	997-a				15,2						
	392-a			15,1	14,7						
	392-b			16,9	14,0						
A206	392-c			17,5	15,0						
	392-d			17,2	16,5						
	392-e			17,7	15,3						
A51	a			15,9							
	b			18,1							
	c			16,0							

segue

VI B2						VI C					
Area	Sample	<i>Quercus gr. caducifoglie</i>	<i>Juniperus sp.</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	<i>Triticum dicocon</i>	Area	Sample	<i>Quercus gr. caducifoglie</i>	<i>Juniperus sp.</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	<i>Triticum dicocon</i>
A109	758	19,3					923	18,6			
A153	759	20,3					927/1	18,0			
	761	18,6					929	17,3			
A166	762	16,8					930	18,5			
	116	18,1					931/2	20,2	18,0		
A170	117	18,6					932	18,1			
	118	16,5					943	18,1			
	119	18,1					945	19,1			
	120	17,6					959	19,0			
A175	765	18,4					968	20,0			
	766	19,7					971	19,2			
A199	768	17,8					975	18,1			
A200	94	19,8				A607	982	18,5			
A308	782	18,4					985	16,5			
	95	18,2					939/1		17,7		
	96	19,4					939/2		17,7		
	98	18,8					939/3		17,3		
	99	19,9					969		17,8		
	100	19,5					1793-a			17,5	
	101	18,4					1793-b			17,8	
	769	20,1					1793-c			17,6	
	770	19,6					1793-d			13,9	
	771	18,9					1793-e			16,5	
A313	774	18,5					1055-2-a				13,4
	775	19,1					1055-2-a				14,8
	776	18,5				A631	564	18,6			
A472	777	17,3									
	779	19,8									
A645	919	19,8									
A1144	2146	19,5									
A1187	2148	19,3									
	2155	18,6									
A736	1362-a			15,5	15,6						
	1362-b			15,4	16,5						
	1362-c			17,1	15,9						
	1362-d			17,2	15,6						
	1362-e			14,3	15,1						

segue

Area	Sample	VI D			
		<i>Quercus gr. caducifoglie</i>	<i>Juniperus sp.</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	<i>Triticum dicocon</i>
A158	796	17,9			
A406	787	17,8			
	791	19,1			
A417	799	18,5			
A491	807	18,8			
	816/2	18,9			
	817	18,8			
A502	821	18,1			
	583	19,7			
	584	18,6			
	585	18,8			
	588	18,9			
A516	1025-2-a			17,3	16,2
	1025-2-b			17,3	15,6
	1025-2-c			17,9	15,9
	1025-2-d			18,0	15,2
	1025-2-e			15,2	17,7
A544	566	17,7			
	567	18,5			
A548	900	19,4			
A818	1492	18,8			
	1677	17,0			
K702	649	18,8			
K684	826	18,7			
	827	18,4			

Tabella 4.17 Valori medi di $\Delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeobotanici divisi per periodi.

<i>Quercus gr. caducifoglie</i>				<i>Juniperus sp.</i>			
Stazione	Esemplare	Elemento	$\Delta^{13}\text{C}$	Stazione	Esemplare	Elemento	$\Delta^{13}\text{C}$
1	a	foglia	18,2	3	a	foglia	16,3
		ramo	18,0			ramo	14,0
	b	foglia	17,7	4	a	foglia	17,3
		ramo	18,2			ramo	14,1
2	a	foglia	20,6	b	foglia	19,1	
		ramo	19,4		ramo	17,0	
3	a	foglia	19,7	5	a	foglia	16,4
		ramo	18,7			ramo	16,0
	b	foglia	18,2				
		ramo	16,8				
4	a	foglia	19,3				
		ramo	18,6				
	b	foglia	19,9				
		ramo	18,2				
5	a	foglia	19,3				
		ramo	17,9				
	b	foglia	19,0				
		ramo	17,3				

Tabella 4.18 Valori medi di $\Delta^{13}\text{C}$ per i campioni moderni di riferimento.

Confronto e discussione dei dati

5.1 Confronto dei dati isotopici del materiale antracologico

Il materiale antracologico studiato comprende 228 campioni suddivisi nei cinque periodi esaminati. Le relazioni tra gli ambienti secondo l'interpretazione archeologica, supportata dalle datazioni sui materiali archeobotanici, aiutano a collocare temporalmente i dati. Per il periodo VI A i campioni in fig. 4.1 (vedi capitolo 4) sono ordinati temporalmente secondo l'interpretazione archeologica stratigrafica delle strutture, dalla più antica alla più recente. La distruzione del sito avviene nel 3000 a.C. ma i campioni provenienti dall'ambiente A800 risultano essere precedenti (fig. 5.1; vedi paragrafo 3.2.1). I legni di A800 hanno anche una data dendrocronologica che li pone a 5324 ± 30 anni dal presente (3374 ± 30 a.C.; Kuniholm, 1996).

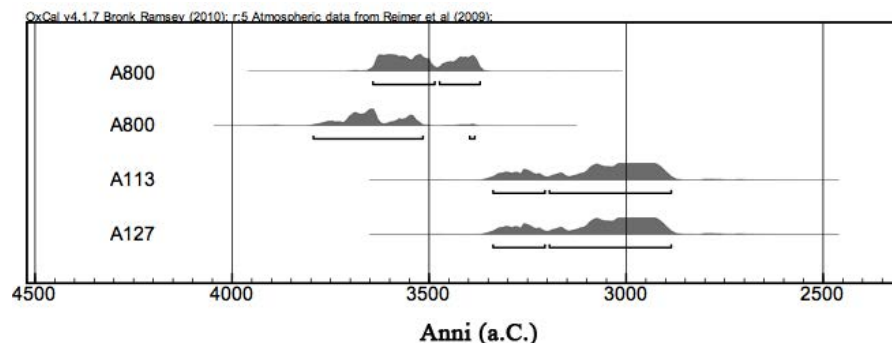


Figura 5. 1 Date calibrate in anni a.C. per alcuni degli ambienti presi in esame.

Osservando la figura 4.1 è possibile vedere un andamento nei valori di $\delta^{13}\text{C}$ che diventano più negativi nel tempo. L'edificio III (A112, A113 e A127) sembra avere al suo interno campioni provenienti da una fase climatica più arida (valori più positivi) in confronto agli altri campioni studiati. Insieme ad essi si trovano campioni in linea con quelli provenienti dall'edificio IV (A364, A367, A365 e A340) che, insieme ad A209 (il corridoio), sono più recenti. I carboni analizzati sembrano provenire da piante cresciute in un clima più favorevole. Questo induce a ipotizzare che i materiali provenienti dagli ambienti A112 e A127 provengano non solo dalle strutture, ma anche da materiali in uso al momento dell'incendio. L'ambiente costruttivamente più recente è il tempio A (A77) i cui valori di $\delta^{13}\text{C}$ sono allineati con l'edificio IV.

Osservando i dati disponibili per i legni di ginepro però, tale variazione non è visibile (fig. 4.2). In questo caso i materiali provengono dall'ambiente A800 che risulta essere più antico di almeno 300 anni rispetto al momento di distruzione dell'insediamento. Nonostante questo, non si nota alcuna differenza nei valori isotopici in confronto con gli altri ambienti anch'essi ordinati cronologicamente. Per l'ambiente A127 sono stati analizzati campioni sia di quercia che di ginepro ma non è possibile confrontare i dati grezzi alla luce delle differenze specifiche (vedi paragrafo 3.1.3). Però, mentre per la quercia di A127 è possibile supporre una doppia provenienza, sia da elementi strutturali (databili al momento di costruzione dell'edificio) che da elementi mobili (riconducibili alle fasi finali di occupazione), per il ginepro sembrano essere presenti campioni di una sola tipologia, con analogie tra gli edifici III e IV. Il picco arido registrato nei campioni provenienti dall'edificio III per i legni di quercia non è visibile nei campioni di ginepro. Le analisi isotopiche per il periodo mostrano due momenti succedutesi nel tempo: un primo più arido e un secondo più umido, registrati esclusivamente dai dati su legni di quercia caducifolia. Gli speleotemi provenienti dalla grotta di Soreq registrano un'alta instabilità del clima per questo periodo (Bar-Matthews *et al.*, 1997).

I periodi successivi, VI B1 e VI B2 sono datati secondo l'interpretazione archeologica rispettivamente al 3000-2900 a.C. e 2900-2800 a.C. Le datazioni radiocarbonio effettuate per le due fasi si sovrappongono a causa dell'incertezza caratteristica del metodo. Tra la fine del VI A e le due fasi di VI B trascorrono appena 200 anni, troppo pochi per essere letti nel dettaglio dalle datazioni ^{14}C . Per questo motivo l'interpretazione archeologica è di grande aiuto, dal momento che permette di ordinare cronologicamente i campioni a seconda dei contesti ritrovati. I valori $\delta^{13}\text{C}$ del periodo VI B1 sono sostanzialmente omogenei, un solo campione, appartenente all'ambiente A518, è abbastanza positivo da essere equiparato ai campioni provenienti dall'edificio III di VI A e quindi potrebbe essere un legno più antico riutilizzato (fig. 4.3).

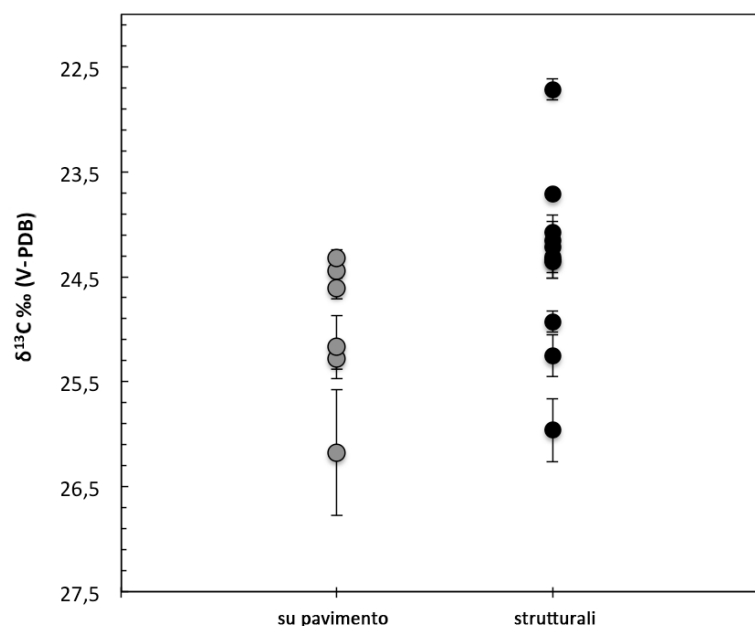


Figura 5.2 Campioni di A518 (VI B1) divisi a seconda della provenienza. In grigio sono visibili i valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni ritrovati sul pavimento, in nero quelli provenienti dalle buche di palo.

I campioni di VI B1 provengono sia dai frammenti ritrovati nelle buche per l'alloggio di pali sia da frammenti ritrovati su pavimento. In figura 5.2 i singoli campioni sono stati suddivisi secondo la loro provenienza tra strutturali e ritrovati su pavimento o, come nel caso di A792, in una canaletta. I dati sembrano indicare una situazione di stabilità, forse dovuta anche alla brevità del periodo. Per i legni di ginepro purtroppo si ha a disposizione solo un campione di VI B1 che presenta un valore leggermente più negativo rispetto ai campioni provenienti dal VI A.

I valori $\delta^{13}\text{C}$ dei campioni di VI B2 sono sostanzialmente in accordo con quelli di VI B1 (fig. 4.4), l'ordine cronologico, stabilito archeologicamente, vede i campioni di A1144 e A1187 come probabilmente precedenti ma perfettamente pertinenti sia dal punto di vista archeologico sia isotopico. L'ambiente A308 è invece sicuramente successivo ma non ha nessuna differenza secondo i valori isotopici calcolati per i legni di quercia.

Per la stanza A607 del periodo VI C esistono una buona serie di analisi radiocarbonio che permettono di collocare il periodo tra il 2750 e il 2500 a.C. (fig. 5.3). Dai numerosi frammenti di legno di quercia si osserva un intervallo dei dati di $\delta^{13}\text{C}$ di 3,6‰, il più basso di tutti i periodi, ma i valori si attestano sempre in un intervallo simile tra circa -26‰ e -22‰. Questo vuol dire che nell'intervallo di vita del sito le condizioni ambientali si sono mantenute simili. Il valore isotopico del campione proveniente dall'ambiente A631 è di appena 0,1‰ più negativo della media calcolata per l'ambiente A607. I campioni di ginepro sono incredibilmente omogenei e si presentano più negativi rispetto ai periodi precedenti. Tale variazione fa supporre un aumento di disponibilità idrica in accordo con quanto registrato dagli archivi paleoambientali della grotta di Soreq (fig. 2.26 e 27).

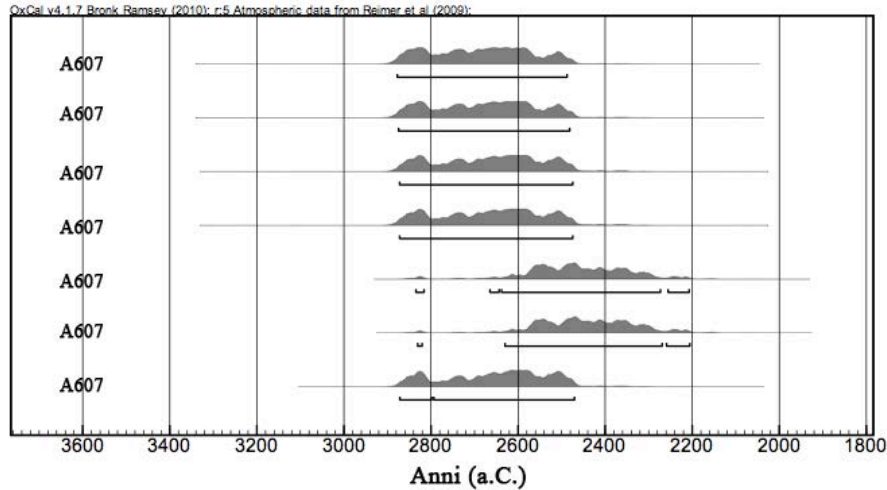


Figura 5.3 Date calibrate in anni a.C. per alcuni degli ambienti presi in esame.

L'interpretazione dei campioni provenienti dal periodo VI D deve tener conto che l'insediamento è molto complesso e costituito da una serie di fasi sovrapposte. Il periodo è datato tra il 2500 e il 2000 a.C., in figura 5.4 si possono vedere le date disponibili (tutte di VI D2) per gli ambienti presi in esame. Anche in questo caso l'incertezza delle datazioni al radiocarbonio è superiore al dettaglio raggiunto dall'interpretazione archeologica ed è per questo motivo che in figura 4.6 sono disposti prima i campioni della fase VI D2 (A158, A406, A417, A491, A502, A516, A548, K702 E K684) seguiti da A818 (VI D2/3) e A544 (VI D3).

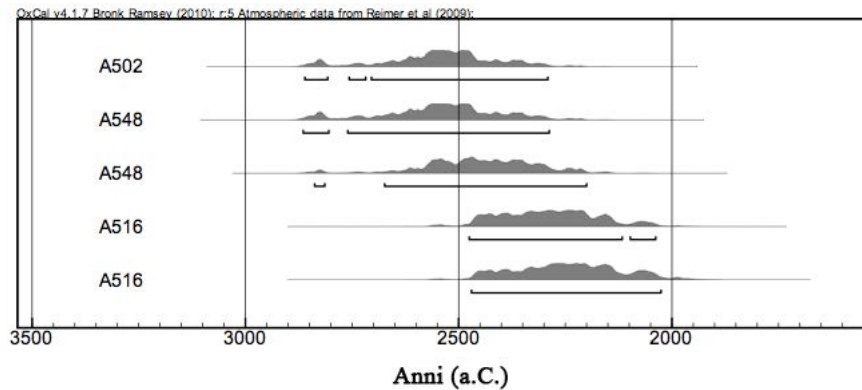


Figura 5.4 Date calibrate in anni a.C. per alcuni degli ambienti presi in esame.

I dati isotopici si presentano meno dispersi, mancano principalmente picchi riferibili ad aridità. È risaputo che in ambienti semi-desertici le piante sono particolarmente sensibili a fasi di aridità che evidentemente non sono stati registrati in questo periodo. I dati mostrano una sostanziale continuità rispetto alle fasi precedenti e anche una minore instabilità, sono però in disaccordo con i dati disponibili per la Grotta di Soreq che in questa fase registra una minore disponibilità di acqua.

5.2 Confronto dei dati isotopici del materiale carpologico

Per quanto riguarda i valori isotopici calcolati per i cereali il farro è più negativo dell'orzo solo nel periodo VI B1 di appena lo 0,1‰, in tutti gli altri casi ha valori maggiori. Le differenze vanno da un minimo di 0,1‰ (periodo VI B2) ad un massimo di 2,5‰ del periodo VI C in accordo con quanto riportato in letteratura per i campioni archeologici (Ferrio *et al.*, 2005; Riehl *et al.*, 2008; tab. 5.1, fig. 5.5).

Periodo	<i>Hordeum vulgare</i>					<i>Triticum dicoccon</i>				
	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max
VI A	-22,6	1,0	17	-24,0	-20,8	-21,1	0,7	13	-22,4	-20,0
VI B1	-21,8	1,1	6	-23,2	-20,5	-21,9	0,5	8	-22,7	-21,4
VI B2	-21,8	1,1	10	-23,1	-20,1	-21,7	0,5	10	-22,5	-21,0
VI C	-22,6	1,5	10	-23,8	-19,8	-20,1	0,8	4	-20,9	-19,4
VI D	-23,2	1,1	10	-24,1	-21,2	-22,2	0,9	10	-23,7	-21,3

Tabella 5. 1 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori di massimo e minimo per i campioni di *Hordeum vulgare* a sinistra e di *Triticum dicoccon* a destra per ogni periodo di Arslantepe.

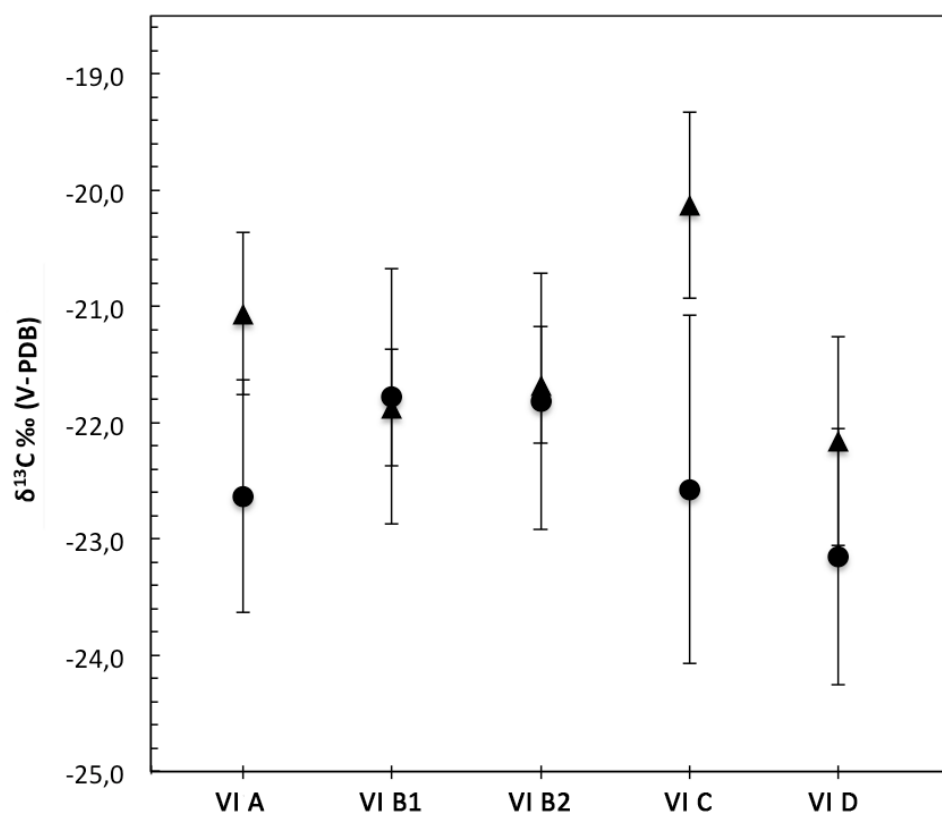


Figura 5. 5 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di orzo (pallini) e farro (triangoli) dei vari periodi, per ognuno sono visibili le medie e le deviazioni standard di tutti i campioni.

Il farro matura qualche settimana più tardi dell'orzo. Per questo motivo le cariossidi di *T. dicoccon*, arrivando a maturazione in condizioni di diminuzione di umidità, hanno valori di $\delta^{13}\text{C}$ più positivi. I materiali analizzati per Arslantepe si comportano in questo modo ad eccezione dei periodi denominati VI B1 e VI B2. Il trattamento riservato all'orzo non si è modificato nel tempo, dal momento che i suoi valori registrano piccole differenze statisticamente non significative, ad esclusione del confronto tra i periodi di VI B e il VI D ($P < 0,02$). Al contrario, il frumento si discosta di solo 0,1‰ da *Hordeum* nel VI B2 e, nel caso del VI B1 è addirittura più negativo, evidenziando chiaramente che le due colture sono cresciute sotto regimi idrici differenti, dimostrando un'anomalia nella registrazione isotopica. Ciò dimostra inequivocabilmente che in questi due periodi il farro aveva a disposizione più acqua dell'orzo. È probabile che venisse irrigato, o coltivato in zone con suoli più umidi, mentre l'orzo era lasciato crescere con la sola acqua piovana proprio per le sue caratteristiche di buona resistenza all'aridità. Conclusioni analoghe sono state tratte per campioni provenienti dalla Spagna e dalla Siria (Ferrio *et al.*, 2005). Vernet *et al.* (1996) e Riehl *et al.* (2008) parlano esplicitamente di irrigazione selettiva del genere *Triticum* mentre l'orzo veniva lasciato crescere con la sola acqua di precipitazione. Ferrio *et al.* (2005) riportano la possibilità che i terreni migliori venissero selezionati per essere destinati alla coltivazione del frumento. Questo sarebbe non solo irrigato, ma anche piantato in suoli umidi, magari prossimi a corsi di fiumi o sorgenti. È possibile che tale pratica si colleghi con il fatto che l'orzo potrebbe essere stato utilizzato anche per l'alimentazione degli animali. Uno studio in corso riguardo al materiale carpologico del periodo VI B2 sembra confermare l'ipotesi che almeno una parte del raccolto di orzo fosse destinato, appunto, per il foraggiamento dei bovini (Masi & Piccione, in preparazione).

Nel periodo VI C il farro è del 2,5‰ più positivo dell'orzo, una grande differenza rispetto al VI A dove, a parità di valore $\delta^{13}\text{C}$ dell'orzo, il farro è più positivo di 1,5‰, e al periodo VI D, dove la differenza è di 1,0‰. Secondo i dati archeobotanici questo ambiente ha caratteristiche uniche rispetto agli ambienti degli altri periodi per la presenza di migliaia di cariossidi di orzo a dispetto di qualche decina di cariossidi di farro. Il secondo *taxon* per abbondanza è il cece che ben resiste alla siccità, mentre non tollera l'umidità eccessiva. Dal momento che, al contrario degli altri periodi, in questo caso abbiamo una sola stanza bruciata, l'interpretazione dei dati ha sempre lasciato un margine alla possibilità di una maggiore presenza di farro nel periodo in situazioni non conservate. I risultati isotopici invece fanno supporre che la presenza di farro sia casuale. Un $\delta^{13}\text{C}$ così positivo rispetto all'orzo ha tre possibili spiegazioni. La meno probabile, ma non per questo trascurabile, è una possibile diminuzione nella disponibilità di acqua che sarebbe evidenziata sia dal valore di farro così positivo, sia dall'uso del cece che è una pianta adattata all'aridità. Questa interpretazione si trova però in contrasto con i dati isotopici per l'orzo, in linea con gli altri periodi archeologici, tanto più perché è un *taxon* che cresce bene in climi aridi. La seconda ipotesi riguarda il momento dell'incendio che ha distrutto la stanza e che conserva un'istantanea del suo contenuto. La raccolta dell'orzo e del cece è assai vicina e precede quella del frumento che potrebbe non essere stato ancora raccolto al momento dell'incendio. Una terza ipotesi prevede la possibilità di un cambiamento culturale che ha portato alla coltivazione del cece, precedentemente raro.

L'orzo del periodo VI D risulta statisticamente differente da quello dei periodi VI B e presenta il valore più negativo di tutti i periodi. Ciò è in contraddizione con i dati paleoambientali disponibili per il periodo, che dovrebbe essere stato piuttosto arido, ma non con quanto visto precedentemente per i materiali antracologici.

5.3 Confronto dei dati isotopici del materiale di riferimento

Per quanto riguarda i valori isotopici calcolati per i il materiale attuale di riferimento, alcuni dati riguardanti la quercia si sovrappongono a quelli di ginepro come accade nei campioni archeologici. In generale la media dei valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di legno di ginepro cresciuti nella piana di Malatya nel 2008 è di $-23,2 \pm 1,1\text{‰}$ mentre quella dei legni di quercia è $-26,3 \pm 0,7\text{‰}$. I valori $\delta^{13}\text{C}$ calcolati per le foglie sono rispettivamente $-25,0 \pm 1\text{‰}$ per il ginepro e $-27,2 \pm 1\text{‰}$ per la quercia. (Tab. 5.2). I valori per i due *taxa* sono statisticamente diversi ($P < 0,001$) in accordo con la letteratura riguardo le differenze tra conifere e angiosperme (Hemming *et al.*, 1998).

La prima considerazione riguarda la differenza tra i dati isotopici di foglie e rami. Per entrambi i *taxa* la differenza è significativa, con le foglie sempre meno negative dei rami ($P < 0,02$ per la quercia e $P < 0,001$ per il ginepro). Anche il confronto interspecifico conferma l'importanza di non paragonare mai campioni provenienti da piante o parti di piante diverse. Guardando infatti al confronto tra i *taxa*, sia per i rami che per le foglie appare evidente la loro diversità ($P < 0,001$).

		<i>Quercus gr. caducifoglie</i>						<i>Juniperus sp.</i>					
		Stazione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max	Stazione	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ V-PDB	Dev. St.	Misure	Min	Max
Rami	1	-26,1	0,3	4	-26,4	-25,8							
	2	-27,4	0,5	2	-27,7	-27,0							
	3	-25,8	1,3	2	-26,7	-24,8	3	-22,0	0,5	2	-22,3	-21,6	
	4	-26,4	0,3	2	-26,6	-26,2	4	-23,6	1,6	6	-25,6	-22,1	
	5	-25,6	0,4	2	-25,9	-25,3	5	-24,0	0,6	2	-24,4	-23,6	
Foglie	1	-25,9	0,6	5	-26,4	-25,0							
	2	-28,6	0,2	3	-28,7	-28,4							
	3	-26,9	0,9	6	-28,2	-26,0	3	-24,3	0,3	3	-24,5	-24,0	
	4	-27,6	0,5	6	-28,2	-27,1	4	-26,2	1,2	6	-27,9	-24,6	
	5	-27,2	0,3	6	-27,3	-26,6	5	-24,5	0,5	2	-24,8	-24,1	

Tabella 5. 2 Valori medi di $\delta^{13}\text{C}$, relative deviazioni standard, numero delle misure e valori di massimo e minimo per i campioni di *Quercus gr. caducifoglie* a sinistra e di *Juniperus sp.* a destra per i materiali di riferimento attuali.

L'intervallo di variabilità tra i campioni di uno stesso elemento è significativa ed è utile per comprendere quali variazioni possono essere attribuite ai cambi climatici e quali sono insite nella pianta. I rami di piante cresciute durante il 2008 presentano un intervallo di variabilità di 2,9‰ nella quercia e 4,0‰ per il ginepro, mentre per le foglie la variabilità è maggiore (3,8‰

per la quercia e 3,9‰ per il ginepro). Questa alta variabilità è in accordo con la letteratura al riguardo (Damesin *et al.*, 1997; Cernusak *et al.*, 2001; Van de Water *et al.*, 2002) e riflette quella naturale dovuta alle caratteristiche dei singoli individui, alle condizioni micro-ambientali di crescita, al versante di esposizione della pianta, alle caratteristiche delle sue foglie, ecc. A conferma di questo si vede che il valore isotopico di piante cresciute vicine (stessa stazione) è compreso in un intervallo minore di 1,8‰ per le querce (fig. 5.6).

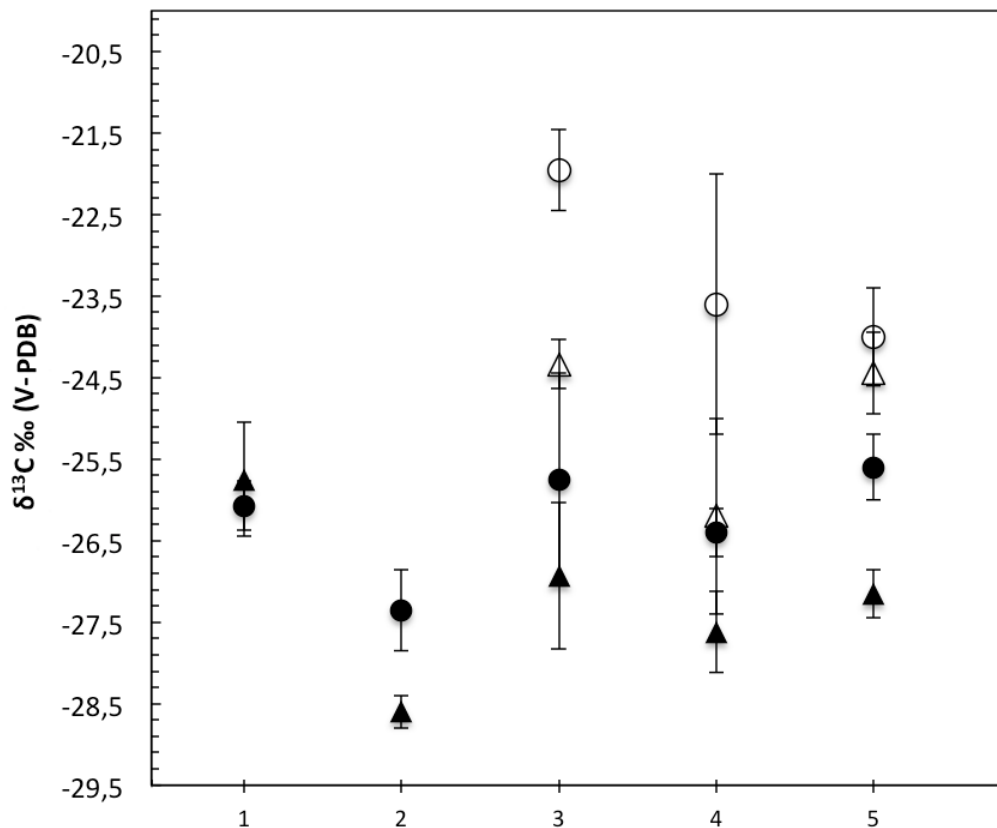


Figura 5.6 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di rami (pallini) e foglie (triangoli) per le cinque stazioni. I campioni di *Quercus gr. caducifoglie* sono rappresentati con i simboli pieni, i campioni di *Juniperus sp.* con quelli vuoti.

Il sito di Arslantepe è circondato da alture, quindi è molto probabile che i materiali ritrovati nel sito provengano da questi rilievi. Lo studio di Warren *et al.* (2001) correla le variazioni di $\delta^{13}\text{C}$ con l'aumento della quota per legni di conifere. In figura 5.7 si è provveduto a confrontare i dati isotopici in relazione con le variazioni di quota delle stazioni di raccolta del materiale. Effettivamente si nota una certa relazione tra i valori del contenuto isotopico dei legni di ginepro e l'altitudine sul livello del mare che non si osserva per i campioni di quercia. Le differenze però non sono statisticamente significative ($P > 0,06$). Questo vuol dire che è possibile effettuare dei confronti tra il materiale archeobotanico anche se non si hanno informazioni riguardo la quota a cui le piante sono cresciute.

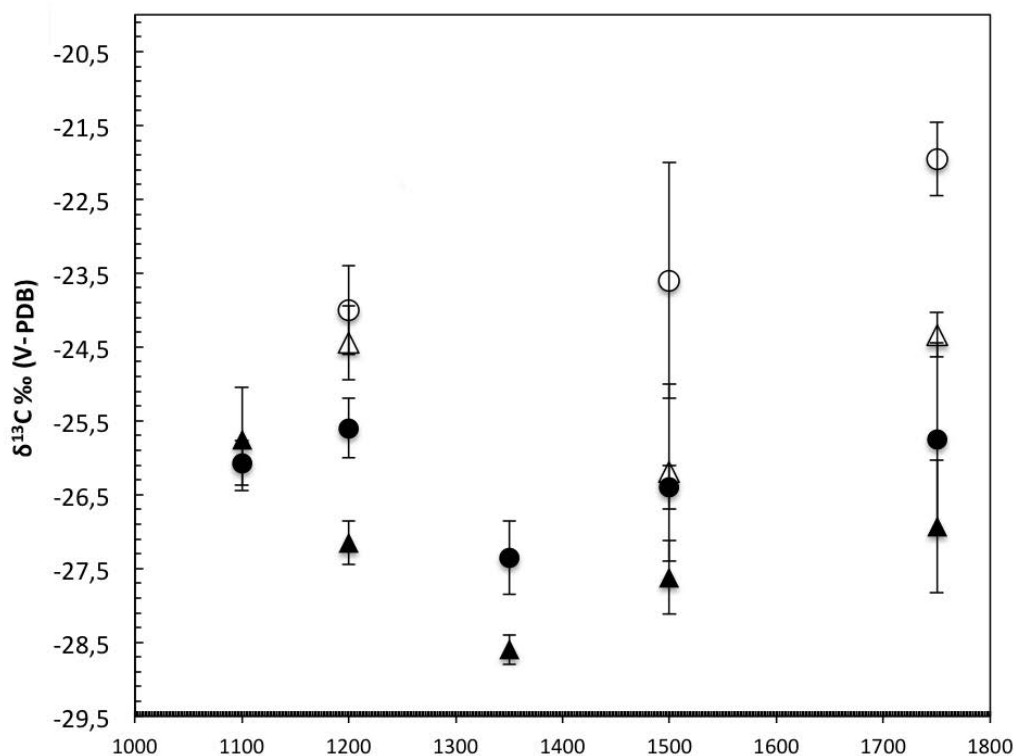


Figura 5. 7 Valori di $\delta^{13}\text{C}$ per i campioni di rami (pallini) e foglie (triangoli) ordinati secondo la quota (m s.l.m.) delle stazioni di raccolta. I campioni di *Quercus gr. caducifoglie* sono rappresentati con i simboli pieni, i campioni di *Juniperus sp* con quelli vuoti.

5.4 Discussione generale

Per poter effettuare una ricostruzione paleoambientale a partire dai dati ottenuti è necessario poter confrontare i dati provenienti dal sito di Arslantepe con quelli di altri siti e dei campioni attuali dell'area. Per fare questo è stato necessario calcolare il $\Delta^{13}\text{C}$ che, tenendo conto dei cambiamenti del CO_2 atmosferico ($\delta^{13}\text{C}_{\text{aria}}$), permette di normalizzare i dati, specialmente per il confronto tra campioni archeobotanici e attuali. Nella lettura dei dati si deve tener conto che valori minori corrispondono a una diminuzione della disponibilità di acqua.

L'insieme dei dati ottenuti dal materiale archeobotanico analizzato presenta alcune differenze a seconda del *taxon* preso in considerazione (fig. 5.8). I dati riguardanti *Triticum dicoccon* hanno dato informazioni preziose circa le pratiche agricole che si svolgevano ad Arslantepe, ma non sono affatto utilizzabili per una ricostruzione paleoambientale dal momento che sono influenzati dall'azione antropica. I dati dei *taxa* arborei mostrano una forte variabilità per il VI A. I valori più antichi di ginepro e di quercia sembrano rappresentare una maggiore aridità, ma sono sfalsati nel tempo di circa 200 anni, rispettivamente 3400 e 3200 a.C. La mancata corrispondenza non sembra dovuta a problemi nelle datazioni archeologiche, quanto forse, all'estrema variabilità climatica registrata nel periodo, per esempio negli speleotemi (Bar Matthew *et al.*, 1997), dove si evidenziano più momenti di aridità in corrispondenza del

periodo VIA. Le due curve mostrano concordemente un netto aumento della disponibilità di acqua che interessa l'ultima parte del periodo VI A e tutto il VI B1 (3000-2900 a.C.).

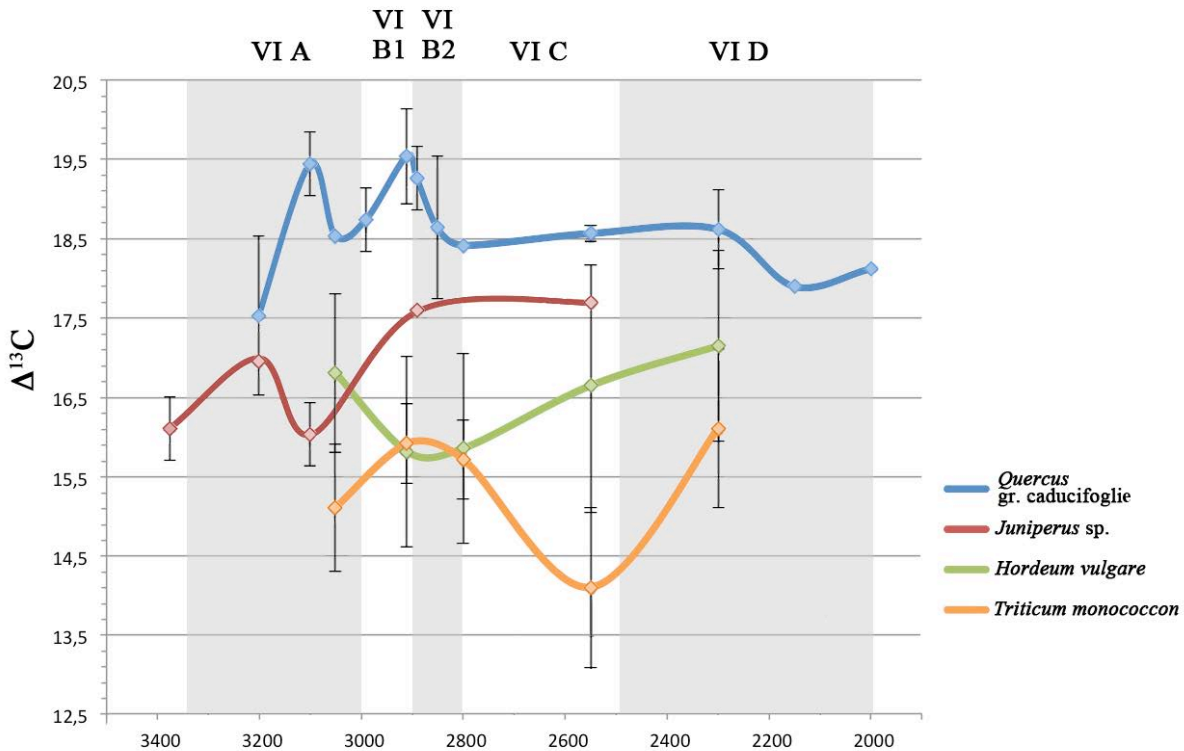


Figura 5.8 Curve dei valori di $\Delta^{13}\text{C}$ per i campioni archeobotanici ordinati in anni a.C. In grigio e in bianco sono state evidenziate le fasi archeologiche.

La fase VI B2 (2900-2800 a.C.) vede un brusco calo della disponibilità di acqua seguito da un periodo di stabilità climatica che si protrarrà per circa 350 anni, abbracciando tutto il periodo VI C e circa metà del VI D. Le condizioni in questa fase appaiono migliori di quelle che si hanno precedentemente al 3200 a.C. e tendono a un inaridimento a partire dal 2200 a.C. ca.

Il confronto con i materiali attuali per i campioni di *taxa* arborei evidenzia nettamente che il clima tra la fine del IV e il III millennio a.C. era più umido rispetto all'attuale, cioè di quanto indicato dai dati ottenuti per il legno cresciuto nel biennio 2007-2008 (fig. 5.9). Questo è particolarmente evidente per i campioni di *Juniperus* sp., mentre per i campioni di *Quercus* gr. caducifoglie i valori antichi sono al di sotto di quelli attuali sia intorno al 3200 a.C. sia verso la fine del periodo considerato, evidenziando come le fasi centrali dello sviluppo di Arslantepe siano correlabili con una maggiore disponibilità di acqua.

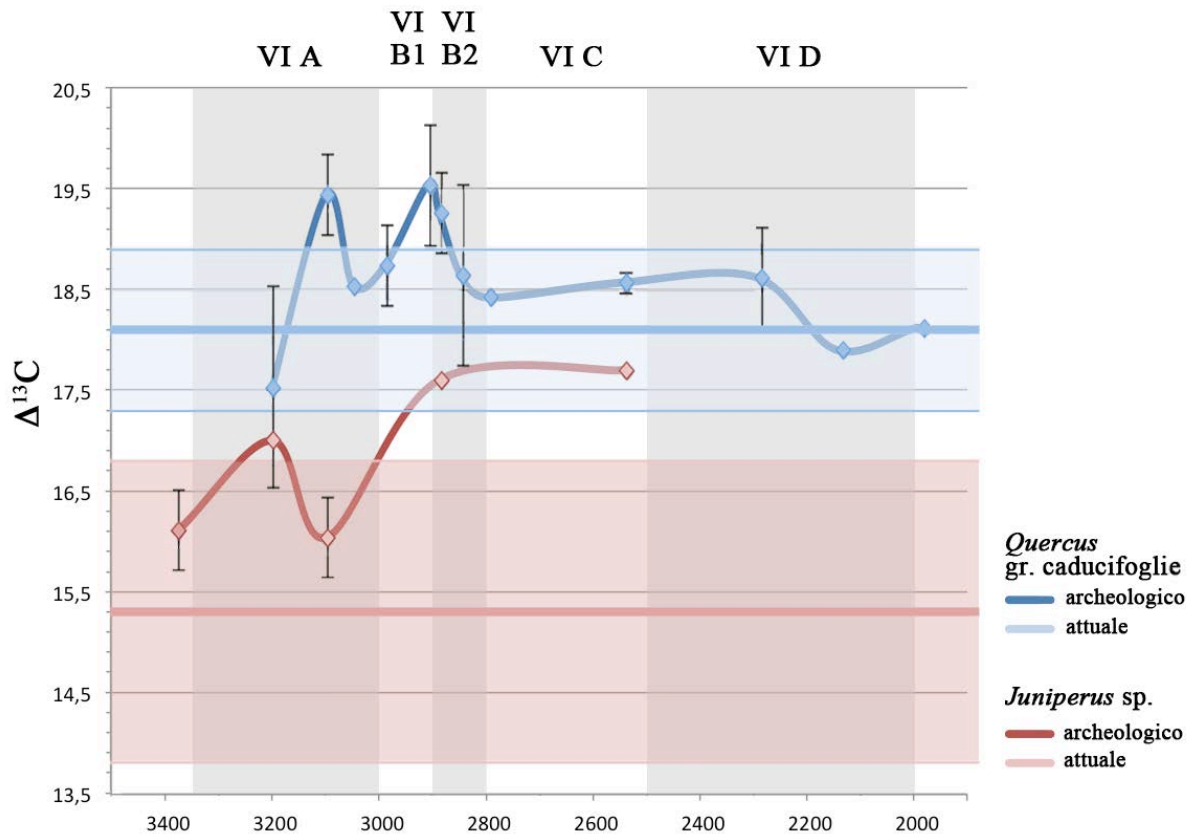


Figura 5.9 Curve dei valori di $\Delta^{13}C$ per i campioni antracologici ordinati in anni a.C. Le linee più chiare rappresentano il valore medio ottenuto per i materiali di riferimento (anno 2008) mentre le aree colorate sono i rispettivi intervalli di errore.

Come detto precedentemente non si possono, prendere in considerazione i campioni di farro per la ricostruzione paleoambientale, in quanto la coltura è stata messa dall'uomo nelle condizioni migliori per resistere all'aumento di siccità registrato nel VI B2.

La curva di orzo di Arslantepe, mostra un andamento molto simile a quelle di farro e di orzo desunte da studi isotopici di campioni archeologici provenienti da Giordania, Siria e Libano (Riehl *et al.*, 2008; fig. 5.10), che registrano tutte un picco di minore disponibilità idrica intorno ai 2800 anni a.C. Questa minore disponibilità è in contrapposizione con la curva del farro di Arslantepe, che, al contrario, registra un incremento di umidità. Questo confronto è un'ulteriore conferma del fatto che la coltura del farro del VI B è influenzata dall'intervento dell'uomo. Apparentemente i legni indicano che il VI B1 ha visto un aumento dell'umidità, e quindi di miglioramento delle condizioni ambientali.

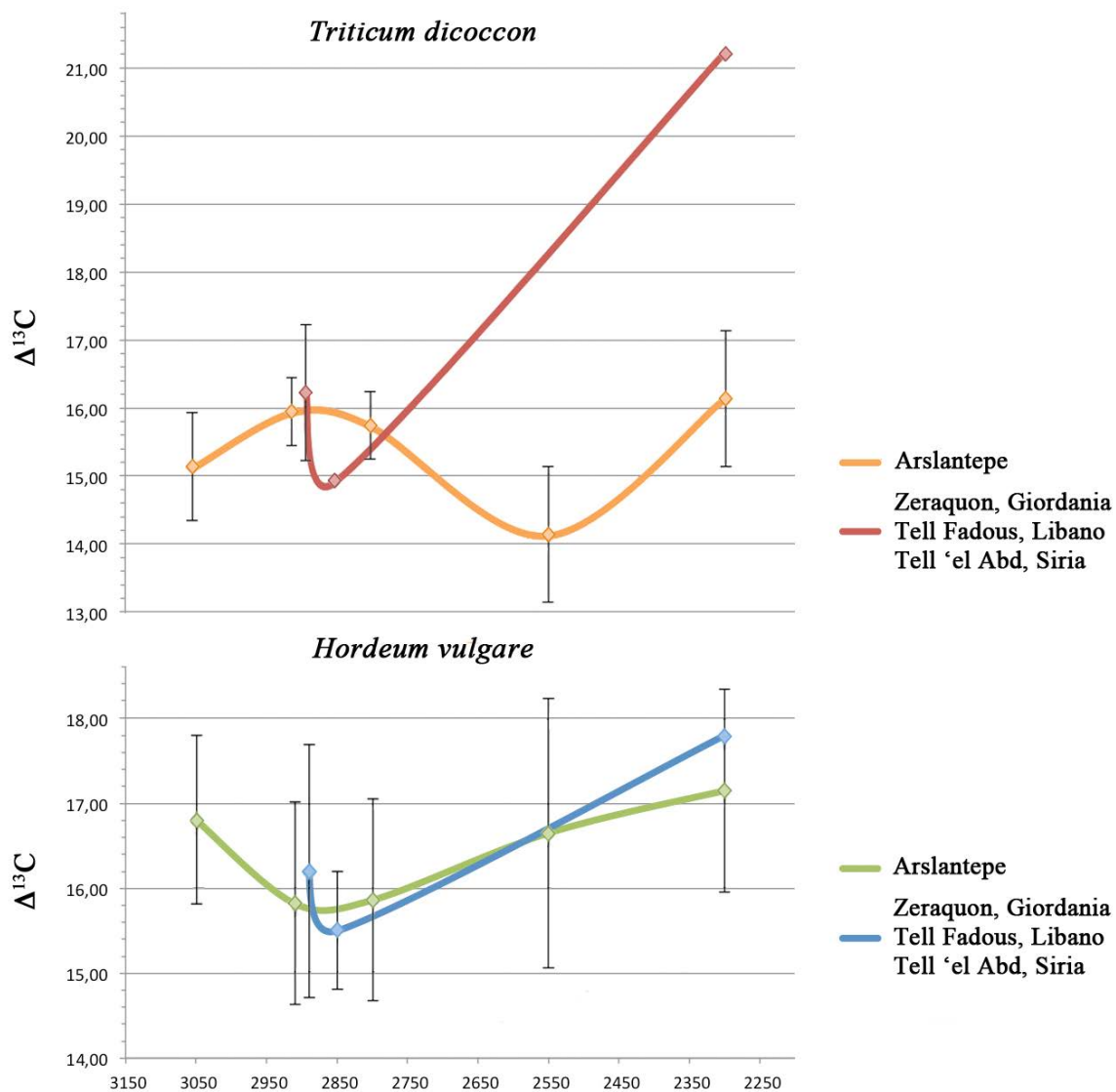


Figura 5. 10 Curve di confronto tra i valori di $\Delta^{13}\text{C}$ dei campioni di farro e orzo di Arslantepe e i dati riportati da Riehl *et al.*, 2008 su scala cronologica espressa in anni a.C.

Il confronto con le curve climatiche per il periodo è visibile in figura 5.11, dove i valori ottenuti per Arslantepe sono confrontati con quelli disponibili in letteratura (Bar-Matthews *et al.*, 1997; Riehl *et al.*, 2008; Wick *et al.*, 2003). Purtroppo non è stato possibile effettuare confronti con il lavoro di Fiorentino *et al.* (2008) che analizza la composizione isotopica per i campioni provenienti da Ebla che, però, risultano più recenti di quelli provenienti da Arslantepe. I dati di $\delta^{18}\text{O}$ degli speleotemi della grotta di Soreq mostrano un'ottima corrispondenza con i dati isotopici per i legni di quercia di Arslantepe. Nello confronto delle curve i due picchi aridi a circa 3200 a.C. e 3050 anni a.C. corrispondono perfettamente, così come i due picchi di umido, rispettivamente a circa 3100 e 2900 anni a.C. A questa fase segue un periodo di relativa stabilità, anch'esso visibile da entrambi i registri, in particolare nella curva ottenuta per i campioni di Arslantepe. La differenza è nell'andamento generale verso condizioni di minore umidità che è ben visibile nella curva tratta dagli speleotemi, ma non altrettanto ad Arslantepe, almeno fino a circa 2350 anni a.C. La collocazione geografica di

Arslantepe si dimostra ancora una volta un fattore vincente nello sviluppo di questo sito che è in grado di far fronte al peggioramento delle condizioni ambientali con un “effetto tampone” che si esaurisce solo durante l’ultima fase abitativa presa in considerazione.

I dati di $\delta^{18}\text{O}$ disponibili per il Lago di Van non registrano le brusche fluttuazioni che precedono il 2900 a.C., probabilmente a causa della minore risoluzione dei dati, o all’effetto mitigatore che un bacino così grande ha avuto sulla vegetazione circostante. Il periodo di relativa stabilità è ben rappresentato, ma vede un brusco calo appena prima del 2400 a.C. di cui non c’è traccia nel record di Arslantepe. Il peggioramento delle condizioni di umidità visibile a 2350 a.C. ad Arslantepe è in contrapposizione con una breve fase in cui le condizioni del lago sembrano essere indicatrici di una maggiore disponibilità di acqua.

I dati di $\delta^{13}\text{C}$ su materiale archeobotanico disponibili per il Vicino Oriente sembrano corrispondere meglio con i dati dei sedimenti del lago di Van piuttosto che con quelli di Arslantepe e della Grotta di Soreq. Questo dato lascia sorpresi dal momento che il lago di Van è molto più vicino ad Arslantepe di quanto non sia la Grotta di Soreq.

La curva ottenuta per una serie di campioni appartenenti al genere *Hordeum* provenienti da alcuni siti del Vicino Oriente non corrisponde con quanto messo in evidenza dai risultati delle analisi sull’orzo effettuate per Arslantepe. In figura 5.10 erano stati presi in considerazione i valori medi per tre siti coevi ai periodi di Arslantepe evidenziando un’ottima corrispondenza. La curva costruita da Riehl *et al.* (2008) presentata in figura 5.11 è, invece, costruita dai singoli valori ottenuti per campioni provenienti da diversi siti anche molto distanti tra loro.

È chiaro comunque che per un confronto univoco e a scala temporale secolare o addirittura decennale è necessario che i metodi di datazione disponibili attualmente siano affinati. L’incertezza delle datazioni radiocarbonio e il materiale datato di volta in volta possono creare notevoli problemi a riguardo. Questo è ancor più vero quando si tenta la costruzione di record compositi, tentativo encomiabile ma passibile di notevoli imprecisioni cronologiche. I record infatti potrebbero registrare momenti diversi, presi a intervalli temporali diversi.

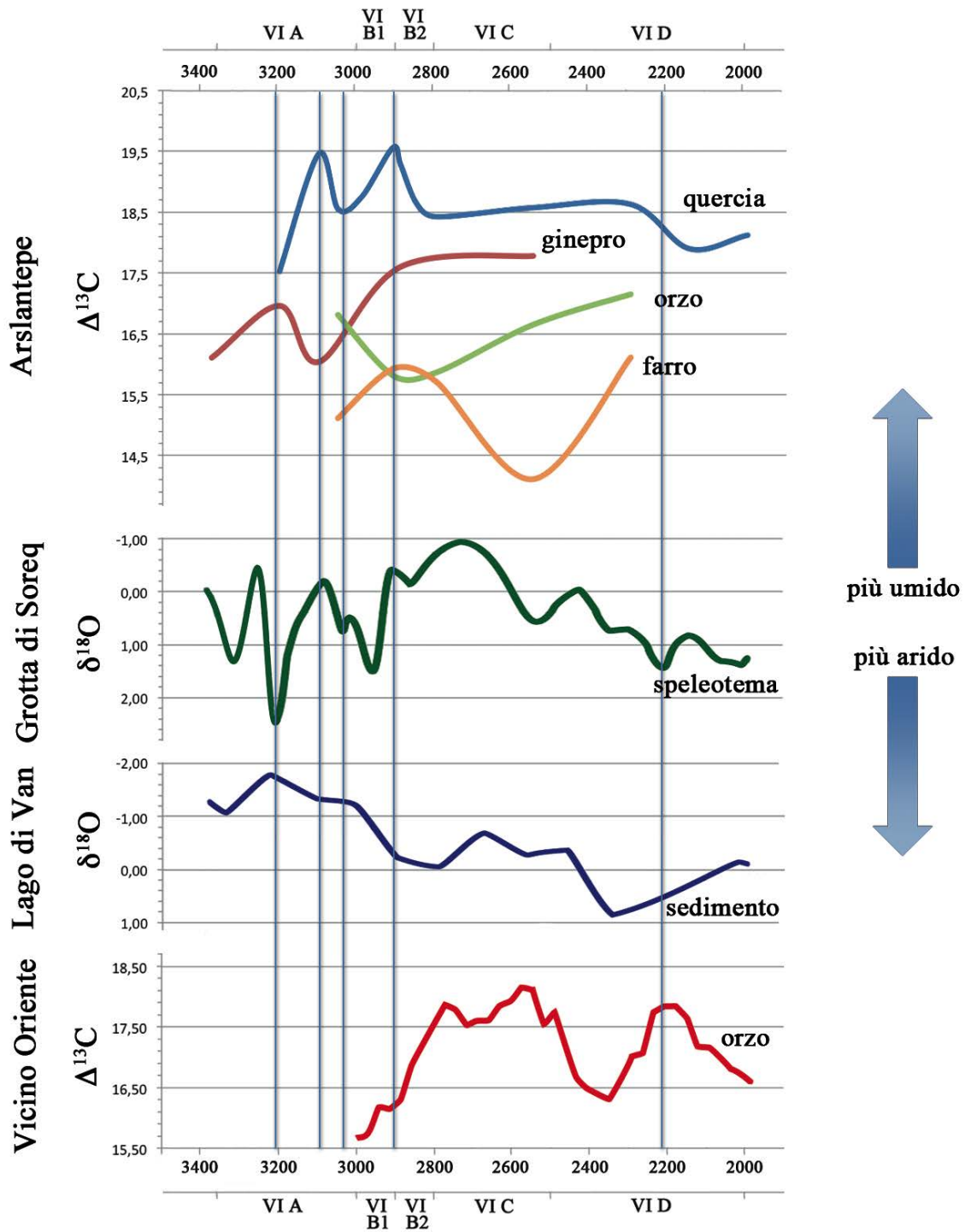


Figura 5. 11 Curve di confronto tra i dati di Arslantepe e i dati disponibili in letteratura: Bar-Matthews *et al.*, 1997 per la Grotta di Soreq; Wick *et al.*, 2003 per il Lago di Van; Riehl *et al.*, 2008 per il Vicino Oriente. Le date sono mostrate in anni a.C.

Conclusioni

L'analisi degli isotopi stabili del carbonio è una metodologia sempre più spesso utilizzata per le ricostruzioni paleoambientali in archeologia. Il suo pregio è quello di essere in grado di trarre informazioni esclusivamente ambientali da materiali archeobotanici. I dati archeobotanici, infatti, sono sempre un risultato della commistione tra dati climatici/ambientali e selezione umana. L'analisi archeobotanica tradizionale si prefigge di discernere tra questi due fattori attraverso un difficile e incerto lavoro di interpretazione del dato, alla luce delle informazioni paleoambientali disponibili per la regione. Il rapporto isotopico del carbonio, essendo un dato esclusivamente paleoambientale, permette di escludere il fattore di selezione antropica.

Sono stati pubblicati molti lavori al riguardo, alcuni di grande dettaglio, altri in parte confusionari. Sebbene tutte le metodologie necessarie a questo tipo di indagine siano state utilizzate in lavori precedenti, non è possibile trovare nessun'altro lavoro che si occupi contemporaneamente di tanti aspetti diversi dell'analisi isotopica applicata ai materiali archeobotanici. In questo lavoro si è cercato di fare chiarezza, affrontando le diverse problematiche nel modo più rigoroso possibile. Lo studio di *taxa* diversi, sia arborei (*Quercus* gr. caducifoglie e *Juniperus* sp.) che di piante annuali eduli (*Triticum dicoccon* e *Hordeum vulgare*) ha evidenziato quanto sia importante non confrontare direttamente *taxa* diversi per non attribuire a variazioni ambientali quelle che sono semplicemente delle variazioni dovute alle caratteristiche intrinseche delle specie. Curve ottenute da campioni appartenenti a *taxa* diversi sono semplicemente prive di senso. Un altro aspetto evidente, a cui è stato dato particolare peso in questo lavoro, è l'importanza di effettuare un numero consistente di analisi per diversi periodi in uno stesso sito. In questo modo si può sfruttare la stratigrafia

archeologica che fornisce campioni in ordine cronologico.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ sono correlati principalmente con il clima, ma risentono di una serie di fattori ambientali che provocano una certa variabilità nei dati. Solo un numero significativo di analisi può eliminare le eccessive oscillazioni, mettendo in evidenza il solo dato climatico. Questo appare evidente nelle analisi effettuate su piante arboree attuali provenienti dalla zona (*Quercus* gr. caducifoglie e *Juniperus* sp.), la cui variabilità naturale del rapporto isotopico, in esemplari contemporanei appartenenti allo stesso *taxon*, può essere anche molto alta. La preziosità e la fortuità dei ritrovamenti di materiale archeobotanico appaiono come un serio limite a questo tipo di analisi che richiede una certa disponibilità di materiale in ordine di numero e variabilità di specie. A tal proposito è necessario sottolineare l'importanza del sito prescelto, un *unicum* per continuità abitativa, reperti archeobotanici e collocazione geografica. Un altro aspetto preso in considerazione è stato il tentativo di capire quanto fossero rappresentative le ricostruzioni paleoambientali effettuate sulla base di materiali provenienti da siti distanti. Il confronto con i dati disponibili in letteratura (Riehl *et al.*, 2008) ha dimostrato l'efficacia di questo tipo di analisi, mettendo comunque in evidenza il problema comune delle cronologie. Altri lavori non risultano invece di grande aiuto perché, pur coprendo periodi simili in regioni limitrofe, la curva è composta con dati ottenuti da materiali e *taxa* diversi (Fiorentino *et al.*, 2008; Roberts *et al.*, 2011b). Le datazioni in generale, infatti, creano problemi di sovrapposizione per tutti i record paleoclimatici. La storia climatica del Vicino Oriente è complessa e risulta in gran parte ancora da scrivere. Questa problematica però esula dall'efficacia del metodo e può essere in parte aggirata. I dati archeologici, infatti, sono stratigraficamente ordinati e permettono di costruire, come per i record lacustri, cronologie "fluttuanti" dipendenti dalle datazioni radiometriche ottenute finora, che potranno essere affinate in futuro. Per il sito di Arslantepe è stato possibile prendere in considerazione oscillazioni dei dati isotopici di circa un secolo (inizio del III millennio a.C.), al di sotto della risoluzione delle date ^{14}C , grazie appunto alla chiara stratigrafia archeologica.

Per il sito di Arslantepe l'analisi degli isotopi stabili del carbonio ha permesso di creare delle curve isotopiche per ogni *taxon* studiato (fig. 5.11) e di confrontarle con i record disponibili per la regione. La curva delle querce caducifoglie corrisponde molto bene ai dati ottenuti dagli speleotemi della Grotta di Soreq, evidenziando una fase di grandi oscillazioni climatiche tra il 3200 e il 2800 a.C. circa con un'alternanza di episodi, nettamente più umidi, registrati a circa 3100 e 2900 anni a.C., e nettamente più aridi a circa 3200 a.C. e 3050 anni a.C. Entrambi i registri paleoambientali vedono seguire un periodo di relativa stabilità, interrotto, ad Arslantepe da un momento più arido a partire da circa 2350 anni a.C. La curva dei dati isotopici di ginepro è più breve a causa della mancanza di materiali analizzabili per alcune fasi di vita del sito. La curva nella fase di instabilità iniziale ha un andamento opposto alla curva della quercia, probabilmente a causa di problemi legati alla datazione di singoli elementi strutturali, ma registra ugualmente picchi contrastanti. Successivamente anch'essa si attesta su valori stabili. Sono stati presi in considerazione anche altri registri paleoambientali (il Lago di Van e alcune curve composite ottenute dallo studio isotopico di cariossidi di orzo provenienti da vari siti archeologici del Vicino Oriente) ma questi non concordano nel dettaglio con i dati di Arslantepe. Nonostante questo, l'andamento generale sembra essere lo

stesso, con una situazione divisa in tre momenti fondamentali: una fase di instabilità che precede il 2800 a.C.; una seconda fase di stabilità climatica (che termina a partire da circa 2350 anni a.C. per Arslantepe); un ritorno a un clima più arido nell'ultima fase del III millennio a.C. non riscontrabile negli altri registri presi in esame.

I dati isotopici calcolati per le cariossidi di Arslantepe a una prima lettura danno valori discordanti tra loro e in confronto ai dati ottenuti per i campioni lignei. L'*H. vulgare* (orzo) e il *T. dicoccon* (farro) hanno curve diverse per una serie di motivi. L'orzo arriva a maturazione in primavera, qualche settimana prima del farro. Per questo motivo le cariossidi di *T. dicoccon*, sviluppandosi in condizioni di diminuzione di umidità, hanno valori di $\delta^{13}\text{C}$ più positivi. La sovrapposizione dei valori isotopici di farro e orzo durante i periodi VI B1 e VI B2 testimonia come in queste fasi il regime idrico del farro sia molto più favorevole di quello dell'orzo. Ciò non accade, ad esempio, nei siti esaminati da Riehl *et al.*, (2008) dove le curve di orzo e farro hanno andamenti paralleli. La curva di orzo di Arslantepe - perfettamente concorde ai valori medi ottenuti da Riehl e colleghi (2008) - è opposta a quella di farro per i periodi di VI B. La diminuzione di umidità registrata dai valori isotopici è tale da non permettere più la coltura del farro con un regime di sole precipitazioni. Le popolazioni che abitavano il *tell* in quel periodo devono aver messo in atto una serie di strategie per poter continuare a coltivare il farro. È opinione comune che l'orzo venisse lasciato crescere con la sola acqua piovana, grazie alle sue caratteristiche di buona resistenza all'aridità, mentre per far crescere il farro venissero messe in atto strategie diverse (Riehl *et al.*, 2008; Ferrio, 2005). Una possibilità è che ci fosse un meccanismo di irrigazione dei campi di farro, ma non bisogna trascurare l'ipotesi che ci fossero altri metodi per favorire questa coltura, come ad esempio, una selezione dei terreni migliori magari prossimi a corsi di fiumi o sorgenti. Questo è un caso evidente del rischio che si corre nell'interpretazione di dati calcolati su singole specie e non confrontati tra di essi. La curva del *T. dicoccon* da sola non può perciò essere considerata attendibile per la ricostruzione ambientale ma, se confrontata con quella di *H. vulgare*, offre elementi utili per l'interpretazione archeologica.

Il momento di poca disponibilità idrica (circa 2800 a.C.) segue di poco il momento di maggiore disponibilità in assoluto registrato dalla curva delle querce. Questo dato però è, per alcuni versi, discordante con i dati carpologici che vedono un netto aumento nell'uso del cece (*Cicer aretinum*) una pianta che cresce in climi aridi. Diversi motivi possono essere addotti a giustificazione di questo ritrovamento. Oltre al più ovvio, quello di conoscenze diverse per culture diverse, possiamo aggiungere la possibilità che l'incendio sia avvenuto subito dopo il raccolto del cece e prima di quello dei frumenti, piante che maturano dopo. Non va infatti dimenticato che in uno scavo archeologico si hanno tante istantanee, e non l'intera pellicola, e che dalle prime non sempre è possibile ricostruire tutta la storia dell'insediamento, con una scansione temporale molto dettagliata.

Alla luce dei dati ottenuti da questo lavoro è interessante confrontare i risultati con l'interpretazione degli archivi archeobotanici fatta alla luce della presenza/assenza dei *taxa* e delle loro caratteristiche ecologiche (vedi paragrafo 2.3). Il confronto riserva qualche sorpresa. I dati antracologici evidenziano una diminuzione di piante igrofile e idrofile nei periodi VI B1, VI B2 e VI C, in contrapposizione con i periodi VI A e VI D. Questo farebbe pensare a una minore disponibilità idrica fra il 3000 a.C. e il 2500 a.C. che, però, non è affatto registrata dai

dati isotopici dei *taxa* legnosi. È possibile che la grande civiltà del VI A abbia sfruttato intensamente il territorio, causando un drastico impoverimento, se non la scomparsa momentanea, delle piante ripariali (gli ontani attualmente non sono presenti nei dintorni del sito). Evidentemente l'ontano e il pioppo hanno avuto bisogno di qualche centinaio di anni per tornare ad essere disponibili e utilizzati in quantità dalla popolazione di VI D. La componente di selezione umana gioca un ruolo fondamentale nella costituzione degli archivi archeobotanici e limita di molto l'interpretazione in luce paleoclimatica dei dati.

Il confronto con i dati isotopici attuali disponibili per i *taxa* arborei (*Quercus* gr. *caducifoglie* e *Juniperus* sp.) indica una concordanza con i record paleoambientali che vedono un aumento dell'aridità in tutto il Vicino Oriente. I valori del genere *Juniperus* per le piante attuali sono nettamente inferiori rispetto a quelli archeologici. Per quanto riguarda le querce caducifoglie la differenza non è così marcata, anzi alcune fasi presentano valori di $\Delta^{13}\text{C}$ più bassi, che indicano una disponibilità idrica inferiore a quella attuale. Il fatto che questi due momenti si collocano durante la prima e l'ultima fase di vita del sito dimostra quanto è stretto il legame che intercorre tra le variazioni ambientali e la storia dell'uomo. Allo stesso tempo però il collasso della grande civiltà di VI A non è da attribuire a un cambio climatico, come poteva far pensare la sola interpretazione dei dati archeobotanici. Al contrario, questa popolazione si è sviluppata facendo fronte a momenti di forte aridità che avrebbero messo in crisi civiltà meno avanzate. La collocazione di Arslantepe e la presenza di innumerevoli risorgive dimostra di essere ancora una volta un fattore determinante nello sviluppo del sito.

Questo studio è l'ennesima conferma del fatto che solo un approccio metodologico multidisciplinare e, soprattutto interdisciplinare nello studio paleoambientale può essere risolutivo per ricostruire il clima del passato e comprendere le complesse relazioni che riguardano le civiltà umane e il loro ambiente in un ecosistema complesso come quello del Vicino Oriente.

Bibliografia

- ABBO S., SHTIENBERG D., LICHTENZVEIG J., LEV-YADUN S., GOPHER A., 2003. The chickpea, summer cropping, and a new model for pulse domestication in the ancient near east. *The Quarterly Review of Biology*, 78, 4, 435-448.
- AGUILERA M., ARAUS J.L., VOLTAS J., RODRÍGUEZ-ARIZA M.O., MOLINA F., ROVIRA N., BUXÓ R., FERRIO J.P., 2008. Stable carbon and nitrogen isotopes and quality traits of fossil cereal grains provide clues on sustainability at the beginnings of Mediterranean agriculture. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 22, 1653-1663.
- AGUILERA M., ESPINAR C., FERRIO J.P., PÉREZ G., VOLTAS J., 2009. A map of autumn precipitation for the third millennium BP in the Eastern Iberian Peninsula from charcoal carbon isotopes. *Journal of Geochemical Exploration*, 102, 157-165.
- ALLEY R.B., MAYEWSKI P.A., SOWERS T., STUIVER M., TAYLOR K.C., CLARK P.U., 1997. Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology* 25, 483-486.
- ALESSIO M., ALLEGRI L., AZZI C., BELLA F., CALDERONI G., CORTESI C., IMPROTA S., PETRONE V., 1983. ¹⁴C Dating of Arslantepe. *Origini*, 12, 575-580.
- ALESSIO M., BELLA F., IMPROTA S., BELLUOMINI G., CALDERONI G., CORTESI C., TURI B., 1976. University of Rome Carbon-Dates XIV. *Radiocarbon*, 18, 3, 321-349.
- ALVARO C., SADORI L., MASI A., SUSANNA F., 2010. Timber use at the end of the 4th millennium BC at Arslantepe. In: Frangipane, M. (ed.). *The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th Millennium Arslantepe*. Studi di Preistoria Orientale (SPO), vol. 3, Sapienza Università di Roma, 81-93.
- ANDERBERG A.L., 1994. Atlas of seeds. Swedish Museum of Natural History, Stockholm.
- ANDERSON W.T., BERNASCONI S.M., MCKENZIE J.A., SAURER M., 1998. Oxygen and carbon isotopic record of climatic variability in tree ring cellulose (*Picea abies*): An example from central Switzerland (1913-1995). *Journal of Geophysical Research* 103, 31,625-31,636.
- ARAUS J.L., AMARO T., CASADESUS J., ASBATI A., NACHIT M.M., 1998. Relationships between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 25, 835-842.

- ARAUS J.L., BUXÓ R., 1993. Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from the north-western Mediterranean basin during the past seven millenia. *Australian Journal of Plant Physiology* 20, 117-128.
- ARAUS J.L., FEBRERO A., BUXÓ R., CAMALICH M.D., MARTIN D., MOLINA F., RODRIGUEZ-ARIZA M.O., ROMAGOSA I., 1997a. Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean basin during the past seven millennia. Palaeoenvironmental evidence of a differential change in aridity during the late Holocene. *Global Change Biology*, 3, 107-118.
- ARAUS J.L., FEBRERO A., BUXÓ R., RODRIGUEZ-ARIZA M.O., MOLINA F., CAMALICH M.D., MARTIN D., VOLTAS J., 1997b. Identification of Ancient Irrigation Practices based on the Carbon Isotope Discrimination of Plant Seeds: a Case Study from the South-East Iberian Peninsula. *Journal of Archaeological Science* 24, 729-740.
- ARAUS J.L., FEBRERO A., CATALA M., MOLIST M., VOLTAS, J., ROMAGOSA I., 1999. Crop water availability in early agriculture: evidence from carbon isotope discrimination of seeds from a tenth millennium BP site on the Euphrates. *Global Change Biology*, 5, 201-212.
- ASOUTI E., 2003. Woodland vegetation and fuel exploitation at the prehistoric campsite of Pınarbaşı, south-central Anatolia, Turkey: the evidence from the wood charcoal macro-remains. *Journal of Archaeological Science*, 30(9), 1185-1201.
- ASOUTI E., 2005. Group identity and the politics of dwelling at Neolithic Çatalhöyük. In: Hodder I. (ed.). *Çatalhöyük Perspectives: Themes from the 1995-9 Seasons*. McDonald Institute Monographs/BIAA Monograph 40. McDonald Institute for Archaeological Research and British Institute at Ankara, Cambridge & London, 75-91.
- ASOUTI E., AUSTIN P., 2005. Reconstructing Woodland Vegetation and its Exploitation by Past Societies, based on the Analysis and Interpretation of Archaeological Wood Charcoal Macro-Remains. *Environmental Archaeology*, 10, 1-18.
- ASOUTI E., HATHER J., 2001. Charcoal analysis and the reconstruction of ancient woodland vegetation in the Konya basin, south-central Anatolia, Turkey: results from the Neolithic site of Çatalhöyük East. *Vegetation History and Archaeobotany*, 10, 23-34.
- 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, 29-38.
- ATALAY I., 2006. The Effects of Mountainous Areas on Biodiversity: A Case Study from the Northern Anatolian Mountains and the Taurus Mountains. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, 41, 17-26.
- BALLENTINE D.C., MACKO S.A., TUREKIAN V.C., 1998. Variability of stable carbon isotopic compositions in individual fatty acids from combustion of C₄ and C₃ plants: implications for biomass burning. *Chemical Geology*, 152, 151-161.
- BALOSSI RESTELLI F., SADORI L., MASI A., 2010. Agriculture at Arslantepe at the end of the IV millennium BC. Did the centralised political institutions have an influence on farming practices? Economic Centralisation in Formative States. In: Frangipane M. (ed.). *The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th Millennium Arslantepe*. Studi di Preistoria Orientale (SPO), vol. 3, Sapienza Università di Roma, 103-118.
- BANDINI MAZZANTI M., BOSI G., MERCURI A.M., 2005. Semi frutti e annessi fiorali: l'archeocarpologia. In: CANEVA G. (ed.). *La Biologia Vegetale per i Beni Culturali*, vol. II. Nardini ed., Firenze, 46-56.
- BAR-MATTHEWS M., AYALON A., KAUFMAN A., 1997. Late Quaternary paleoclimate in the Eastern Mediterranean region from stable isotope analysis of speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research*, 47, 155-168.

- 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*, 21(1), 163-171.
- BAR-YOSEF O., KISLEV M.E., 1986. Earliest domesticated barley in the Jordan Valley. *National Geographic Research*, 2, 267.
- BEERLING D.J., 1997. Carbon isotope discrimination and stomatal responses of mature *Pinus sylvestris* L. trees exposed in situ for three years to elevated CO₂ and temperature. *Acta Oecologica*, 18, 697-712.
- BEERLING D.J., WOODWARD F.I., 1995. Leaf stable carbon isotope composition records increased water-use efficiency of C₃ plants in response to atmospheric CO₂ enrichment. *Functional Ecology*, 9, 394-401.
- BECKER B., KROMER B., TRIMBORN P., 1991. A stable-isotope tree-ring timescale of the Late Glacial/Holocene boundary. *Nature*, 353, 647-649.
- BELISARIO M.V., FOLLIERI M., SADORI L., 1994. Nuovi dati archeobotanici sulla coltivazione di *Vitis vinifera* L. ad Arslantepe (Malatya, Turchia). In: Milano L. (ed). *Drinking in ancient societies. History and culture of drinks in the ancient Near East. History of the Ancient Near East/Studies*, 6, 77-90.
- BERGGREN G., 1969. *Atlas of seeds*. Berlingska Boktryckeriet, Lund.
- BERRY S.C., VARNEY G.T., FLANAGAN L.B., 1997. Leaf delta¹³C in *Pinus resinosa* trees and understory plants: variation associated with light and CO₂ gradients. *Oecologia*, 109, 499-506.
- BIRD M.I., GRÖCKE D.R., 1997. Determination of the abundance and carbon isotope composition of elemental carbon in sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61 (16), 3413-3423.
- BOTTEMA S., 1995. Holocene vegetation of the Van area: palynological and chronological evidence from Sögütlü, Turkey. *Vegetation History and Archaeobotany*, 4, 187-193.
- BOWMAN S., 1990. *Radiocarbon dating*. University of California Press, London, 64.
- BRIFFA K.R., OSBORN T.J., SCHWEINGRUBER F.H., 2004. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review. *Global and Planetary Change*, 40, 11-26.
- BROADMEADOW M.S.J., GRIFFITHS H., EHLERINGER J.R., HALL A.E., FARQUHAR G.D., 1993. Carbon isotope discrimination and the coupling of CO₂ fluxes within forest canopies. In: Ehleringer J.R., Hall A.E., Farquhar G.D., (eds.). *Stable isotopes and plant carbon-water relations*. Academic Press, Inc. San Diego.
- BROWN T.A., 1999. How ancient DNA may help in understanding the origin and spread of agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 354, 89-98.
- BÜNTGEN U., TEGEL W., NICOLUSSI K., MCCORMICK M., FRANK D., TROUET V.O., KAPLAN J., HERZIG F., HEUSSNER K., WANNER H., LUTERBACHER J., ESPER J., 2011. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science*, 331, 578-582.
- CALDERONI G., CANEVA I., CAZZELLA A., FRANGIPANE M., PETRONE V., 1994. Department of Earth Sciences and the University of Rome Radiocarbon Dates, III. *Radiocarbon*, 36, 1, 143-152.
- CAMBINI A., 1967a. *Micrografia comparata dei legni del genere Quercus*, Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno, numero 19, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Nazionale del Legno, 9-49

- CAMBINI A., 1967b. Riconoscimento microscopico del legno delle querce italiane, Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno, numero 20, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Nazionale del Legno, 53-69.
- CAMUFFO D., 1993. Reconstructing the climate and the air pollution of Rome during the life of the Trajan Column. *The Science of the Total Environment*, 128, 205-226.
- CAMUFFO D., ENZI S., 1995. The analysis of two bi-millennial series: Tiber and Po river floods. In: Jones P.D., Bradley R.S., Jouzel J. (eds.). *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years*. NATO ASI Series, Series I: Global Environmental Change, Vol. 41, 433-450.
- CERNUSAK L.A., MARSHALL J.D., COMSTOCK J.P., BALSTER N.J., 2001. Carbon isotope discrimination in photosynthetic bark. *Oecologia*, 128, 24-35.
- CHARLES M., BOGAARD A., 2001. Third millennium B.C. charred plant remains from Tell Brak. In Oates D., Oates J., McDonald H. (eds). *Excavations at Tell Brak, Vol 2*. Cambridge: McDonald Institute Monographs, 301-326.
- COHEN-OFRI I., WEINER L., BOARETTO E., MINTZ G., WEINER S., 2006. Modern and fossil charcoal: aspects of structure and diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, 33, 428-439.
- ÇOLAK 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* 106B, 3, 343-354.
- COLONESE A.C., ZANCHETTA G., DOTSIKA E., DRYSDALE R.N., FALLICK A.E., GRIFONI CREMONESI R., MANGANELLI G., 2010a. Early-middle Holocene land snail shell stable isotope record from Grotta di Latronico 3 (southern Italy). *Journal of Quaternary Science*, 25(8), 1347-1359.
- COLONESE A.C., ZANCHETTA G., FALLICK A.E., MARTINI F., MANGANELLI G., DRYSDALE R.N., 2010b. Stable isotope composition of *Helix ligata* (Müller, 1774) from Late Pleistocene-Holocene archaeological record from Grotta della Serratura (Southern Italy): Palaeoclimatic implications. *Global and Planetary Change*, 71, 249-257.
- COLONESE A.C., ZANCHETTA G., DRYSDALE R.N., FALLICK A.E., MANGANELLI G., LO VETRO D., MARTINI F., DI GIUSEPPE Z., 2011. Stable isotope composition of Late Pleistocene-Holocene *Eobania vermiculata* shells (Müller, 1774) (Pulmonata, Stylommatophora) from the Central Mediterranean basin: Data from Grotta d'Oriente (Favignana, Sicily). *Quaternary International*, 1-12.
- CONDON A.G., RICHARDS R.A., FARQUHAR G.D., 1987. Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field-grown wheat. *Crop Science*, 27, 996-1001.
- COOK E.R., BRIFFA K.R., MEKO D.M., GRAYBILL D.A., FUNKHOUSER G., 1995. The "segment length curse" in long tree-ring chronology development for palaeoclimatic studies. *The Holocene*, 5, 229-237.
- COOK E.R., KAIRIUKSTIS L.A., 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.
- CRAIG H., 1954. Carbon-13 in sequoia rings and the atmosphere. *Science*, 119, 141-143.
- CRAWFORD G.W., 1992. Prehistoric plant domestication in East Asia. In: Cowan C.W., Watson P.J. (eds.). *The Origins of Agriculture. An International Perspective*, Smithsonian Institution Press, Washington DC, 7-38.
- CULLEN H.M., DEMENOCAL P.B., HEMMING S., HEMMING G., BROWN F.H., GUILDERSON T., SIROCKO F., 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology*, 28, 379-382.

- DAMESIN C., RAMBAL S., JOFFRE R., 1997. Between-tree variations in leaf $\delta^{13}\text{C}$ of *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* among Mediterranean habitats with different water availability. *Oecologia*, 111, 26-35.
- DALFES H.N., KUKLA G., WEISS H. (Eds.), 1997. Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse. NATO ASI Series, I 49. Springer, Berlin Heidelberg.
- DAVIS P.H., 1965-1985. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh University Press, vol.1-9.
- DAVIS P.H., MILL R.R., TAN K., 1988. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh University Press, vol.10.
- DE NIRO M.J., HASTORF C.A., 1985. Alteration of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of plant matter during the initial stages of diagenesis: Studies utilizing archaeological specimens from Peru. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 97-115.
- DENNELL R.W., 1992. The origins of crop agriculture in Europe. In: Cowan C.W., Watson, P.J. (eds.). *The Origins of Agriculture. An International Perspective*, Smithsonian Institution Press, Washington DC, 71-100.
- DI NOCERA G.M., 2000a. Radiocarbon datings from Arslantepe and Norsuntepe: the fourth-third millennium absolute chronology in the upper Euphrates and Transcaucasian region. *Varia Anatolica XI. Chronologies des pays du Caucase et de l'Euphrate aux IVe- IIIe millénaires*. Institut français d'études anatoliennes d'Istanbul de Boccard, 73-93.
- DI NOCERA G.M., 2000b. C14 Datings at Arslantepe and Bronze Age Chronology in the Upper and Middle Euphrates. In: Matthiae P., Enea A., Peyronel L., Pinnock F. (eds.). *First International Congress of the Archaeology of the Ancient Near East, May, 1998*. University of Rome La Sapienza, Rome, 333-348.
- DOUGLASS A.E., 1929. The secret of the Southwest solved by talkative tree rings. *National Geographic Magazine*, 56(6), 736-770.
- DUPOUEY J.L., LEAVITT S.W., CHOISNEL E., JOURDAIN S., 1993. Modelling carbon isotope fractionation in tree rings based on effective evapotranspiration and soil water status. *Plant, Cell and Environment*, 16, 939-947.
- EASTWOOD W.J., LENG M.J., ROBERTS N., DAVIS B., 2007. Holocene climate change in the eastern Mediterranean region: a comparison of stable isotope and pollen data from Lake Gölhisar, southwest Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 22(4), 327-341.
- EASTWOOD W.J., ROBERTS N., LAMB H.F., TIBBY J., 1999. Holocene environmental change in southwest Turkey: a palaeoecological record of lake and catchment-related changes. *Quaternary Science Reviews*, 18, 671-695.
- EASTWOOD W.J., TIBBY J.C., ROBERTS N., BIRKS H.J.B., LAMB H.F., 2002. The environmental impact of the Minoan eruption of Santorini (Thera): statistical analysis of palaeoecological data from Gölhisar, southwest Turkey. *The Holocene*, 12, 4, 431-444.
- EDWARDS T.W.D., GRAF W., TRIMBORN P., STICHLER W., LIPP J., PAYER H.D., 2000. $\delta^{13}\text{C}$ response surface resolves humidity and temperature signals in trees. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 161-167.
- ELSIG J., SCHMITT J., LEUENBERGER D., SCHNEIDER R., EYER M., LEUENBERGER M., JOOS F., FISCHER H.F., STOCKER T., 2009. Stable isotope constraints on Holocene carbon cycle changes from an Antarctic ice core. *Nature*, Vol. 461, 507-510.
- EMBERLING G., CHENG J., LARSEN T.E., PITTMAN H., SKULDBOEL T.B.B., WERBER J., WRIGHT H.T., 1999. Excavations at Tell Brak 1998: Preliminary report. *Iraq*, 51, 1-42.

- ENZEL Y., BOOKMAN R., SHARON D., GVIRTZMAN H., DAYAN U., ZIV B., STEIN M., 2003. Late Holocene climates of the Near East deduced from Dead Sea level variations and modern regional winter rainfall. *Quaternary Research*, 60, 263–73.
- EPSTEIN S., 1979. Isotopic composition of hydrogen and oxygen in tree rings and its climatic significance. Papers presented to the conference on the ancient sun, fossil record in the earth, moon and meteorites, October 1979, 26-27.
- EYER M., LEUENBERGER M., NYFELER P., STOCKER T.F., 2004. Comparison of two $\delta^{13}\text{CO}_2$ records measured on air from the EPICA Dome C and Kohlen Station ice cores. *Geophysical Research Abstracts*, 6, 1990.
- FAHN A., WERKER E., BAAS P., 1986. *Wood Anatomy and Identification of Trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions*. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem.
- FAIRBAIRN A., ASOUTI E., NEAR J., MARTINOLI D., 2002. Macro-botanical evidence for plant use at Neolithic Çatalhöyük south-central Anatolia, Turkey. *Vegetation History and Archaeobotany*, 11, 41-54.
- FAIRBAIRN A., MARTINOLI D., BUTLER A., HILLMAN G., 2006. Wild plant seed storage at Neolithic Çatalhöyük East, Turkey. *Veget Hist Archaeobot*, 16, 6, 467-479.
- FALL P.L., FALCONER S.E., LINES L., 2002. Agricultural Intensification and the Secondary Products Revolution Along the Jordan Rift. *Human Ecology*, 30, 4, 445-482.
- FARQUHAR G.D., 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11, 539-552.
- FARQUHAR G.D., EHLERINGER J.R., HUBIK K.T., 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 40, 503-537.
- FARQUHAR G.D., LLOYD J., 1993. Carbon and oxygen isotope effects in the exchange of carbon dioxide between terrestrial plants and the atmosphere. In: Ehleringer J.R., Hall A.E., Farquhar G.D. (eds.). *Stable Isotopes and Plant Carbon–Water Relations*. Academic Press, New York, 47-70.
- FARQUHAR G.D., O'LEARY M.H., BERRY J.A., 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 9, 121-137.
- FARQUHAR G.D., VON CAEMMERER S.V., BERRY J.A., 1980. A biochemical-model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 plants. *Planta*, 149, 78–90.
- FEBRUARY E.C., VAN DER MERWE N.J., 1992. Stable carbon isotope ratios of wood charcoal during the past 4000 years: anthropogenic and climatic influences. *South African Journal of Science*, 88, 291-292.
- FENG X.H., EPSTEIN S., 1994. Climatic implications of an 8000-year hydrogen isotope time series from bristlecone pine trees. *Science Washington*, 265, 1079-1081.
- FERRIO J.P., VOLTAS J., ARAUS J.L., 2003. Use of carbon isotope composition in monitoring environmental changes. *Management of Environmental Quality*, 14, 82-98.
- FERRIO J.P., 2005. Reconstruction of climatic and crop conditions in the past based on the isotope signature of archaeobotanical remains. Master Thesis, Universitat de Lleida, Spagna.
- FERRIO J.P., ARAUS J.L., BUXÓ R., VOLTAS J., BORT J., 2005. Water management practices and climate in ancient agriculture: inferences from the stable isotope composition of archaeobotanical remains. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14, 510–517.

- FLENLEY J.R., KING S., 1984. Late Quaternary pollen records from Easter Island. *Nature*, Vol. 307, S47–50.
- FIORENTINO G., CARACUTA V., 2007. Microstratigraphical and bioarchaeological strategies for analysing a Middle Bronze Age “Midden” at Tell Mardikh – Ebla (Syria). Abstract of the XIV Symposium of the International Work Group for Palaeoethnobotany. June 17-23, Krakow, Poland, 43.
- FIORENTINO G., CARACUTA V., CALCAGNILE L., D'ELIA M., MATTHIAE P., MAVELLI F., QUARTA G., 2008. Third millennium B.C. climate change in Syria highlighted by Carbon stable isotope analysis of ¹⁴C-AMS dated plant remains from Ebla. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 266, 51–58.
- FLOOD R.J., 1986. *Seed Identification Handbook*. NIAB, Cambridge.
- FOLLAND C.K., KARL T.R., CHRISTY J.R., CLARKE R.A., GRUZA G.V., JOUZEL J., MANN M.E., OERLEMANS J., SALINGER M.J., WANG S.W., 2001. Observed climate variability and change. In: Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. (eds). *Climate Change 2001: the scientific basis. Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 101-181.
- FOLLIERI M., COCCOLINI G., 1983. Palaeoethnobotanical study of the VI A and VI B periods at Arslantepe (Malatya-Turkey). Preliminary report. *Origini*, 12, 599–662.
- FOLLIERI M., MAGRI D., 1990. La porta lignea dell'archivio reale di Ebla. *Giornale Botanico Italiano*, 124 (1), 173.
- FORBES M.S., RAISON R.J., SKJEMSTAD J.O., 2006. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 370, 190–206.
- FRANCEY R.J., ALLISON C.E., ETHERIDGE D.M., TRUDINGER C.M., ENTING I.G., LEUENBERGER M., LANGENFELDS R.L., MICHEL E., STEELE L.P., 1999. A 1000-year high precision record of delta C-13 in atmospheric CO₂. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 51, 170-193.
- FRANCEY R.J., GIFFORD R.M., SHARKEY T.A., WIER B., 1985. Physiological influences on carbon isotope discrimination in huon pine (*Lagastrobos franklinii*). *Oecologia*, 44, 241-247.
- FRANGIPANE M., 1993. Local components in the development of centralized societies in Syro-Anatolian regions. In: Frangipane M., Hauptmann H., Liverani M., Matthiae P., Mellink M. (eds) *Between the rivers and over the mountains. Studi in Memoria di Alba Palmieri*. Università La Sapienza, Roma, 133-161.
- 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*. Institut français d'études antoliennes d'Istanbul de Bocard, 439-471.
- FRANGIPANE M., 2003. Arslantepe. Alle origini dello stato. *Archeologia viva*, 99, 21-36.
- FRANGIPANE M., 2004. Alle origini del Potere. Arslantepe, La collina dei leoni. Mondadori Electa, Milano.
- FRANGIPANE M., 2010. Arslantepe. Growth and collapse of an early centralized system: the archaeological evidence. In: Frangipane, M. (ed.). *The Archaeological Reconstruction of the Economic System in 4th Millennium Arslantepe*. Studi di Preistoria Orientale (SPO), vol. 3, Sapienza Università di Roma, 23-42.
- FRANGIPANE M., PALMIERI A., 1983. Perspectives on protourbanization in Eastern Anatolia: Arslantepe (Malatya). An interim report on 1975-1983 campaigns. *Origini*, 12, 2, 287-668
- FRANGIPANE M., PALMIERI A., 1988. Cultural developments at Arslantepe at the beginning of the third millennium. *Origini*, 12, 2, 523-572.

- FRUMKIN A., KADAN G., ENZEL Y., EYAL Y., 2001. Radiocarbon chronology of the Holocene Dead Sea: attempting a regional correlation. *Radiocarbon* 43/3, 1179–89.
- GRAY J., THOMPSON P., 1976. Climatic information from $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of cellulose in tree rings. *Nature*, 262, 481-482.
- GREGUSS P., 1955. Identification of living gymnosperms on the basis of xylography. *Akadémiai Kiadó*, Budapest.
- GREGUSS P., 1959. *Holzanatomie der europäischen Laubbölzer und sträucher*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- GRIFFITHS H., PARRY M.A.J., 2002. Plant responses to water stress. *Annals of Botany*, 89, 801-802.
- HALL G., WOODBORNE S., SCHOLLES M., 2008. Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. *Chemical Geology*, 247, 384–400.
- HARLAN J.R., 1992. Indigenous African agriculture. In: Cowan C.W., Watson, P.J. (eds). *Origins of Agriculture: an International Perspective*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C., 59-70.
- HASTORF C.A., 1999. Recent Research in Paleoethnobotany. *Journal of Archaeological Research*, 7, 1, 55-103.
- HELBÆK H., 1960. Cereals and weed grasses in Phase A. In: Braidwood, R.J., Braidwood, L.S. (eds). *Excavations in the plain of Antioch I*, University of Chicago Press, Chicago, 540-543.
- HELBÆK H., 1970. The plant husbandry of Hacilar. A study of cultivation and domestication. *Excavations at Hacilar (I)*. Edinburgh, XIII.
- HELBÆK H., SCHULTZE M.J., 1981. The scientific work of Hans Helbæk. *Kulturpflanze* 29.
- HEMMING D.L., SWITSUR V.R., WATERHOUSE J.S., HEATON T.H.E., CARTER A.H.C., 1998. Climate and the stable carbon isotope composition of tree ring cellulose: an intercomparison of *Quercus robur*, *Fagus sylvatica* and *Pinus silvestris*. *Tellus* 50B, 25–33.
- HILLMAN G.C., 1984. Interpretation of archaeological plant remains: the application of ethnographic models from Turkey. In: Van Zeist W., Casparie W.A. (eds) *Plants and Ancient Man. Studies in Palaeoethnobotany*, Rotterdam, 1-41.
- HILLMAN G.C., 1996. Late Pleistocene changes in wild plant-foods available to hunter-gatherers of the northern Fertile Crescent: possible preludes to cereal cultivation. In: Harris D.R. (ed.). *The Origins and Spread of Pastoralism in Eurasia*, University College London Press, London, 1996, 159–203.
- HILLMAN G.C., DAVIES M. S., 1990. Measured domestication rates in wild wheat and barley under primitive cultivation, and their archaeological implications. *Journal of World Prehistory*, 4, 157- 322.
- HOEFS J., 2009. *Stable Isotope Geochemistry*. Springer, Germany.
- HOLE F., 1997. Evidence for Mid-Holocene environmental change in the western Khabur drainage, Northeastern Syria. In: Dalfes H.N., Kukla G., Weiss H. (eds). *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse*. NATO ASI Series. Springer, Berlin Heidelberg, 39-66.
- HULTINE K.R., MARSHALL J.D., 2000. Altitude trends in conifer leaf morphology and stable carbon isotope composition. *Oecologia*, 123, 32-40.
- INDERMÜHLE A., STOCKER T.F., JOOS F., FISCHER H., SMITH H.J., WAHLEN M., DECK B., MASTROIANNI D., TSCHUMI J., BLUNIER T., MEYER R., STAUFFER B., 1999. Holocene carbon-cycle dynamics based on CO_2 trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. *Nature*, 398, 121–126.

- JACOMET S., 1987. Prähistorische getreidefunde. Eine Anleitung zur Bestimmung prähistorischer Gersten- und Weizen-Funde, Basel.
- JACQUAT C., 1988. Hauterive Champréveyres: les plantes de l'âge du Bronze, catalogue des fruits et graines. Archéologie Neuchâteloise, 7. Ruau, Saint-Blaise.
- JALUT G., ESTEBAN-AMAT A., BONNET L., GAUQUELIN T., FONTUGNE M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 160, 255-290.
- JONES T.P., CHALONER W.G., 1991. Fossil charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 97, 39-50.
- JONES T.P., CHALONER W.G., KUHLBUSCH T.A.J., 1997. Proposed Bio-geological and Chemical Based Terminology for Fire-altered Plant Matter. In: Clark J.S., Cachier H., Goldammer J.G., Stocks B.J. (eds). Sediment Records of Biomass Burning and Global Change, vol. 1. Berlin: Springer-Verlag, 9-22.
- JUILLET-LECLERC A., YIOU P., 2002. The measured coral oxygen isotopes result of the superimposition of two fractionations. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66, A374.
- KAYA Z., KÜN E., GÜNER A., 1998. National Plan for In Situ Conservation of Plant Genetic Diversity in Turkey.
- KAYA Z., RAYNAL D.J., 2001. Biodiversity and conservation of Turkish forests. Biol. Conserv., 97, 131-141.
- KEELING C.D., MOOK W.G., TANS P.P., 1979. Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide. Nature, 277, 121-122.
- KISLEV M.E., 1989. Pre-domesticated cereals in the pre-pottery Neolithic A period. In: Hershkovitz I. (ed.). Man and Culture in Change, BAR International Series, Oxford, 508, 147-151.
- KISLEV M.E., BAR-YOSEF O., 1988. The legumes: The earliest domesticated plants in the Near East. Current Anthropology, 29, 175-179.
- KOROL R.L., KIRSCHBAUM M.U.F., FARQUHAR G.D., JEFFREYS M., 1999. Effects of water status and soil fertility on the C-isotope signature in *Pinus radiata*. Tree Physiology, 19, 551-562.
- KROMER B., CLAUSSEN M., LATUSKE N., LÜKEN M., REMMELE S., SCHLESER G., 2004. Solar variability and Holocene climate: evidence from radiocarbon, tree-ring proxies and climate system modelling. PAGES News, 12, 13-15.
- KUNIHOLM P.I., 1996. The Prehistoric Aegean: Dendrochronological progress as of 1995. Acta Archaeologica, 67, 327-335.
- LANDMANN G., REIMER A., LEMCKE G., KEMPE S., 1996. Dating Late Glacial abrupt climate changes in 14,570 yr long continuous varve record of Lake Van, Turkey. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 122, 107-118.
- LEAVITT S.W., 2002. Prospects for reconstruction of seasonal environment from tree-ring $\delta^{13}\text{C}$: baseline findings from the Great Lakes area, USA. Chemical Geology, 192, 47-58.
- LEAVITT S.W., NEWBERRY T., 1992. Systematics of stable-carbon isotopic differences between gymnosperm and angiosperm trees. Plant Physiology, 11, 257-262.
- 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, 653-78.

- LEUENBERGER M., SIEGENTHALER U., LANGWAY C.C. 1992. Carbon isotope composition of atmospheric CO₂ during the last ice age from an Antarctic ice core. *Nature*, 357, 488–490.
- LEV-YADUN S., LIPHSCHITZ N., WAISEL Y., 1981. Dendrochronological investigations in Israel: *Pinus halepensis* Mill. the oldest living pines in Israel. *La Yaaran*, 31, 1-8, 49.
- LIBBY L.M., PANDOLFI L.J., PAYTON P.H., MARSHALL J.I.I., BECKER B., GIERTZ S., 1976. Isotopic tree thermometers. *Nature*, 261, 284- 288.
- LIPHSCHITZ N., GOPHA R., HARTMAN M., BEGER C., 1991. The beginning of olive (*Olea europaea*) cultivation in the Old World, a reassessment. *Journal of Archaeological Science*, 18, 441-455.
- LONGFORD C., DRINNAN A., SAGONA A., 2009. Archaeobotany of Sos Höyük, northeast Turkey. In: Fairbairn A., O'Connor S., Marwick B. (eds). *New Directions in Archaeological Science*, Terra Australis 28. ANU-E-Press, Canberra, 121-136.
- MADILLA M., FULLER D.Q., 2006. Palaeoecology and the Harappan Civilisation of South Asia: a reconsideration. *Quaternary Science Reviews*, 25 (11-12), 1283-1301.
- MAGNY M., MIRAMONT C., SIVAN O., 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186, 47-59.
- MARCOLONGO B., PALMIERI A.M., 1983 Environment, water supply and cultural development at Arslantepe (Malatya, Turkey). *Roma, Origini*, 12(2), 619-628.
- MARINO B.D., DE NIRO M.J., 1987. Isotope analysis of archaeobotanicals to reconstruct past climates: effects of activities associated with food preparation on carbon, hydrogen and oxygen isotope ratios of plant cellulose. *Journal of Archaeological Science*, 14, 537-548.
- MATEO M.A., FERRIO J.P., ARAUS J.L., 2004. Isótopos estables en fisiología vegetal. In: Reigosa M.J., Pedrol N., Sánchez A. (eds). *La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis*, Paraninfo, S.A., Madrid, 113-160.
- MATTHEWS R., 2011. A History of the Preclassical Archaeology of Anatolia. In: Steadman S.R., McMahon G. (eds). *The Oxford handbook of ancient Anatolia (10,000-323 BCE)*. Oxford University Press, 34-55.
- MAZZINI I., FARANDA S., GIARDINI M., GIRAUDI C., SADORI L., 2011. Late Holocene palaeoenvironmental evolution of the Roman harbour of Portus, Italy. *Journal of Paleolimnology*, 46, 243-256.
- McCARROLL D., LOADER N.J., 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23, 771–801.
- McCARROLL D., LOADER N.J., 2006. Isotopes in tree rings. In: Leng M.J. (ed.). *Isotopes in Palaeoenvironmental Research*. Springer, The Netherlands, 2006.
- McCORNAC F.G., BAILLIE M.G.L., PILCHER J.R., BROWN D.M., HOPER S.T., 1994. $\delta^{13}\text{C}$ measurements from the Irish oak chronology. *Radiocarbon*, 36, 27-35.
- McCORRISTON J., 1992. The Early Development of Agriculture in the Ancient Near-East: An Ecological and Evolutionary Study, Ph.D. dissertation, Department of Anthropology, Yale University, New Haven, CT.
- McCORRISTON J., 1998. Landscape and Human Interaction in the Middle Habur Drainage from the Neolithic Period to the Bronze Age. In: Fortin M., Aurenche O. (eds). *Espace Naturel, Espace Habité en Syrie du Nord (10e-2e millénaires av J-C.)*. Travaux de la Maison de l’Orient 28 and Québec. Canadian Society for Mesopotamian Studies, Lyon, 43-54.

- McCORRISTON J., HOLE F., 1991. The ecology of seasonal stress and the origins of agriculture in the Near East, *American Anthropologist*, 93, 46-69.
- McDOWELL N., PHILLIPS N., LUNCH C., BOND B.J., RYAN M.G., 2002. An investigation of hydraulic limitation and compensation in large, old Douglas-fir trees. *Tree Physiology*, 22, 763-774.
- MIGOWSKI C., STEIN M., PRASAD S., NEGENDANK J.F.W., AGNON A., 2006. Climate variability and cultural evolution in the Near East from the Dead Sea sedimentary record. *Quaternary Research*, 66, 421-431.
- MERCURI A.M., 2008a. Plant exploitation and ethnopalynological evidence from the Wadi Teshuinat area (Tadrart Acacus, Libyan Sahara). *Journal of Archaeological Science*, 35 (6), 1619-1642.
- MERCURI A.M., 2008b. Human influence, plant landscape, evolution and climate inferences from the archaeobotanical records of the Wadi Teshuinat area (Libyan Sahara). *Journal of Arid Environments*, 72, 1950-1967.
- MERCURI A.M., ACCORSI C., MAZZANTI M., 2002. The long history of Cannabis and its cultivation by the Romans in central Italy, shown by pollen records from Lago Albano and Lago di Nemi. *Vegetation History and Archaeobotany*, 11, 263-276.
- MERCURI A.M., SADORI L., BLASI C., 2010. Archaeobotany for cultural landscape and human impact reconstructions. *Plant Biosystem*, 144, 860-864.
- MILLER N.F., 1992. The origins of agriculture in the Near East. In: Cowan C.W., Watson P.J. (eds). *The Origins of Agriculture: An International Perspective*, Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 35-58.
- MILLER N.F., 1994. Some archaeobotanical remains from the 1992 excavation season at Hacinebi Tepe. *Anatolica*, 20, 168-172.
- MILLER N.F., 1995. Archaeobotany: Macroremains. *American Journal of Archaeology*, 99, 91-93.
- MILLER N.F., 1998. The macrobotanical evidence for vegetation in the Near East, c. 18000/16000 BC to 4000 BC. *Paléorient*, 23 (2), 197-207.
- MILLER N.F., 1999a. Interpreting Ancient Environment and Patterns of Land Use: Seeds, Charcoal and Archaeological Context. *Tüba-ar*, 2, 15-30.
- MILLER N.F., 1999b. Agricultural development in western Central Asia in the Chalcolithic and Bronze Ages. *Vegetation History and Archaeobotany*, 8, 13-19.
- MILLER N.F., 2010. *Botanical Aspects of Environment and Economy at Gordion, Turkey*. University of Pennsylvania Museum, Philadelphia.
- MOORE A.M.T., HILIMAN G.C., 1992. The Pleistocene to Holocene transition and human economy in Southwest Asia: The impact of the Younger Dryas. *American Antiquity*, 57, 482-494.
- MURAT A., 2002. Turkey. In: Turok J., Eriksson G., Russell K., Borelli S. (eds). *Noble Hardwoods Network, Report of the fourth meeting, 4-6 September 1999, Gmunden, Austria, and the fifth meeting, 17-19 May 2001, Blessington, Ireland*. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, 28-34.
- NEEF R., 2003. Overlooking the Steppe-Forest. A Preliminary Report on the Botanical Remains from Early Neolithic Göbekli Tepe (Southeastern Turkey). *Neo-Lithics. A Newsletter of Southwest Asian Lithics Research*, 2/3, 13-16.
- NESBITT M., 1995. Plants and People in ancient Anatolia. *Biblical Archaeologist*, 58, 69-81.

- NESBITT M., 2004. Can we identify a centre, a region, or a supra-region for Near Eastern plant domestication? *Neo-Lithics* 2004, 38-40.
- NESBITT M., SAMUEL D., 1996. Archaeobotany in Turkey: a review of current research. *Orient-Express*, 3, 91-96.
- PANYUSHKINA I.P., HUGHES M.K., VAGANOV E.A., MUNRO M.A.R., 2003. Summer temperature in northeastern Siberia since 1642 reconstructed from tracheid dimensions and cell numbers of *Larix cajanderi*. *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 1905-1914.
- PARK W.K., EPSTEIN S., 1960. Carbon isotope fractionation during photosynthesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 21, 110-126.
- PAROLLY G., 2004. The High Mountain Vegetation of Turkey - a State of the Art Report, Including a First Annotated Conspectus of the Major Syntaxa. *Turkish Journal of Botany*, 28, 39-63.
- PASQUA G., ABBATE G., FORNI C., 2008. *Botanica generale e diversità vegetale*. Piccin Nuova Libreria, Padova.
- PEARSALL D.M., 1992. The origins of plant cultivation in South America. In: Cowan C.W., Watson P.J. (eds.). *The Origins of Agriculture: An International Perspective*, Smithsonian Institution Press, Washington DC, 173-205.
- PFISTER C., BRAZDIL R., GLASER R., BARRIENDOS M., CAMUFFO D., DEUTSCH M., DOBROVOLNY P., ENZI S., GUIDOBONI E., KOTYZA O., MILITZER S., RACZ L., RODRIGO FS., 1999. Documentary evidence on climate in sixteenth-century Europe. *Climatic Change*, 43, 55-110.
- PICON C., FERHI A., GUEHL J.M., 1997. Concentration and $\delta^{13}\text{C}$ of leaf carbohydrates in relation to gas exchange in *Quercus robur* under elevated CO_2 and drought. *Journal of Experimental Botany*, 48, 1547-1556.
- POLLEY H.W., JOHNSON H.B., MARINO B.D., MAYEUX H.S., 1993. Increase in C_3 plant water-use efficiency and biomass over Glacial to present CO_2 concentrations. *Nature*, 361, 61-64.
- POOLE I., BRAADBAART F., BOON J.J., van Berger P.F., 2002. Stable carbon isotope changes during artificial charring of propagules. *Organic Geochemistry*, 33, 1675-1681.
- PONS A., QUÉZEL P., 1998. A propos de la mise en place du climat méditerranéen. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 327, 755-760.
- PURVES W.K., SADAVA D., ORIANI, G.H., CRAIG HELLER H., 2001. *Biologia*. La biologia delle piante, Zanichelli, Bologna.
- RENFREW J., 1973. *Palaeoethnobotany*. Columbia University Press, New York.
- REILLE M., PONS A., 1992. The ecological significance of sclerophyllous oak forests in the west part of Mediterranean basin: A note on pollen analytical data. *Vegetatio*, 99/100, 13-17.
- RIEHL S., 2008. Climate and agriculture in the ancient Near East: a synthesis of the archaeobotanical and stable carbon isotope evidence. *Veget Hist Archaeobot*, 17 (Suppl 1), S43-S51.
- RIEHL S., 2009. Archaeobotanical evidence for the interrelationship of agricultural decision-making and climate change in the ancient Near East. *Quaternary International*, 197, 93-114.
- RIEHL S., BRYSON R.A., PUSTOVOYTOV K., 2008. Changing growing conditions for crops during the Near Eastern Bronze Age (3000-1200 B.C.): the stable carbon isotope evidence. *Journal of Archaeological Science*, 35, 1011-1022.

- RIMBU N., LOHMANN G., FELIS T., PATZOLD J., 2003. Shift in ENSO teleconnections recorded by a northern Red Sea coral. *Journal of Climate*, 16, 1414-1422.
- RISTVET L., WEISS H., 2005. The Habur Region in the late third and early second millennium BC. In: Orthmann W. (ed.). *The History and Archaeology of Syria*. Saarbrücken Verlag, Saarbrücken.
- ROBERTS N., BRAYSHAW D., KUZUCUOĞLU C., PEREZ R., SADORI L., 2011a. The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: Causes and consequences. *The Holocene*, 21, 3-13.
- ROBERTS N., EASTWOOD W.J., KUZUCUOĞLU C., FIORENTINO G., CARACUTA V., 2011b. Climatic, vegetation and cultural change in the eastern Mediterranean during the mid-Holocene environmental transition. *The Holocene*, 21(1), 14, 147-162.
- ROBERTS N., JONES M.D., BENKADDOUR A., EASTWOOD W.J., FILIPPI M.L., FROGLEY M.R., LAMB H.F., LENG M.J., REED J.M., STEIN M., STEVENS L., VALERO-GARCÉS B., ZANCHETTA G., 2008. Stable isotope records of Late Quaternary climate and hydrology from Mediterranean lakes: the ISOMED synthesis. *Quaternary Science Reviews*, 27, 2426-2441.
- RYAN M.G., YODER B.J., 1997. Hydraulic limits to tree height and tree growth. *Bioscience*, 47, 235-242.
- SADORI L., 2007. *The Current State of Knowledge of Postglacial Pollen Records of Southern Europe*. Elsevier, 2763-2773.
- SADORI L., GIRAUDI C., PETITTI P., RAMRATH A., 2004. Human impact at Lago di Mezzano (central Italy) during the Bronze Age: a multidisciplinary approach, *Quaternary International*, 113/1, 5-17.
- SADORI L., NARCISI B., 2001. The postglacial record of environmental history from Lago di Pergusa (Sicily). *The Holocene*, 11, 655-671.
- SADORI L., SUSANNA F., GIARDINI M., 2006a. L'utilizzo di orzo nell'alimentazione dal Tardo Calcolitico al Bronzo antico ad Arslantepe, in *Anatolia orientale*. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, 137.
- SADORI L., SUSANNA F., PERSIANI C., 2006b. Archaeobotanical data and crop storage evidence from an early Bronze Age 2 burnt house at Arslantepe, Malatya, Turkey. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15, 205-215.
- SADORI L., SUSANNA F., BALOSSI RESTELLI F., 2008. Collapsed beams and wooden remains from a 3200 BC temple and palace at Arslantepe (Malatya, Turkey). In: Fiorentino G., Magri D. (eds). *Charcoals from the past, Cultural and Palaeoenvironmental Implications*, BAR int. series, Oxford, 103-116.
- SAURER M., BORELLA S., SCHWEINGRUBER F.H., SIEGWOLF R., 1997. Stable carbon isotopes in tree rings of beech: climatic versus site- related influences. *Trees: Structure and Function* 11, 291-297.
- SAURER M., SIEGENTHALER U., SCHWEINGRUBER F.H., 1995. The climate-carbon isotope relationship in tree rings and the significance of site conditions. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 47, 320-330.
- SCHLESER G.H., JAYASEKERA R., 1985. $\delta^{13}\text{C}$ variations in leaves of a forest as an indication of reassimilated CO_2 from the soil. *Oecologia*, 65, 536-542.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1978. *Mikroskopische, Holzanatomie.*, Kommissionsverlag Zürcher AG., CH-6301 Zug. Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen CH-8903, Birmensdorf.
- SCHWEINGRUBER F. H., 1988. *Tree-ring: basic and application of dendrochronology*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo.

- SCHWEINGRUBER F.H., 1990. Anatomie europäischer Hölzer. W.S.L. F.N.P. Haupt, Bern und Stuttgart, Birmensdorf.
- SENSOY S., DEMIRCAN M., ULUPINAR U., BALTA İ., 2008. Türkiye İklimi, DMİ web sitesi <http://www.dmi.gov.tr/iklim/iklim.aspx>.
- SERRE F., 1976. The relation between growth and climate in Aleppo pine (*Pinus halepensis*). I. Methods. Cambial activity and climate. *Oecologia Plantarum*, 11, 143-171.
- SKJEMSTAD J.O., CLARKE P.J., TAYLOR A., OADES J.M., MCCLURE S.G., 1996. The chemistry and nature of protected carbon in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 34, 251-271.
- SMITH B. D., 1992. *Rivers of Change; Essays on Early Agriculture in Eastern North America*, Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- SCHMIDT K., 2000. Göbekli Tepe, Southeastern Turkey. A Preliminary Report on the 1995-1999 Excavations. *Paleorient*, 26(1), 45-54.
- STAUBWASSER M., WEISS H., 2006. Holocene climate and cultural evolution in late prehistoric-early historic West Asia. *Quaternary Research*, 66, 372-387.
- STEINBEISS S., SCHMIDT C.M., HEIDE K., GLEIXNER G., 2006. $\delta^{13}\text{C}$ values of pyrolysis products from cellulose and lignin represent the isotope content of their precursors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 75, 19-26.
- STUIVER M., BRAZIUNAS T.F., 1987. Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climate change. *Nature*, 328, 58-60.
- SUSANNA F., 2007. Studio archeobotanico di macroresti provenienti dai livelli d'incendio di Arslantepe (Malatya, Turchia), XX ciclo di dottorato, Università La Sapienza di Roma, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali.
- TAN A., 1996. Turkey: country report to the FAO international technical conference on plant genetic resource. Leipzig, Germania.
- TIESZEN L.L., 1991. Natural Variations in the Carbon Isotope Values of Plants: Implications for Archaeology, Ecology, and Paleoecology. *Journal of Archaeological Science*, 1991, 18, 227-248.
- THOMAS E.R., WOLFF E.W., MULVANEY R., STEFFENSEN J.P., JOHNSEN S.J., ARROWSMITH C., WHITE J.W.C., VAUGHN B., POPP T., 2007. The 8.2 ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 26, 70-81.
- TUREKIAN V.C., MACKO S., BALLENTINE D., SWAP R.J., GARSTANG M., 1998. Causes of bulk carbon and nitrogen isotopic fractionations in the products of vegetation burns: laboratory studies. *Chemical Geology*, 152, 181-192.
- TURNER C.S.M., WHEELER D., CHIVAS A.R., 2006. Carbon isotope fractionation in wood during carbonization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 960-964.
- TZEDAKIS P.C., ANDRIEU V., DE BEAULIEU J.L., CROWHURST S., FOLLIERI M., HOOGHMESTRA H., MAGRI D., REILLE M., SADORI L., SHACKLETON N.J., WIJMSTRA T.A., 1997. Comparison of terrestrial and marine records of changing climate of the last 500,000 years. *Earth Planetary Science Letters*, 150 (1-2), 171-176.
- VAN BERGEN P.F., POOLE I., 2002. Stable carbon isotopes of wood: a clue to palaeoclimate? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 182, 31-45.

- VAN ZEIST W., BAKKER-HEERES J., 1985. Archaeobotanical studies in the Levant. 4. Bronze age sites on the north Syrian Euphrates. *Palaeohistoria*, 27, 247-316.
- VAN ZEIST W., BOTTEMA S., 1982. Vegetational history of the eastern Mediterranean and the near East during the last 20,000 years. In: Bintliff J.L., van Zeist W. (eds). *Palaeoclimates, Palaeoenvironments and Human Communities in the Eastern Mediterranean Region in Later Prehistory*, BAR International Series, Oxford, 133, 277-321.
- VAN ZEIST W., BOTTEMA S., 1988. Late Quaternary vegetational and climatic history of Southwest Asia. In: *Palaeoclimatic & palaeoenvironmental change in Asia during the last 4 million years*. Indian National Science Academy: New Delhi, 129-148.
- VAN ZEIST W., BOTTEMA S., 1991. *Late Quaternary vegetation of the Near East*. Wiesbaden: L. Reichert.
- VAN ZEIST W., CASPARIE W.A., 1984. Plants and ancient man: studies in palaeoethnobotany. In: Van Zeist W., Casparie, W.A. (eds). *Plants and Ancient Man: Studies in Palaeoethnobotany*. *Anatolica*, 15, 50-67.
- VAN ZEIST W., WASYLIKOWA K., BEHRE K.E., 1991. *Progress in Old World Paleoethnobotany*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- VAN ZEIST W., WOLDRING H., STAPERT D., 1975. Late Quaternary vegetation and climate of southwestern Turkey. *Palaeohistoria*, 17, 53-143.
- VAN ZEIST W., WOLDRING H., 1978. A postglacial pollen diagram from lake Van in East Anatolia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 26, 249-276.
- VERNET J.L., PACHIAUDI C., BAZILE F., DURAND A., FABRE L., HEINZ C., SOLARI M.E., THIEBAULT S., 1996. Le $\delta^{13}\text{C}$ de charbons de bois préhistoriques et historiques méditerranéens, de 35000 BP à l'actuel. Premiers résultats. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, série II a* 323, 319-324.
- VOGEL J.C., 1978. Recycling of carbon in a forest environment. *Oecologia Plantarum*, 13, 89-94.
- VOLTAS J., FERRIO J.P., ALONSO N., ARAUS J.L., 2008. Stable carbon isotopes in archaeobotanical remains and palaeoclimate. *Contributions to Science*, 4 (1), 21-31.
- VOLTAS J., ROMAGOSA I., MUÑOZ P., ARAUS J.L., 1998. Mineral accumulation, carbon isotope discrimination and indirect selection for grain yield in two-rowed barley grown under semiarid conditions. *European Journal of Agronomy*, 9, 147-155.
- WARREN C.R., ADAMS M.A., 2000. Water availability and branch length determine $\delta^{13}\text{C}$ in foliage of *Pinus pinaster*. *Tree Physiology*, 20, 637-643.
- WARREN C.R., MCGRATH J.F., ADAMS M.A., 2001. Water availability and carbon isotope discrimination in conifers. *Oecologia*, 127, 476-486.
- 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*, 13 (5), 665-675.
- WILLCOX G., 1995. Archaeobotanists sleuth out origins of agriculture from early Neolithic sites in the eastern Mediterranean. *Diversity*, 11, 141-142.
- WILLCOX G., 1999. Charcoal analysis and Holocene vegetation history in southern Syria. *Quaternary Science Reviews*, 18, 711-716.

- WILLCOX G., 2002. Evidence for ancient forest cover and deforestation from charcoal analysis of ten archaeological sites on the Euphrates. In: Thiébaud S. (ed). Charcoal Analysis. Methodological Approaches, Palaeoecological Results and Wood Uses. BAR Int. Series, vol. 1063, 141-145.
- WILLCOX G., 2004. Measuring grain size and identifying Near Eastern cereal domestication: evidence from the Euphrates valley. *Journal of Archaeological Science*, 31, 145–150
- WILLCOX G., 2005. The distribution, natural habitats and availability of wild cereals in relation to their domestication in the Near East: multiple events, multiple centres. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14, 534-541.
- WILSON A.T., GRINSTED M.J., 1977. $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ in cellulose and lignin as palaeothermometers. *Nature*, 265, 133-135.
- WEISS H., 1997. Late third millennium abrupt climate change and social collapse in West Asia and Egypt. In: Dalfes H.N., Kukla G., Weiss H. (eds). Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse. NATO ASI Series. Springer, Berlin Heidelberg, 711-724.
- WEISS H., COURTY M.A., WETTERSTROM W., GUICHARD F., SENIOR L., MEADOW R., CURNOW A., 1993. The genesis and collapse of third millennium North Mesopotamian civilization. *Science*, 261, 995-1004.
- WOLDRING H., BOTTEMA S., 2003. The vegetation history of East-Central Anatolia in relation to archaeology: The Eski Acıgöl pollen evidence compared with the Near Eastern environment. *Palaeohistoria* 43/44, 1–34.
- WRIGHT H.E.J., 1993. Environmental determinism in Near Eastern prehistory. *Current Anthropology*, 43, 458-469.
- YAKIR D., ISRAELI Y., 1995. Reduced solar irradiance effects on net primary productivity (NPP) and the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in plantations of *Musa* sp., Musaceae. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 2149-2151.
- YILDIZ B., BAHÇECIOĞLU Z., ARABACI T., 2004. Floristic Characteristics of Beydağı (Malatya). *Turk J Bot*, 28, 391-419.
- ZANCHETTA G., BORGHINI A., FALLICK A.E., BONADONNA F.P., LEONE G., 2007a. Late Quaternary palaeohydrology of Lake Pergusa (Sicily, southern Italy) as inferred by stable isotopes of lacustrine carbonates. *J Paleolimnol*, 38, 227–239.
- ZANCHETTA G., DRYSDALE R.N., HELLSTROM J.C., FALLICK A.E., ISOLA I., GAGAN M.K., PARESCHI M.T., 2007b. Enhanced rainfall in the Western Mediterranean during deposition of sapropel S1: stalagmite evidence from Corchia cave (Central Italy). *Quaternary Science Reviews*, 26, 279–286.
- ZIMMERMAN J.K., EHLERINGER J.R., 1990. Carbon isotope ratios are correlated with irradiance levels in the Panamanian orchid *Catasetum viridiflavum*. *Oecologia*, 83, 247-249.
- ZOHARY D., HOPF M., 1993. Domestication of plants in the old world. The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley. Oxford