

## AMBIENTE E CLIMA DELLA SICILIA DURANTE GLI ULTIMI 20 MILA ANNI

**Alessandro Incarbona<sup>1</sup>, Mauro Agate<sup>1</sup>, Giuseppe Arisco<sup>1</sup>, Sergio Bonomo<sup>2</sup>, Giuseppe Buccheri<sup>1</sup>, Carolina Di Patti<sup>1</sup>, Enrico Di Stefano<sup>1</sup>, Antonino Greco<sup>1</sup>, Giuliana Madonia<sup>1</sup>, Federico Masini<sup>1</sup>, Daria Petruso<sup>1</sup>, Luca Sineo<sup>3</sup>, Rodolfo Sprovieri<sup>1</sup>, Giovanni Surdi<sup>1</sup>, Giuseppe Zarcone<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Dipartimento di Geologia e Geodesia, Università di Palermo

<sup>2</sup>CNR, IAMC, Mazara del Vallo (Tp)

<sup>3</sup> Dipartimento di Biologia animale, Università di Palermo

Corresponding author: A. Incarbona <alessinc@unipa.it>

**RIASSUNTO:** Incarbona A. et al., *Ambiente e Clima della Sicilia durante gli ultimi 20 mila anni*. (IT ISSN 0394-3356, 2010).

Una serie di studi recenti ha fatto luce su alcuni punti della evoluzione del clima e dell'ambiente nel Mediterraneo centrale, ed in particolare in Sicilia, a partire dall'ultimo massimo glaciale (circa 20 mila anni fa). In questo articolo esaminiamo i dati dei lavori più significativi ed offriamo una loro visione d'insieme, con lo scopo di decifrare i cambiamenti ambientali che sono avvenuti nel passato, principalmente nei termini di temperatura, pattern atmosferico, entità delle precipitazioni, vegetazione e associazioni faunistiche.

Il clima dell'ultimo massimo glaciale fu caratterizzato da temperature particolarmente rigide e dalla frequente penetrazione di venti freddi di origine settentrionale, avvenuta persino durante la stagione estiva. Bassi valori delle precipitazioni determinarono un pattern della vegetazione dominato da erbe ed arbusti, di tipo steppico o semi-steppico.

A differenza di quanto è generalmente assunto, una serie di episodi di anomalia climatica, caratterizzati da temperature medie leggermente più basse ed una più intensa attività dei venti, potrebbero essersi ripetuti durante l'Olocene, come testimoniato da studi micropaleontologici e geochimici condotti sui sedimenti del basso Tirreno e del Canale di Sicilia. Testimonianze nei record continentali di queste ricorrenti anomalie sono state trovate nella composizione isotopica degli speleotemi di una grotta nei pressi di Palermo, datati a circa 8200 anni fa, e durante prolungati episodi di siccità registrati in tempi storici, durante la Piccola Età Glaciale, presso Erice (Tp). Molto complesso è il pattern della vegetazione, la cui struttura cambia in base a fattori locali, come ad esempio l'altezza sul livello del mare. Tutti i dati sembrano comunque in accordo nell'indicare lo sviluppo di macchia mediterranea nelle zone costiere e di foreste decidue nelle zone interne e montane, già a partire dall'Olocene più antico. L'impatto antropico sembra essere stato il fattore principale nel modellamento dell'attuale distribuzione della vegetazione in Sicilia, attraverso l'uso intensivo del territorio per coltivazioni e pastorizia cominciata probabilmente 2700 anni fa, all'arrivo dei primi insediamenti coloniali dei Greci. L'attività umana ha comunque agito sovrapponendosi ad un trend naturale di diminuzioni delle precipitazioni e di aridificazione, la cui spiegazione non è ancora completamente conosciuta.

**ABSTRACT:** Incarbona A. et al., *Environment and Climate in Sicily over the last 20, 000 years*. (IT ISSN 0394-3356, 2010).

A series of recent studies shed light on the central Mediterranean, and Sicily, climate and environment, starting from the last glacial maximum (about 20 ka cal BP). In the present paper, we examine most of these works, in order to unravel environmental changes of the past, mainly in terms of temperature, atmospheric pattern, precipitation, vegetation and faunal associations.

The climate of the last glacial maximum was characterised by very low temperature and by repeated northerlies penetration, even during summer. Low precipitation values led to a steppe- or semisteppe-like vegetation pattern, dominated by herbs and shrubs.

Episodes of climatic anomaly, characterised by lower temperature and strengthened wind activity, could have occurred during the Holocene, as testified by micropaleontological and geochemical investigations carried out on the southern Tyrrhenian Sea and in the northern Sicily Channel. In the terrestrial record, there is evidence of drought at 8.2 ka cal BP, from the isotopic composition of a stalagmite recovered near Palermo, and of prolonged drought intervals during the Little Ice Age in the Erice village (Trapani). The vegetation pattern shows the development of Mediterranean Maquis in coastal sites and deciduous forests in sub-montane and montane regions, approximately from the Holocene base. The human impact is the main factor that forced the present vegetation pattern, as a consequence of intensive land-use, which started about 2.7 ka cal BP, when Greek colonies were first established. Human activity is however superimposed on a natural trend towards aridity, with climatic forces still not fully understood.

Parole chiave: Paleoecologia, Paleoclimatologia, Ultimo Massimo Glaciale, Olocene, Sicilia

Keywords: Palaeoecology, Palaeoclimatology, Last Glacial Maximum, Holocene, Sicily

### 1 - INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, la preoccupazione per gli effetti catastrofici che potrebbero essere provocati dal riscaldamento globale si è diffusa nei media e nell'opinione pubblica. Diversi studi hanno proposto previsioni sugli scenari futuri possibili e sull'impatto che l'aumento di temperatura avrebbe sull'ambiente. La conoscenza dell'impatto climatico sull'ambiente e l'affidabilità delle simulazioni al computer sono in gran parte basate su dati acquisiti nel corso di studi di paleoecologia e

paleoclimatologia. Nuove tecniche sono state sviluppate, mentre è cresciuto il numero di studi ad alta risoluzione, in grado di raccogliere e di descrivere i segnali biologici, chimici e fisici a scala secolare o addirittura decennale, in record marini e terrestri.

In questo contesto, grande importanza hanno assunto gli studi sull'area mediterranea, particolarmente significativi poiché, in virtù della favorevole posizione geografica, permettono speculazioni sulle connessioni tra i sistemi climatici delle basse ed alte latitudini. Diversi studi di rilevanza internazionale sono stati con-

dotti sul settore centrale dell'area mediterranea o nella stessa Sicilia. Sono stati raccolti dati, per esempio, sugli isotopi stabili di sedimenti lacustri e di speleotemi, sui granuli di polline fossile e pure dati micropaleontologici e geochimici su sedimenti prelevati nei mari che circondano l'Isola (Fig. 1). La corretta interpretazione di questi dati ha permesso di ottenere una grande quan-

tità di informazioni che in qualche modo riguardano anche l'ambiente della Sicilia nel passato. Scopo della presente nota è quello di fornire una visione d'insieme di questi dati e di offrire una traccia sull'evoluzione degli ambienti in Sicilia, durante gli ultimi 20 mila anni (ka cal BP), a partire dall'ultimo massimo glaciale (*Last Glacial Maximum* nella terminologia inglese).

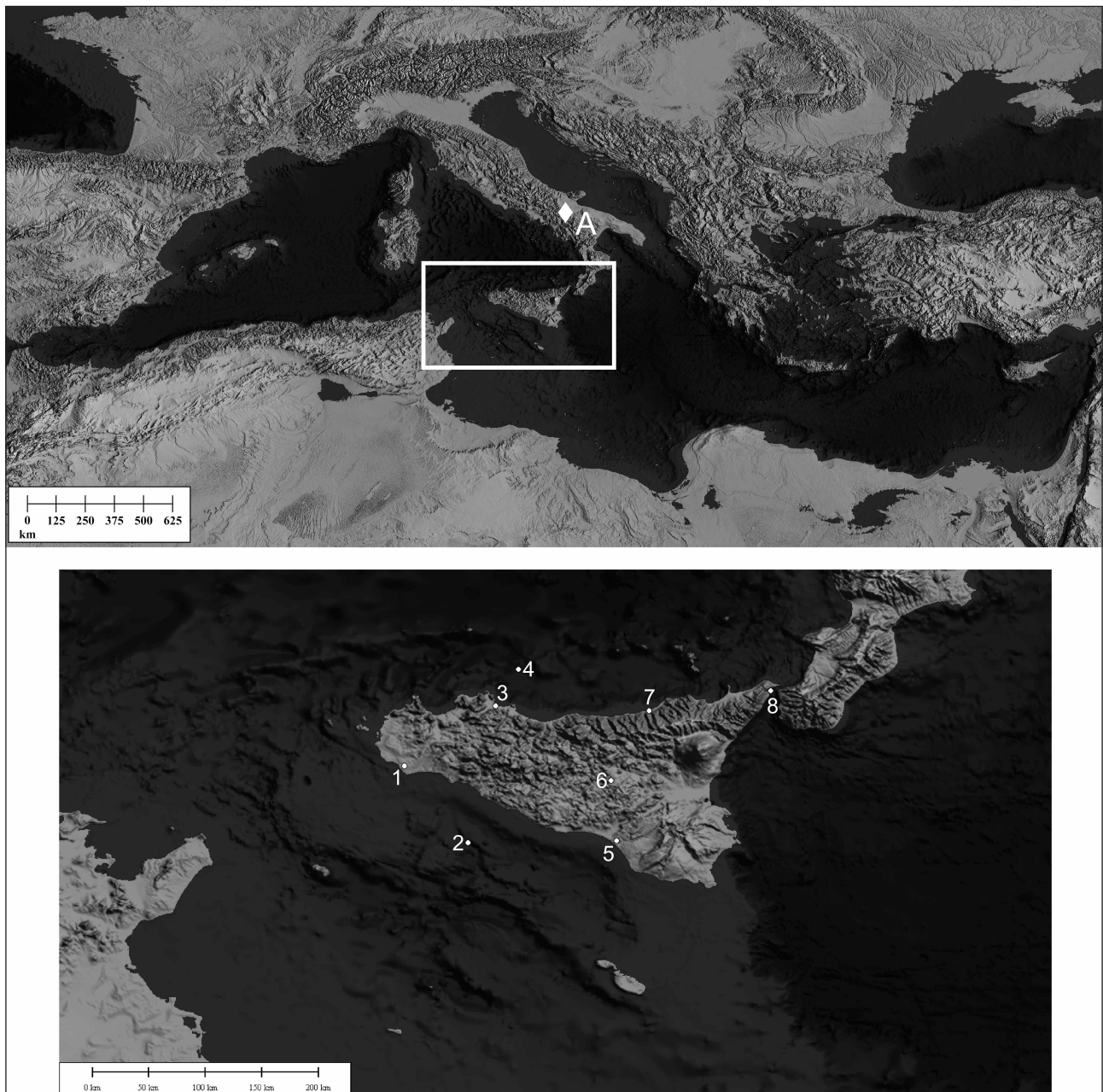


Fig. 1 - Mappe che riportano le località dei record discussi nel testo. In alto, mappa batimetrica del Mar Mediterraneo. "A" rappresenta la località di Lago Grande di Monticchio. In basso, mappa della Sicilia che rappresenta uno zoom del riquadro riportato nella mappa soprastante. "1" Rappresenta la località presso cui si trovano i laghi costieri della Riserva Naturale dei Gorgi Tondi"; "2" Sito 963 dell'Ocean Drilling Program; "3" Grotta di Carburangeli; "4" Carota marina BS 79-38; "5" Lago costiero Biviere di Gela; "6" Lago di Pergusa; "7" Grotta di S. Teodoro; "8" Stretto di Messina.

*Maps of records discussed in the text. Above, bathymetric map of the Mediterranean Sea. "A" is the location of Lago Grande di Monticchio. Below, Map of Sicily. "1" is the location of Gorgi Tondi coastal lakes; "2" Ocean Drilling Program Site 963; "3" Carburangeli Cave; "4" BS 79-38 marine core; "5" Biviere di Gela coastal lake; "6" Pergusa lake; "7" S. Teodoro Cave; "8" Messina Strait.*

## 2 - L'ULTIMO MASSIMO GLACIALE

Le condizioni ambientali e l'aspetto della Sicilia 20 ka cal BP, durante l'ultimo massimo glaciale, dovevano essere radicalmente diverse rispetto a quelle odierne. Il livello del mare era posto circa 110 metri al di sotto di quello attuale, con ovvie ripercussioni sull'aspetto fisiografico dell'isola. L'estensione totale doveva essere maggiore di circa 17000 km<sup>2</sup> (circa 43100 km<sup>2</sup> contro i 25883 km<sup>2</sup> odierni) mentre l'estremità nordorientale dell'Isola era connessa all'Italia peninsulare, permettendo il libero transito delle faune continentali ed all'isola di Malta (Fig. 2a).

È radicata nell'immaginario comune una condizione di estremo freddo durante l'ultimo periodo glaciale. Tutte le informazioni in nostro possesso confermano che condizioni climatiche ostili siano esistite anche in Sicilia, anche se solo raramente è stato possibile ottenere una stima quantitativa sulla temperatura dell'aria. Per esempio, dati di temperatura dell'aria in altre stazioni mediterranee suggeriscono che in Sicilia la temperatura media annua dovesse essere più bassa di 7-8°C (KUHLEMANN *et al.*, 2008). Un'idea forse più precisa di quanto l'ambiente potesse essere più freddo è deducibile da studi di geochimica organica condotti sui sedimenti del Tirreno meridionale, recuperati ad alcune decine di chilometri dalla costa settentrionale siciliana (Fig. 1). La ricostruzione della temperatura delle acque, riportata secondo una media annuale, ha previsto valori di 12-13°C per la parte terminale dell'ultimo periodo glaciale (SBAFFI *et al.*, 2001, 2004). Questo dato impressiona, alla luce dei valori medi della temperatura delle acque del Tirreno meridionale odierni, stimabili come poco inferiori a 20°C, anche se è sovrastimato (differenza di 8-9°C) rispetto ad uno studio che si basa su dati micropaleontologici (HAYES *et al.*, 2005). L'indicazione di una differenza di temperatura meno significativa proviene dalle masse d'acqua del Canale di Sicilia. Le associazioni a foraminiferi planctonici, organismi unicellulari molto sensibili alle condizioni delle masse d'acqua in cui vivono, suggeriscono infatti che le acque superficiali fossero più fredde di 4-6°C durante il periodo glaciale (SPROVIERI *et al.*, 2003, 2006; HAYES *et al.*, 2005) (Fig. 3). Sempre nel Canale di Sicilia, i dati di abbondanza delle alghe unicellulari chiamate coccolitoforidi mostrano come durante l'ultimo periodo glaciale non vi fosse traccia di un profondo e stabile termoclino stagionale (DI STEFANO & INCARBONA, 2004; INCARBONA *et al.*, 2008a, b). Il termoclino si forma durante il periodo tardo primaverile-estivo quando, in mancanza di significativi fenomeni di perturbazione atmosferica, l'atmosfera cede calore agli strati superficiali delle acque marine. Questi, riscaldandosi, diventano più leggeri e tendono a galleggiare sugli strati sottostanti. Man mano che la stagione estiva avanza, il riscaldamento coinvolge uno spessore sempre maggiore di acque e raggiunge di solito una profondità di alcune decine di metri. La mancanza di un profondo termoclino stagionale implica sia un minore contrasto di temperatura tra atmosfera e superficie del mare (che, in particolare per il periodo glaciale, significa temperatura dell'aria più fredda in estate) sia la presenza di fenomeni di perturbazione atmosferica (cioè forti venti ed episodi di tempesta), significativi persino nella stagione estiva.

La circolazione atmosferica nel bacino

Mediterraneo, ed in particolare nel settore centro-occidentale, presenta un controllo stagionale. Quest'area è sotto l'influenza dei venti occidentali carichi di pioggia durante il periodo invernale. In estate, a causa dello stabilirsi dell'Anticiclone delle Azzorre, i venti occidentali soffiano più a settentrione e questo provoca un regime di alta pressione e di generale siccità. La situazione generale della circolazione atmosferica nell'Emisfero settentrionale durante il periodo glaciale è registrata nelle carote di ghiaccio della Groenlandia (DANSGAARD *et al.*, 1993; MAYEWSKI *et al.*, 1997; NGRIP members, 2004). Alti valori degli ioni Na<sup>+</sup> nelle carote di ghiaccio sono stati osservati durante periodi in cui il Ciclone dell'Islanda ha valori di pressione particolarmente bassi e quindi la circolazione atmosferica invernale nel Nord Atlantico permette il trasporto del Na<sup>+</sup> contenuto nel sale marino verso la parte centrale della Groenlandia. Alti valori dello ione K<sup>+</sup> sono invece dovuti a periodi in cui l'Anticiclone Siberiano è particolarmente intenso. Alti valori di entrambi gli ioni sembrano in buona correlazione tra loro, indicando momenti in cui la circolazione atmosferica nell'Emisfero Settentrionale era rafforzata (MEEKER & MAYEWSKI, 2002) e periodi di espansione del Vortice Polare (O'BRIEN *et al.*, 1995; MAYEWSKI *et al.*, 1997). Durante il periodo glaciale, visti i valori molto più alti di questi due ioni nelle carote di ghiaccio (Fig. 3), è possibile ipotizzare che la circolazione atmosferica fosse molto più intensa di quella attuale. In particolare è probabile l'azione più intensa e prolungata dei venti occidentali che oggi costituiscono il più comune fenomeno di perturbazione atmosferica nel settore centrale del Mediterraneo. È probabile altresì che l'arrivo delle fredde masse d'aria dell'Anticiclone Siberiano, che oggi raggiungono quest'area oltrepassando i Balcani, avvenisse molto più di frequente.

Un'ulteriore conferma della maggiore attività dei venti che spiravano sul bacino Mediterraneo arriva sia da studi sull'altezza della linea di equilibrio dei ghiacciai (KUHLEMANN *et al.*, 2008) che da quelli sulla circolazione oceanografica del Mar Mediterraneo. Il sistema di circolazione delle acque di questo mare si sviluppa su tre livelli ed è legata alla produzione di acque di fondo che avviene nel bordo settentrionale del bacino, principalmente nel Golfo del Leone e nel Mare Adriatico. L'acqua di fondo si forma durante brevi episodi in cui venti di provenienza settentrionale soffiano con grande forza (POEM group, 1992; MILLOT, 1999). Tutti i dati in nostro possesso sono concordi nell'indicare come durante l'ultimo periodo glaciale la circolazione delle acque nel Mediterraneo fosse notevolmente rafforzata, il che implica una maggiore produzione di acque di fondo innescata da una più intensa e prolungata azione dei venti nella porzione settentrionale del bacino (ROHLING *et al.*, 1998; CACHO *et al.*, 2000; MORENO *et al.*, 2004; SIERRA *et al.*, 2005; FRIGOLA *et al.*, 2008).

Lo studio dei sedimenti e dei pollini fossili del Lago di Pergusa offre un'istantanea di quella che doveva essere la vegetazione ed il regime delle precipitazioni in Sicilia 20 ka cal BP. La vegetazione sembra essere stata caratterizzata dalla scarsa presenza di alberi mentre erano estremamente comuni piante erbacee ed arbustive relativamente basse come l'*Artemisia* o quelle della famiglia delle *Chenopodiaceae*, indicative di un ambiente aperto di steppa o semi-steppa (SADORI *et al.*, 2008). L'ambiente di steppa, sebbene con piccole

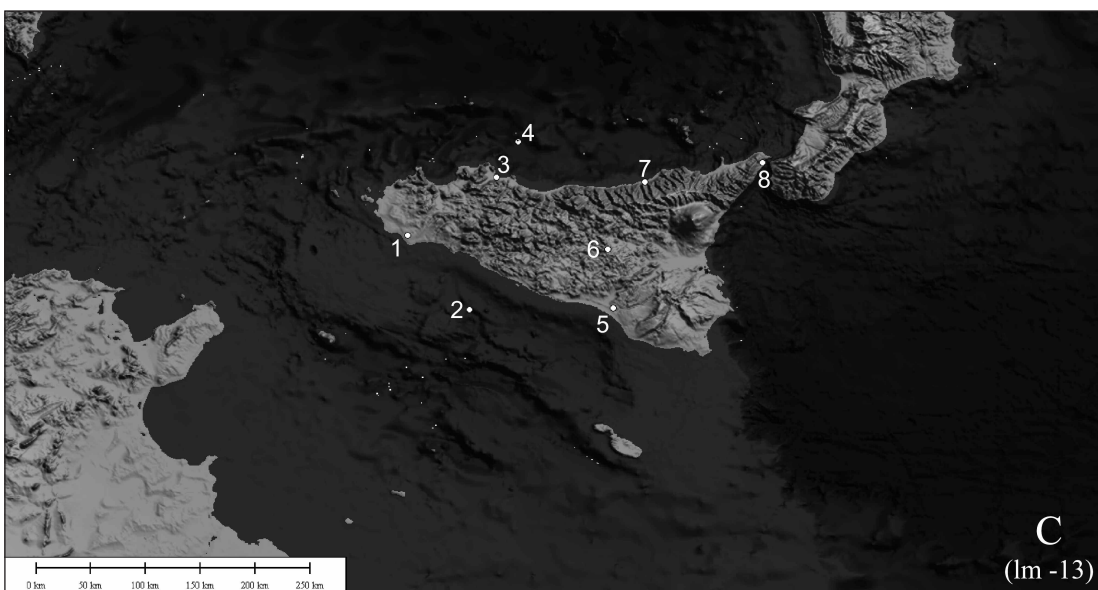
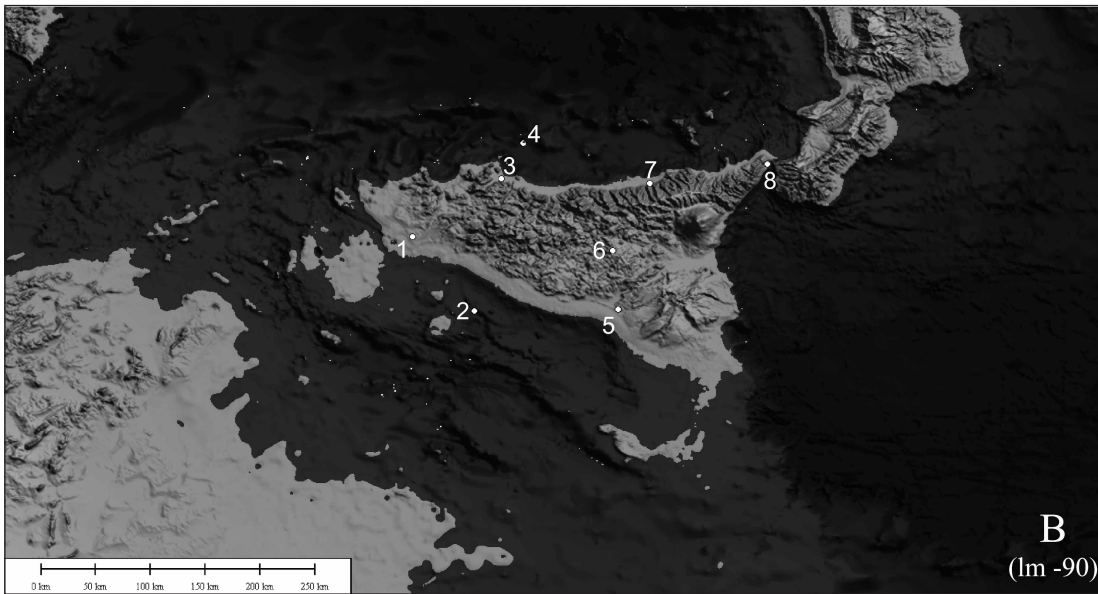
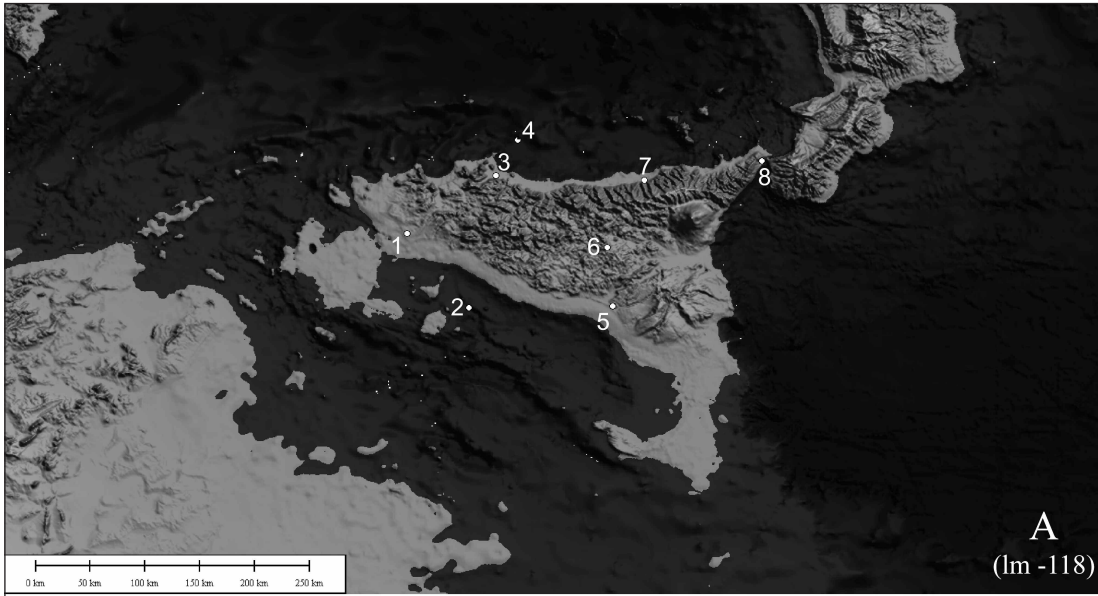


Fig. 2 - Mappe della Sicilia che rappresentano uno zoom del riquadro riportato nella mappa di Figura 1. Fig. 2a, fisiografia della Sicilia quando il livello del mare era più basso di 118 m, durante l'ultimo massimo glaciale; Fig. 2b, fisiografia della Sicilia quando il livello del mare era più basso di 90 m, durante la transizione tra ultimo periodo glaciale e Olocene. Fig. 2c, fisiografia della Sicilia quando il livello del mare era più basso di 13 m, nel periodo medio olocenico.

*Maps of Sicily. Fig. 2a, Physiography of Sicily during the last glacial maximum, when the sea level was at -118m; Fig. 2b, Physiography of Sicily during the transition between the last glacial and the Holocene, when the sea level was at -90m; Physiography of Sicily during the middle Holocene, when the sea level was at -13m.*

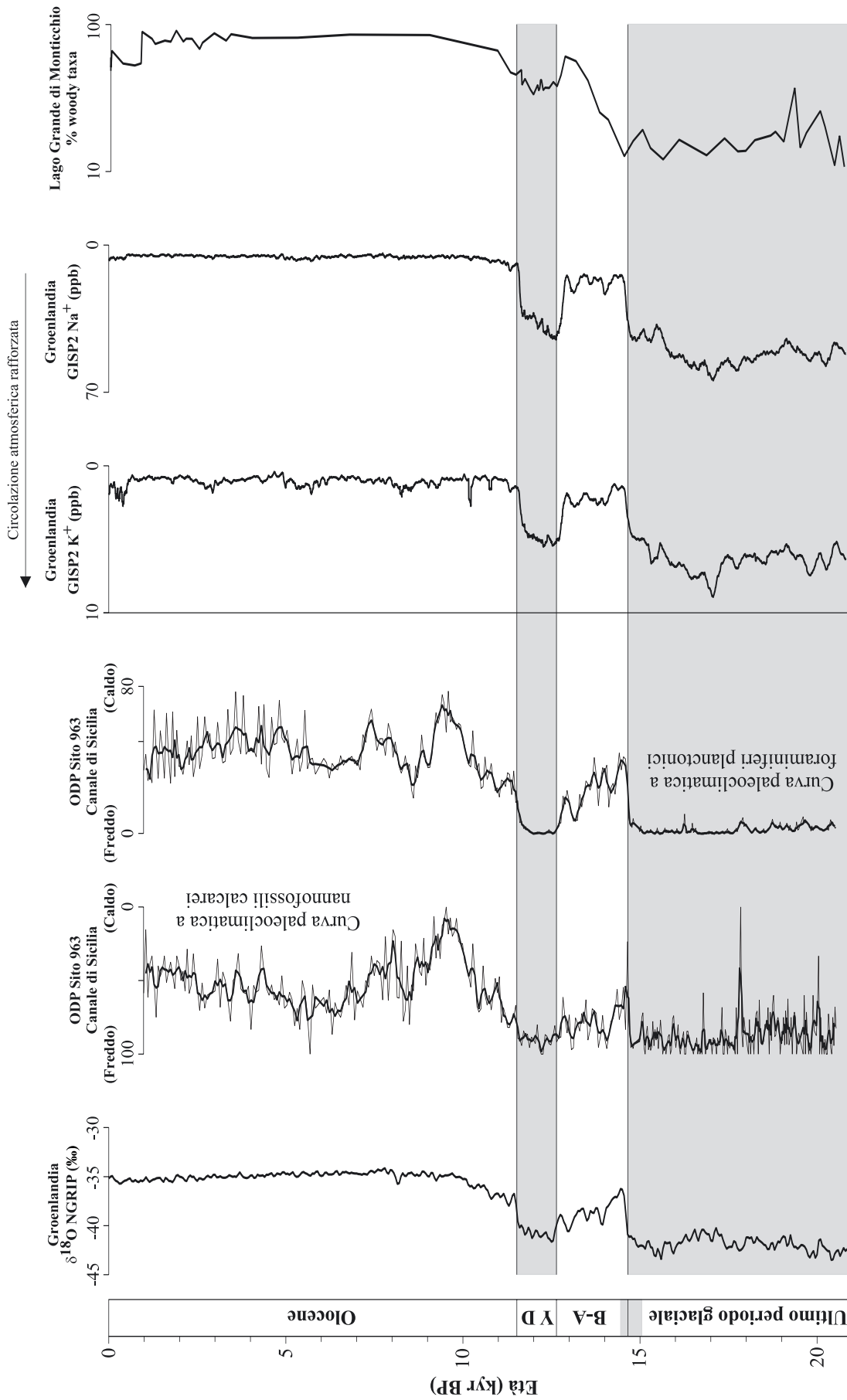


Fig. 3 - Curve di indicatori climatico/ambientali relative agli ultimi 20 ka cal BP circa, ognuna proiettata sul proprio modello di età (ka cal BP). Da sinistra, record del  $\delta^{18}\text{O}$  delle carote di ghiaccio groenlandesi NGRIP, indicatori della temperatura dell'aria in quella regione (NGRIP members, 2004); Curve paleoclimatiche a nannofossili calcarei e a foraminiferi planctonici del Sito ODP 963, perforato nel Canale di Sicilia (SPROVIERI et al., 2003; DI STEFANO e INCARBONA, 2004); Variazioni di abbondanza degli ioni  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  nelle carote di ghiaccio della Groenlandia GISP2 (O'BRIEN et al., 1995; MAYEWSKI et al., 1997); Variazioni delle percentuali di granuli di polline arboreo nei sedimenti di Lago Grande di Monticchio (ALLEN et al., 1999). La colonna a sinistra indica i limiti tra l'ultimo periodo glaciale, il Bolling-Allerød, lo Younger Dryas e l'Olocene. *Climatic/Environmental proxy curves over the last 20 kyr BP. From the left,  $\delta^{18}\text{O}$  of Greenland ice cores (NGRIP members, 2004); Palaeoclimatic curves based on calcareous nannofossils and planktonic foraminifera from ODP Site 963, Sicily Channel (SPROVIERI et al., 2003; DI STEFANO and INCARBONA, 2004); Abundance variations of  $\text{K}^+$  and  $\text{Na}^+$  in GISP2 Greenland ice cores (O'BRIEN et al., 1995; MAYEWSKI et al., 1997); Percentage variations of arboreal pollen grains from Lago Grande di Monticchio (ALLEN et al., 1999). The column on the left shows boundaries among last glacial period, Bolling-Allerød, Younger Dryas and Holocene.*

variazioni dovute a fattori locali, sembra essere stato un elemento comune dell'Europa meridionale, essendo stato riconosciuto per esempio nella Penisola Iberica, in Italia meridionale ed in Grecia (ALLEN et al., 1999; SANCHEZ GOÑI et al., 1999; TZEDAKIS et al., 2003; ROUCOUX et al., 2005). È interessante però notare come alcune specie vegetali mesofile e termofile di alberi delle Angiosperme, sebbene in quantità molto limitate, siano sopravvissute in questo ambiente così ostile. La Sicilia sembra quindi avere agito come una sorta di area di "rifugio" per questi alberi, favorendo la rapida ricolonizzazione del Mediterraneo centrale, non appena le condizioni climatiche migliorarono (SADORI et al., 2008).

L'ambiente di steppa, oggi tipico per esempio della Siberia sudoccidentale o del Canada meridionale, non implica solo temperature rigide ma anche e soprattutto valori delle precipitazioni estremamente scarsi. Valori fortemente ridotti delle precipitazioni sono stati dedotti dai risultati di analisi geochimiche che hanno preso in considerazione il rapporto degli isotopi dell'ossigeno nei sedimenti del Lago di Pergusa (ZANCHETTA et al., 2006; SADORI et al., 2008).

Ulteriori conferme della valenza arida del clima provengono dai dati della fauna continentale a mammiferi e da evidenze paleoantropologiche. Tra il Pleniglaciale Superiore ed il Tardoglaciale (tra circa 25 e 15 ka cal BP) si verifica un elevato turn over tassonomico come dimostrano i dati relativi alle estinzioni e comparse per dispersione dei due Complessi Faunistici (CF) riferibili a questo intervallo di tempo, il CF Grotta di San Teodoro – Pianetti ed il successivo CF di Castello (D'AMORE et al., 2009; PETRUSO et al., in stampa). La fase di acme glaciale costituisce probabilmente un evento particolarmente favorevole per gli scambi faunistici tra la Sicilia e la terraferma permettendo l'arrivo dal sud della Penisola di nuove popolazioni di cervo rosso, di uro, e forse del cavallo *Equus ferus* e portando all'estinzione tutti i taxa endemici. Nella suddetta transizione si estinguono l'elefante di taglia media *Paleoloxodon mnaidriensis*, le forme endemiche di taglia moderatamente ridotta di cervo rosso e di uro e i carnivori come la iena maculata delle caverne e l'orso bruno. E' già scomparso, probabilmente anche l'unico taxon ad affinità decisamente boreale presente sull'isola, il bisonte di steppa siciliano (*Bison priscus sicilliae*). Gli elementi sopravvissuti testimoniano che il clima presentava ancora caratteri di aridità come attestato dall'asino delle steppe europeo (*Equus hydruntinus*) e dal roditore Terricola del Savi [*Microtus (Terricola) ex gr. savii*] ma non ci sono indicatori di climi freddi. La costante presenza del cervo rosso e del cinghiale indicano tuttavia la locale diffusione di copertura arborea in aree di rifugio (AGNESI et al., 1997; BONFIGLIO et al., 2000). La fauna a mammiferi Tardoglaciale, inoltre, mostra notevoli affinità con le faune coeve del sud della Penisola Italiana ed, in particolar modo, con quelle del versante tirrenico (MASINI et al., 2008; PETRUSO et al., in stampa). L'elevato turn over riscontrato e l'affinità con le faune coeve peninsulari sono il risultato dello scambio faunistico con la penisola calabra, facilitato da un ponte emerso.

Le condizioni descritte sopra, basate sui dati raccolti in record terrestri e marini, sono perfettamente compatibili con i risultati che provengono da modellizzazioni (General Circulation Model), volte alla descrizio-

ne del clima e dell'ambiente in Europa durante l'ultimo periodo glaciale. Sebbene i risultati di queste simulazioni debbano essere interpretati con cautela e valutati criticamente, dato che dipendono fortemente dal numero delle variabili e dei valori che vengono inseriti nel sistema, esse hanno il vantaggio di offrire una stima quantitativa dei diversi parametri climatico-ambientali che vengono presi in considerazione. Il quadro ottenuto dipinge l'Europa meridionale (al di sotto di 45°N di latitudine) come estremamente fredda ed arida, con temperature più basse di 2-7°C (valutate durante la stagione estiva e durante quella invernale) e precipitazioni ridotte di 1,5-5 mm/giorno, rispetto ad oggi. La simulazione in questione, mostra anche una forte attività dei venti provenienti dai quadranti occidentali ed un pattern della vegetazione quasi esclusivamente costituito da erbe ed arbusti (BARRON & POLLARD, 2002).

### 3 - LA TRANSIZIONE TRA L'ULTIMO PERIODO GLACIALE E L'OLOCENE: IL PERIODO DELLA DEGLACIAZIONE

Il riscaldamento prodotto durante il periodo di transizione tra l'ultimo glaciale e l'Olocene, durato circa 3 mila anni (tra 14,7 e 11,6 mila anni fa), è il risultato dell'aumento dei valori dell'insolazione, in risposta alle variazioni dell'orbita della terra attorno al sole. Questo intervallo è stato un momento di riorganizzazione del sistema climatico che ha coinvolto variazioni nel volume delle calotte di ghiaccio, nella circolazione oceanica, della quantità di gas serra nell'atmosfera ed ovviamente della temperatura media globale del pianeta (BROECKER, 1998; PETIT et al., 1999; MARTIN et al., 2002; SKINNER et al., 2003; Skinner & Shackleton, 2005).

La transizione tra ultimo periodo glaciale e Olocene non è avvenuta con un riscaldamento graduale, ma attraverso due brusche fluttuazioni climatiche non controllate dalle variazioni dell'orbita terrestre, chiamate Bølling-Allerød (fluttuazione calda) e Younger Dryas (fluttuazione fredda) (Fig. 3). Bølling-Allerød e Younger Dryas sono le ultime di una serie di oscillazioni climatiche ad alta frequenza che si sono ripetute ogni 1.5 mila anni durante l'ultimo periodo glaciale nell'Emisfero Nord (ROHLING et al., 2003; NGRIP members, 2004). Non è chiaro quali siano i meccanismi climatici che hanno innescato le oscillazioni ad alta frequenza nell'Emisfero Nord. L'ipotesi più accreditata prevede il ciclico arresto o il brusco rallentamento della circolazione delle acque dell'Oceano Atlantico, provocato da variazioni nel contenuto salino delle acque delle alte latitudini, il cui effetto avrebbe comportato variazioni nella quantità di calore trasportato dalle masse alle alte latitudini (BROECKER et al., 1990).

Una serie di studi recenti ha dimostrato che è possibile riconoscere la presenza delle fluttuazioni climatiche di scala suborbitale anche nel Mediterraneo. Questi episodi sembrano essere simultanei a quelli precedentemente riconosciuti nei record delle carote di ghiaccio della Groenlandia e dei record marini Atlantici, probabilmente per fenomeni di teleconnessione, cioè per il rapido trasferimento di calore attraverso fenomeni di tipo atmosferico (ROHLING et al., 1998; CACHO et al., 1999, 2000; SBAFFI et al., 2001, 2004; BUCCHERI et al., 2002; COMBORIEU NEBOU et al., 2002; MORENO et al.,

2002; Rohling *et al.*, 2002; PÉREZ-FOLGADO *et al.*, 2003; SIERRO *et al.*, 2005; FRIGOLA *et al.*, 2008). In particolare, nel Canale di Sicilia, nei pressi della costa meridionale dell'Isola, è stato possibile riconoscere l'intera sequenza di fluttuazioni Stadiali (condizioni di clima più freddo e arido) ed Interstadiali (condizioni di clima più caldo e umido), succedutesi durante gli ultimi 115 ka cal, sulla base di analisi micropaleontologiche e geochimiche (SPROVIERI *et al.*, 2003, 2006; SPROVIERI *et al.*, 2007). Il riscaldamento iniziale delle acque superficiali avvenuto alla base del Bølling-Allerød può essere valutato in circa 5°C nel Mar Tirreno meridionale, sulla base dei dati degli alchenoni (SBAFFI *et al.*, 2001) e di circa 3-4°C nel Canale di Sicilia, sulla base delle associazioni a foraminiferi planctonici (SPROVIERI *et al.*, 2003, 2006). Poco più di 1000 anni dopo, in coincidenza dello Younger Dryas, le temperature di questi mari sarebbero di nuovo crollate fino a valori pienamente glaciali (Fig. 3) (SBAFFI *et al.*, 2001; SPROVIERI *et al.*, 2003). Come per le fluttuazioni climatiche suborbitali precedenti, è possibile associare condizioni relativamente più umide per la pulsazione calda del Bølling-Allerød e di estrema aridità per quella fredda dello Younger Dryas (SPROVIERI *et al.*, 2003, 2006; DI STEFANO & INCARBONA, 2004; Sprovieri *et al.*, 2007).

La cronologia dei sedimenti recuperati presso il Lago di Pergusa mostra uno scarso controllo cronologico che impedisce di affermare con certezza che l'intervallo della deglaciazione sia stato registrato (SADORI & NARCISI, 2001). Non è quindi possibile avere una testimonianza diretta di come la vegetazione in Sicilia si sia evoluta e di quali siano stati i valori delle precipitazioni. Tuttavia una cronologia sicura è stata stabilita per gli ultimi 12,8 mila anni e sottolinea la transizione verso un ambiente molto meno arido e lo sviluppo progressivo di boschi e foreste al passaggio tra lo Younger Dryas e l'Olocene (ZANCHETTA *et al.*, 2006; SADORI *et al.*, 2008).

Dati con risoluzione sufficiente per cogliere i cambiamenti della vegetazione avvenuti alla base dell'intervallo di deglaciazione nell'area Mediterranea esistono in diverse carote marine. Generalmente essi riportano il passaggio da un ambiente aperto di tipo semi-desertico, registrato durante l'ultimo glaciale ad uno in cui la vegetazione arborea divenne molto più abbondante, attribuibile alle prime fasi del Bølling-Allerød (e.g. ZONNEVELD, 1996; COMBOURIEU-NEBOUT *et al.*, 1998; MAGRI & PARRA, 2002; TZEDAKIS *et al.*, 2003).

Un record pollinico di eccezionale valore, riguardante gli ultimi 130 ka cal BP, è stato recuperato in Basilicata (Italia meridionale) a Lago Grande di Monticchio (Fig. 1) (ALLEN *et al.*, 1999; BRAUER *et al.*, 2007; ALLEN & HUNTLEY, 2009). Uno dei caratteri più sorprendenti riguarda i rapidissimi cambiamenti della vegetazione, avvenuti talvolta in meno di 200 anni. In questi sedimenti lacustri sono state registrate le variazioni nella composizione della vegetazione durante il periodo della deglaciazione (Fig. 3). La parte terminale dell'ultimo periodo glaciale è caratterizzato da una vegetazione tipica di un ambiente freddo di steppa, simile a quello già discusso per la carota PG 1 del Lago di Pergusa. A partire dalla base del Bølling-Allerød può essere osservato il graduale aumento di granuli di polline arboreo e la trasformazione verso un ambiente misto di steppa e boschi (wooded steppe). L'ambiente al culmine di questo intervallo, è quello tipico di una foresta

temperata. Il ritorno verso il clima freddo ed arido dello Younger Dryas è segnato da un pattern della vegetazione con condizioni miste di steppa e bosco (ALLEN *et al.*, 1999).

Il tipo di vegetazione cambia in risposta a fattori locali come per esempio altitudine, precipitazione e presenza di microclimi. È quindi assolutamente non plausibile che l'associazione pollinica di Lago Grande di Monticchio sia rappresentativa delle condizioni della vegetazione in Sicilia. Tuttavia, in virtù della vicinanza geografica e dell'appartenenza allo stesso pattern climatico-atmosferico, è ragionevole immaginare che la vegetazione in Sicilia possa avere avuto una risposta simile a quella dell'Italia meridionale. È quindi possibile che ci sia stato un aumento della vegetazione arborea e la presenza di aree con foreste durante il Bølling-Allerød, ed una nuova fase di regressione verso un ambiente aperto di tipo steppico o semi-steppico durante lo Younger Dryas. Solo nuovi dati ad alta risoluzione, relativi ai resti di pollini depositati in sedimenti continentali della Sicilia o in sedimenti dei mari che la circondano, potranno chiarire l'evoluzione della vegetazione in questo intervallo temporale.

All'inizio del periodo di deglaciazione, tra circa 14 e 15 ka cal BP, il livello del mare (l.m.) era posto a circa 90 m al di sotto della quota odierna (LEA *et al.*, 2002). La Sicilia aveva ancora un'estensione maggiore rispetto a quella odierna, stimabile in circa 33 mila km<sup>2</sup>, ma rispetto all'ultimo periodo glaciale, gran parte della connessione all'isola di Malta doveva risultare sommersa (Fig. 2b).

Una importante considerazione sulle variazioni del l.m. in questo intervallo di tempo riguarda i modi ed i tempi dell'apertura di un braccio di mare attraverso lo Stretto di Messina. I dati batimetrici dello Stretto di Messina mostrano la presenza di un possibile corridoio di bassa profondità, oggi posto a circa 72 m al di sotto del l.m., tra le località di Punta Pezzo e Ganzirri. Diversi studi hanno fornito stime dei tassi di sollevamento nella zona dell'Arco Calabro-Peloritano, generalmente comprese tra 0,5 e 2,5 mm/a (e.g. MONTENAT & BARRIER, 1987; DI STEFANO & BRANCA, 2002; DE GUIDI *et al.*, 2003; ANTONIOLI *et al.*, 2006a). Dati più recenti riportano dei valori di 1,07 mm/a e ≤ 0,95 mm/a (Antonoli *et al.*, 2006b) rispettivamente per i tassi di sollevamento regionale della Sicilia Nord-Orientale (S. Alessio) e della Calabria meridionale (Scilla). All'entità di questo sollevamento regionale potrebbe essersi aggiunto un importante contributo "co-sismico", dovuto all'azione di faglie. In particolare, nell'area dello Stretto di Messina, l'azione tardo-olocenica della Faglia di Scilla avrebbe aumentato il tasso di sollevamento fino a 2,1 mm/anno (FERRANTI *et al.*, 2007, 2008). Un sottile braccio di mare tra la Sicilia e l'Italia potrebbe dunque essersi iniziato a formare tra 15,9 e 11,6 ka cal BP (Fig. 4), quando il livello del mare si attestò tra -89 e -50 m rispetto alla quota attuale (LEA *et al.*, 2002), anche se è difficile fare ipotesi su come e quando questa separazione possa avere realmente costituito un ostacolo per le migrazioni della fauna.

Sebbene sia possibile che sporadiche testimonianze dell'Uomo in Sicilia, come indicato dai reperti di Riparo di Fontana Nuova (Ragusa), possano essere riferite alla cultura Aurignaziana delle fasi iniziali del Paleolitico superiore (tra 32 e 29 ka cal BP, con misure

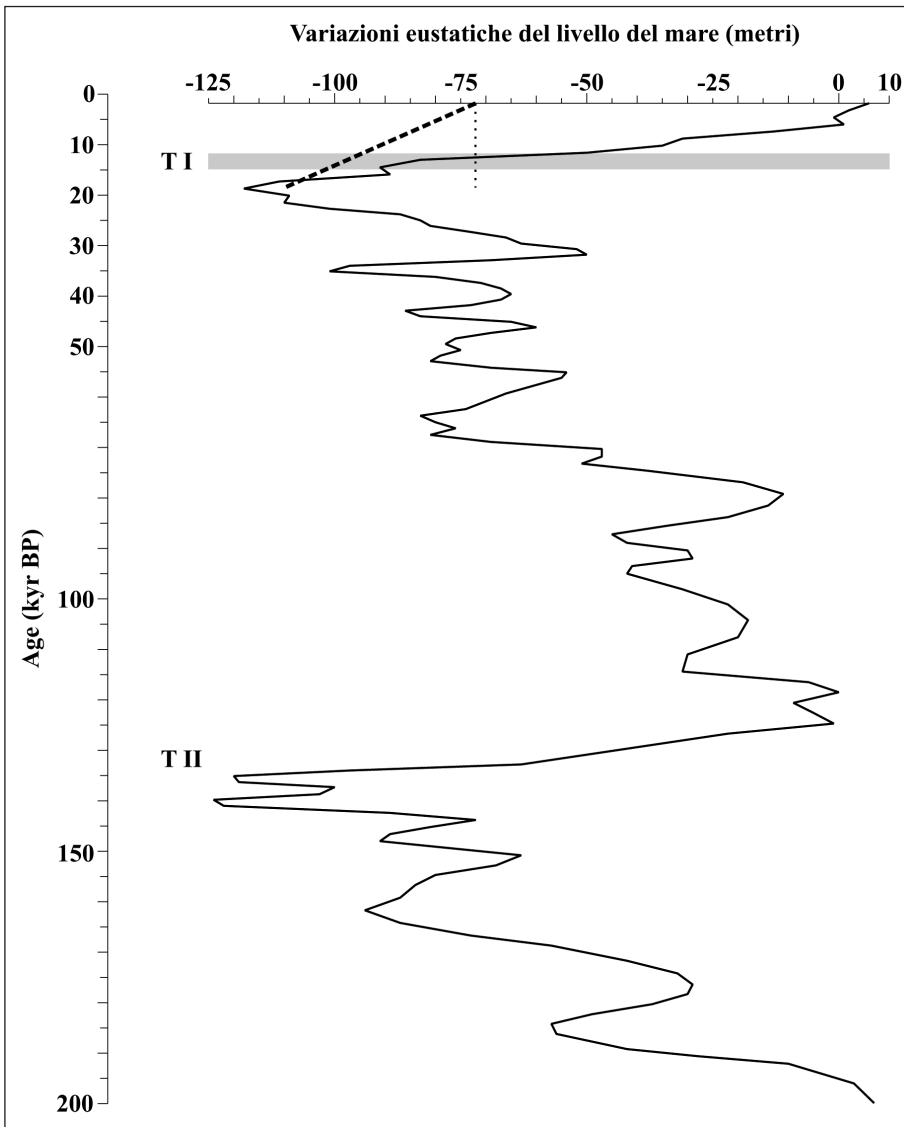


Fig. 4 - Grafico con le variazioni eustatiche del livello del mare, espresse in metri, registrate durante gli ultimi 200 ka cal (LEA *et al.*, 2002) in ascissa, ed il tempo (ka cal BP) in ordinata. Gli intervalli di tempo riguardanti le ultime due Terminazioni glaciali (T I e T II) sono approssimativamente indicati. La linea spessa tratteggiata indica le variazioni che il corridoio, posto oggi a -72 m di profondità nello Stretto di Messina, potrebbe avere subito durante gli ultimi 20 ka cal assumendo un tasso di sollevamento tettonico regionale di 2mm/anno (vedi Paragrafo 3). La linea sottile punteggiata è invece relativa all'ipotesi della totale stabilità di questo corridoio. L'area racchiusa tra la linea tratteggiata e la curva eustatica presuppone la presenza di un braccio di mare tra Sicilia ed Italia peninsulare.

Plot of eustatic sea level variations, in metres, recorded over the last about 200 kyr (LEA *et al.*, 2002), versus time (kyr BP). The time interval of the last two Terminations (T I and T II) is indicated. The thick dashed line shows variations in the corridor, today located at 72 m depth in the Messina Strait, assuming a uplift rate of 2 mm/yr (see Paragraph 3). The thin dotted line shows variations in the corridor in case of tectonic stability of the area. The area between the thick dashed line and the thin dotted line implies the presence of a submerged sector between Sicily and Italian Peninsula.

di radiocarbonio convenzionale) (CHILARDI *et al.*, 1996), è durante questo intervallo temporale, che in termini di cultura materiale umana viene chiamato Epigravettiano, che vi sono le prime certe evidenze fossili umane e che si assiste al primo boom demografico in Sicilia (PIPERNO, 1997; VIGLIARDI, 1997). In particolare, il ritrovamento di sette inumati nella grotta di S. Teodoro (Acquedolci, Messina) può essere considerato come la prima evidenza consistente della presenza dell'uomo in Sicilia.

Recentemente, un'analisi AMS di radiocarbonio effettuata sul più rappresentativo di questi scheletri (l'individuo ST1, esposto presso il Museo Geologico "G. G. Gemmellaro" del Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo), ha dato un'età di 14,75 ka cal BP (età calibrata) (INCARBONA *et al.*, in preparazione), confermando precedenti ipotesi archeologiche e stratigrafiche (GRAZIOSI, 1947; VIGLIARDI, 1968; SEGRE & VIGLIARDI, 1983; SINEO *et al.*, 2002). La reale importanza del sito e della sua gente nel panorama delle popolazioni antiche siciliane e il ruolo di questi individui nella composizione di un back-ground genetico ancestrale sono ancora non valutabili. L'ipotesi corrente è che il primo consistente popolamento umano dell'Epigravettiano abbia portato ad una prima dispersione presumibilmente sulle direttrici costiere settentrionali dell'isola, verso le falesie occidentali. Ipotizzando una dispersione sporadica di piccoli gruppi in contatto saltuario possiamo immaginare un primo popolamento coerente da un punto di vista popolazionistico (e genetico) che avrebbe lasciato alcune testimonianze litiche sulla costa settentrionale, presso il Riparo del Castello, nelle falesie del promontorio di S. Vito lo Capo ed altre, il cui inquadramento cronologico e la cui relazione temporale con i precedenti è però ancora da definire, tra cui probabilmente i siti rupestri dell'Addaura (Palermo) e delle Isole Egadi.

Un'attenta valutazione e nuovi studi con metodologie di morfometria geometrica di crani, di paleogenetica (DNA antico) ed isotopiche potranno contribuire alla definizione dei rapporti tra le popolazioni antiche (siciliane e continentali), nonché tra quelli

intercorsi tra gli individui Epigravettiani ed i cacciatori mesolitici che hanno popolato intensamente, migliaia di anni dopo, le coste settentrionali e occidentali dell'isola (D'AMORE *et al.*, 2009; Luca Sineo, dati non pubblicati).

Per quanto riguarda le faune a mammiferi, durante la transizione Tardoglaciale - Olocene antico, si disperdono nuovamente sull'isola popolazioni di lupo e volpe, che sostituiscono le forme residenti dal Pleistocene Medio, e arrivano alcuni mammiferi mai



documentati prima sull'isola, come la lontra, il coniglio, il ghioi comune e l'arvicola d'acqua (SARÀ, 1998; PETRUSO *et al.*, in stampa). Questi dati suggeriscono fortemente che il clima, più umido e caldo, avrebbe favorito la riforestazione dell'isola. La diffusione del cervo rosso e del cinghiale mostrano la tendenza del clima al miglioramento con la diffusione della copertura arborea (AGNESI *et al.*, 1997). Inoltre, l'arrivo della lontra, dell'arvicola d'acqua e del gliride, attestano che il clima aveva assunto un carattere temperato-umido e che nel paesaggio si era diffusa una copertura arborea. La riforestazione e la risalita del livello del mare che potrebbe avere determinato una riduzione delle pianure costiere, habitat preferito dei grandi ungulati, portando alla definitiva estinzione dell'equide idruntino.

#### 4 - L'OLOCENE

Dal punto di vista fisiografico, l'aspetto della Sicilia doveva essere già molto simile a quello attuale a partire da circa 7,4 ka cal BP (Fig. 2c), quando il l.m. era risalito fino a -13m (LEA *et al.*, 2002).

Il clima dell'attuale periodo interglaciale, l'Olocene, cominciato circa 11700 anni fa (WALKER *et al.*, 2008), ha probabilmente impresso un'importante accelerazione all'evoluzione sociale e culturale umana. Il clima più mite rispetto al precedente periodo glaciale ha permesso alle popolazioni dell'Europa centrale e del bacino mediterraneo di occupare territori precedentemente interessati dai ghiacciai della calotta euroasiatica. La migrazione di queste popolazioni è uno degli elementi chiave per la rapida diffusione di informazioni, tra le quali quelle relative alle prime attività agricole (CAVALLI-SFORZA & CAVALLI-SFORZA, 1993).

Si è creduto a lungo che il clima olocenico fosse stato fortemente stabile, con un unico episodio di raffreddamento avvenuto 8,2 ka cal BP. Questa considerazione era principalmente dovuta alla stabilità degli indicatori climatici delle carote di ghiaccio della Groenlandia, uno tra i registri migliori e più accurati di cui si dispone. L'unico episodio di raffreddamento atmosferico, stimato in circa 6°C, fu dedotto dalle variazioni del  $\delta^{18}\text{O}$  (Fig. 3) (ALLEY *et al.*, 1997). In realtà già negli anni '70 era stata sottolineata una possibile forte instabilità del clima dell'Olocene, dato il rapido susseguirsi di fasi di avanzamento e ritiro dei ghiacciai perenni europei (DENTON & KARLÉN, 1973). L'esistenza di una variabilità climatica ad alta frequenza all'interno dell'Olocene è stata recentemente dimostrata attraverso il ritrovamento di livelli di "Ice Rafted Detritus" (IRD) depositatisi dopo lo scioglimento di iceberg nel Nord Atlantico Subpolare (Fig. 5) (BOND *et al.*, 1997, 2001). La quantità di granuli di IRD, sebbene molto meno abbondante rispetto agli episodi dell'ultimo glaciale (BOND *et al.*, 1992) è risultata comunque significativa dal punto di vista statistico. Successivamente la presenza di anomalie climatiche oloceniche è stata riconosciuta in un gran numero di registri sedimentari marini e continentali di entrambi gli emisferi (Fig. 5) (MAYEWSKI *et al.*, 2004).

Studi recenti sui sedimenti prelevati nei mari che circondano la Sicilia confermano che i fenomeni di instabilità climatica dell'Olocene hanno interessato anche quest'area del Mediterraneo. Variazioni della temperatura nelle acque superficiali del Tirreno meridio-

nale (SBAFFI *et al.*, 2001) e variazioni del 10-15% della specie di nanofossile calcareo *Florisphaera profunda* nella parte settentrionale del Canale di Sicilia (INCARBONA *et al.*, 2008a), sebbene basate su cronologie indipendenti, delineano un quadro di episodi di anomalie climatiche che ben si accorda con il record delle variazioni di IRD nel Nord Atlantico (Fig. 5), utilizzato come riferimento a livello globale. Gli episodi di raffreddamento registrati nelle acque superficiali del Tirreno meridionale sono sincroni ad episodi registrati nel Mare di Alboran, sebbene più freddi di 1.5-2°C per l'azione di venti più intensi provenienti dai quadranti settentrionali (CACHO *et al.*, 2001, 2002). Anche le diminuzioni di abbondanza di *F. profunda* possono essere spiegate attraverso fenomeni di circolazione atmosferica più intensa, che avrebbero provocato la presenza di una stratificazione meno profonda e più debole nelle acque estive (DI STEFANO & INCARBONA, 2004; INCARBONA *et al.*, 2008a, b, c). Poiché in Sicilia non esistono barriere fisiografiche significative, i fenomeni atmosferici avvenuti nel Tirreno meridionale potrebbero essere stati avvertiti immediatamente nel Canale di Sicilia. Ciò spiega la buona correlazione tra gli episodi di anomalia climatica della carota BS79-38 e quelli del Sito 963 e implica che gli stessi fenomeni atmosferici debbano avere avuto un impatto anche sull'ambiente continentale dell'Isola.

Gli episodi di anomalia climatica dell'Olocene si sono ripetuti ogni 1500 anni, in modo simile a quanto osservato durante l'ultimo periodo glaciale, anche se diversi dubbi persistono circa l'azione di un'unica forzante climatica. L'ultimo degli episodi di anomalia climatica olocenica è conosciuto come Piccola Età Glaciale (Little Ice Age) ed è stato registrato approssimativamente tra il 1550 ed il 1800.

Due sono le evidenze scientifiche dell'impatto della Piccola Età Glaciale in Sicilia, o meglio di quella che è conosciuta come la sua fase principale (XVI-XIX secolo) (HOLZHAUSER, 2005; BRADLEY, 2008; WANNER *et al.*, 2008). Nel primo lavoro, SILENZI *et al.* (2004) riportano l'abbassamento di circa 2°C della temperatura delle acque superficiali nel Mar Tirreno Meridionale tra la fine del 1500 e l'inizio del 1800 AD, basandosi sulle analisi geochimiche delle scogliere a vermetidi di Capo Gallo (Palermo). Molto originale è l'articolo di PIERVITALI & COLACINO (2001), i quali documentano periodi di prolungata siccità tra la fine del 1500 e l'inizio del 1900, attraverso il numero di processioni religiose 'ad petendam pluviam', cioè perché piovesse, presso Erice (Trapani). Questi studi dimostrano come l'abbassamento delle temperature e la diminuzione delle precipitazioni durante la Piccola Età Glaciale furono fenomeni che riguardarono anche la Sicilia.

La storia della vegetazione olocenica in Sicilia sta cominciando ad essere delineata in dettaglio, grazie allo studio dei sedimenti lacustri presentati molto recentemente, che costituiscono contributi scientifici di grande valore. Come accennato nel paragrafo precedente, il pattern della vegetazione in Sicilia ha subito profonde modificazioni a partire dall'inizio dell'Olocene, in risposta all'aumento dei valori dell'insolazione, della temperatura e delle precipitazioni.

Nelle regioni più interne e sub-montane, rappresentate dal record sedimentario del Lago di Pergusa, posto a 667 m sul livello del mare (m s.l.m.), una coper-

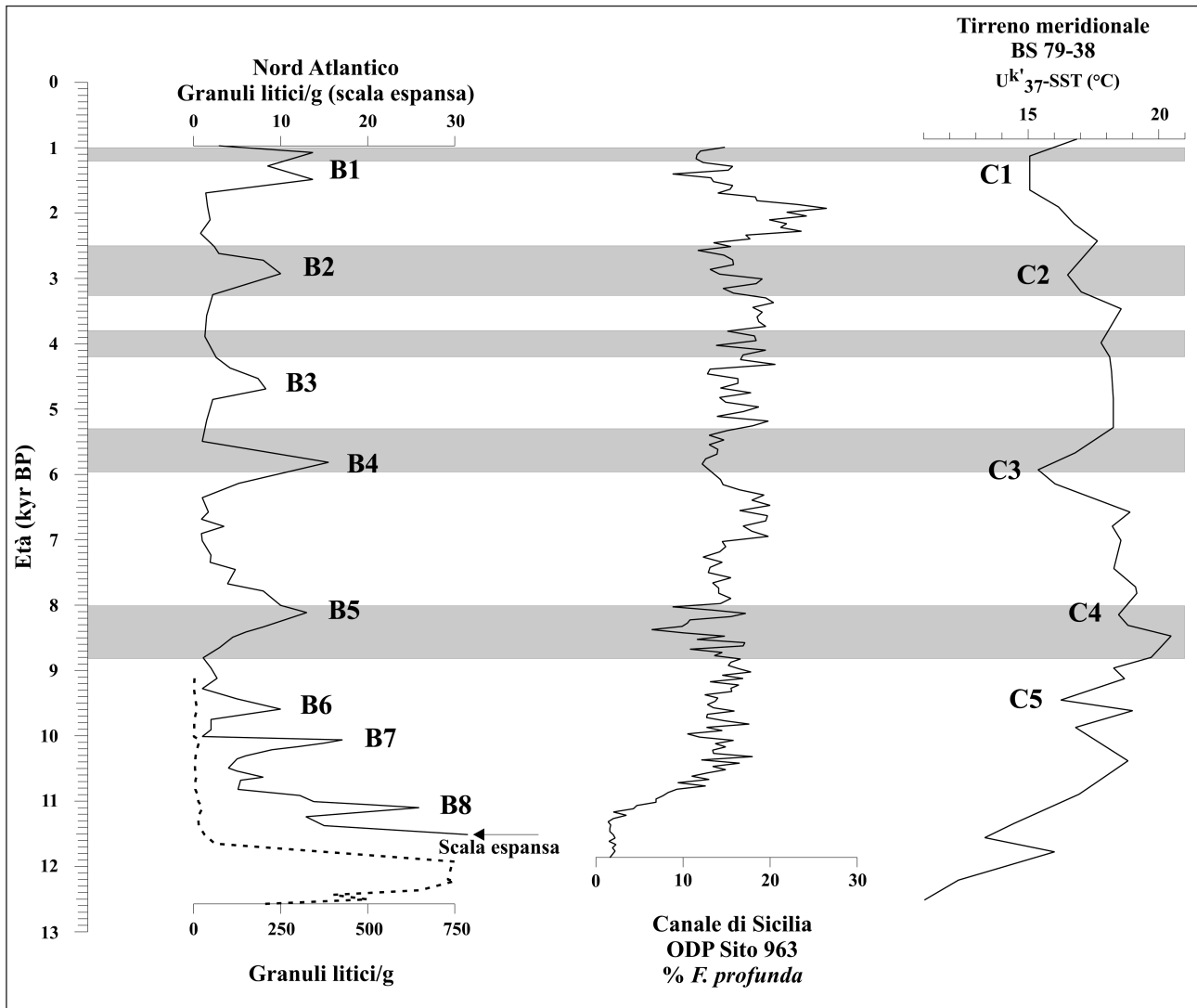


Fig. 5 - Curve di indicatori climatico/ambientali relative agli ultimi 12 ka cal BP circa, ognuna proiettata sul proprio modello di età (ka cal BP). Da sinistra, variazione del numero di granuli litici nell'Oceano Nord Atlantico settentrionale (BOND *et al.*, 1997; 2001). La linea intera mostra le piccole variazioni oloceniche su una scala espansa. Le sigle B1-B8 indicano i cosiddetti cicli di Bond che sono assunti come riferimento globale per le variazioni climatiche oloceniche; Variazioni percentuali della specie di nannofossile calcareo *F. profunda* nel Sito ODP 963, perforato nel Canale di Sicilia (Incarbona *et al.*, 2008a); Variazioni della temperatura delle acque superficiali nella carota BS 79-38, prelevata nel Tirreno meridionale, basate sull'analisi degli alchenoni (SBAFFI *et al.*, 2001). Le sigle C1-C5 indicano gli episodi di raffreddamento più intensi.

In grigio, gli intervalli di anomalie climatiche oloceniche registrate in numerosi record sedimentari marini e continentali (MAYEWSKI *et al.*, 2004).

*Climatic/Environmental proxy curves of the last 12 kyr BP. From the left, variations in the number of lithics (Ice Rafted Detritus) in the northern North Atlantic Ocean (BOND *et al.*, 1997; 2001). The black line shows Holocene variations on an expanded scale. B1-B8 indicate the so-called Bond cycles, often used as a global reference for Holocene climate changes; percentage variations of calcareous nannofossil species *F. profunda* at ODP Site 963, Sicily Channel (INCARBONA *et al.*, 2008a); Sea Surface Temperature changes recorded in marine core BS 79-38, southern Tyrrhenian Sea, based on alkenone analysis (SBAFFI *et al.*, 2001). C1-C5 indicate cooling episodes. Grey bands shows intervals of Holocene climatic anomalies recorded in marine and terrestrial records (MAYEWSKI *et al.*, 2004).*

tura forestale si sviluppò gradualmente e raggiunse il suo culmine a circa 10 ka cal BP. Queste foreste erano caratterizzate da una forte prevalenza di querce decidue e da meno frequenti alberi sempreverdi, come il leccio (SADORI & NARCISI, 2001; SADORI & GIARDINI, 2007; SADORI *et al.*, 2008). Ancora più in alto, per esempio nelle regioni montane delle Madonie e dei Nebrodi (al di sopra di 1200 m s.l.m.), la vegetazione era probabilmente costituita da foreste a faggio, mescolati con il cerro, il rovere e l'abete (TINNER *et al.*, 2009). Da questo

momento in poi, la vegetazione andò sempre più diradandosi, seguendo un generale trend di aridificazione. Nelle regioni costiere della Sicilia meridionale invece, rappresentate dai record di Biviere di Gela e di Gorgo Basso (Fig. 1), il cambiamento più significativo che avvenne a 10 ka cal BP, riguardò l'iniziale espansione di arbusti e cespugli tipici della macchia mediterranea, soprattutto rappresentati da lentisco, ma anche da tamarice, palma nana, ginopro, erica, efedra, cisto e fillirea (NOTI *et al.*, 2009; TINNER *et al.*, 2009). Solo a partire

da 7 ka cal BP, una vera foresta di alberi sempreverdi si espanse nelle regioni costiere, principalmente attraverso la fioritura di alberi di leccio e olivo (NOTI *et al.*, 2009; TINNER *et al.*, 2009). Queste foreste resistettero fino a 2,7 ka cal BP, quando avvenne la definitiva trasformazione del pattern della vegetazione in un ambiente molto più aperto di macchia e di prateria.

Diversi record continentali, che includono dati di pollini fossili, di geochimica dei sedimenti lacustri e di speleotemi, indicano una brusca diminuzione delle precipitazioni, a partire dal periodo medio-tardo olocenico (SADORI & NARCISI, 2001; SAURO *et al.*, 2005; FRISIA *et al.*, 2006; ZANCHETTA *et al.*, 2006; SADORI *et al.*, 2008). Dato lo scarso controllo cronologico dei record considerati è difficile ipotizzare quale fenomeno climatico possa avere portato alla riduzione delle precipitazioni. È comunque possibile che un ruolo di primo piano lo abbia avuto lo spostamento della zona di convergenza intertropicale (ITCZ) verso Sud e la diminuzione dell'attività dei monsoni, avvenuto dopo circa 5.5 ka cal BP, che provocò la desertificazione e fenomeni di estrema aridità in Africa settentrionale (de MENOCALE *et al.*, 2000; Gasse, 2000). Sebbene non sia ancora chiaro il legame tra l'attività dei monsoni dell'Africa occidentale, la circolazione meridiana della cella di Hadley e l'attività degli anticicloni sulla regione mediterranea (GAETANI *et al.*, 2007), non è da escludere che questo fenomeno abbia avuto ricadute sul Mediterraneo centrale e sull'entità delle precipitazioni in Sicilia.

Il trend di progressiva riduzione delle precipitazioni ha avuto un ovvio impatto sull'aspetto della vegetazione, a cui si è sovrapposto il forte impatto antropico dovuto all'uso del territorio a fini agricoli e di allevamento. Lo studio di minuscoli granuli di carbone (indicativi della frequenza degli incendi naturali e di quelli prodotti dall'uomo, su scala locale e regionale) suggerisce che l'attività umana possa essere iniziata nell'Olocene medio (SADORI *et al.*, 2008; TINNER *et al.*, 2009), ma essa fu certamente un elemento centrale nel modellamento del paesaggio e della vegetazione a partire dalle colonizzazioni dei Greci (2.7 ka cal BP), quando le attività agricole e di pastorizia divennero intensive (NOTI *et al.*, 2009; TINNER *et al.*, 2009). È evidente che senza l'uso intensivo del territorio da parte dell'uomo, l'aspetto della vegetazione nell'isola sarebbe molto diverso ed ancora sostanzialmente caratterizzato da foreste e boschi di alberi decidui e sempreverdi sia nella parte interna che nelle zone costiere (NOTI *et al.*, 2009; TINNER *et al.*, 2009).

I dati paleoambientali deducibili dalle faune a mammiferi continentali poco aggiungono al quadro climatico delineato. Il grande turnover riconosciuto alla transizione Olocene antico - Recente (tra 11,5 e 5,7 ka cal BP) evidenzia un aumento di diversità che non è imputabile a particolari effetti climatico-ambientali ma che è verosimilmente dovuto agli effetti diretti o indiretti dell'attività umana che ha arricchito la teriofauna di specie antropocore (SARÀ, 1998; PETRUSO *et al.*, in stampa). L'uomo del Meso-Neolitico oltre ad aver portato direttamente all'estinzione alcuni taxa come l'uro per attività venatoria ha contribuito all'estinzione indiretta di altri a causa dell'introduzione di nuovi competitori e predatori, dell'addomesticazione e, come discusso in precedenza, apportando modifiche agli habitat con deforestazioni ed introduzione di specie vegetali aliene (Petruso *et al.*, in stampa).

## 5 - CONCLUSIONI

Prendendo spunto da una serie di lavori recenti, abbiamo presentato una sintesi dei cambiamenti ambientali che sono avvenuti in Sicilia durante gli ultimi 20 mila anni. Condizioni climatiche estremamente ostili caratterizzarono la Sicilia durante l'ultimo massimo glaciale, con temperature dell'aria che in media dovevano essere più basse di circa 10°C. La circolazione atmosferica era notevolmente più intensa, con prolungati fenomeni di perturbazione che si protravvano persino nella stagione estiva. Principalmente a causa delle ridotte precipitazioni, erano estremamente comuni piante erbacee ed arbustive relativamente basse come l'*Artemisia* o quelle della famiglia delle *Chenopodiaceae*, indicative di un ambiente aperto di steppa o semi-steppa. Tuttavia, alcune specie vegetali mesofile e termofile di alberi della sottodivisione Angiosperme, sebbene in quantità molto limitate, sembrano essere sopravvissute in questo ambiente così ostile. La presenza di piccole aree forestali, probabilmente localizzate ad alta quota, è testimoniato anche dal ritrovamento di resti di cervidi nell'Associazione Faunistica Castello.

Non ci sono evidenze che il passaggio tra ultimo periodo glaciale e Olocene sia avvenuto attraverso due brusche fluttuazioni climatiche chiamate Bølling-Allerød (fluttuazione calda) e Younger Dryas (fluttuazione fredda). Poiché però queste variazioni sono chiaramente registrate nei sedimenti marini recuperati nei pressi della costa siciliana, è possibile che questo difetto sia dovuto solamente a problemi del record sedimentario continentale. Ulteriori studi sono necessari per chiarire l'evoluzione dell'ambiente durante il periodo della deglaciazione.

Fenomeni di instabilità climatica durante l'Olocene hanno interessato anche quest'area del Mediterraneo e sarebbero caratterizzati da temperature più basse delle acque superficiali e dall'azione prolungata e più intensa dei venti provenienti dai quadranti settentrionali. Anche in questo caso non è però chiaro quale sia stato l'impatto di queste variazioni climatiche ad alta frequenza sull'ambiente continentale. Per quanto riguarda la vegetazione, una copertura forestale si sviluppò gradualmente e raggiunse il suo culmine a circa 10 ka cal BP nelle regioni interne e montane dell'isola. Queste foreste andarono sempre più diradandosi seguendo il generale trend di aridificazione e diminuzione delle precipitazioni. Indicazioni contrastanti arrivano però dalle regioni costiere, dove dopo l'iniziale espansione di arbusti e cespugli tipici della macchia mediterranea, una vera foresta di alberi sempreverdi si espanse a partire da 7 ka cal BP. I dati della vegetazione tra regioni interne e costiere sono invece concordi nell'indicare il forte impatto antropico dovuto all'uso del territorio a fini agricoli e di allevamento, avvenuto a partire da 2,7 ka cal BP, al tempo dell'insediamento delle prime colonie Greche. Senza l'intervento dell'uomo, l'aspetto della vegetazione nell'isola sarebbe molto diverso ed ancora sostanzialmente caratterizzato dalla presenza di boschi e foreste.

La nostra considerazione finale è che ancora molto rimane da chiarire circa l'interazione tra clima ed ambiente in Sicilia. Malgrado alcuni studi condotti sul record continentale siano caratterizzati da continuità deposizionale e adeguata risoluzione stratigrafica, una

serie di interessanti informazioni restano ancora confinate nei sedimenti marini che circondano l'isola. In questo senso, è auspicabile che le ricerche che verranno intraprese abbiano un carattere fortemente multidisciplinare, prendendo in considerazione al contempo aspetti dell'ambiente marino e dell'ambiente continentale.

## RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo due anonimi revisori per gli utili commenti e suggerimenti. Si ringraziano inoltre i colleghi che hanno messo a disposizione i propri risultati, direttamente o attraverso banche dati sul web. Questo studio è stato finanziato attraverso Fondi Ateneo Ex 60%, E. Di Stefano, P. Di Stefano e A. Greco.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AGNESI V., MACALUSO T. & MASINI F. (1997) - *L'ambiente e il clima della Sicilia nell'ultimo milione di anni*. In: Prima Sicilia alle origini della società siciliana. Ed. S. Tusa, Ediprint, 111-133.
- ALLEN J.R.M. & HUNTLEY B. (2009) - *Last Interglacial palaeovegetation, palaeoenvironments and chronology: a new record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy*. Quaternary Science Reviews **28**, 1521-1538.
- ALLEN J.R.M., BRANDT U., BRAUER A., HUBBERTEN H.-W., HUNTLEY B., KELLER J., KRAML M., MACKENSEN A., MINGRAM J., NEGENDANK J.F.W., NOWACZYK N.R., OBERHÄNSLI H., WATTS W.A., WULF S. & ZOLITSCHKA B. (1999) - *Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period*. Nature **400**, 740-743.
- 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 years ago*. Geology **25**, 483-486.
- ANTONIOLI F., FERRANTI L., LAMBECK K., KERSHAW S., VERRUBBI V. & DAI PRA G. (2006b) - *Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift rates in southern Calabria and eastern Sicily (southern Italy, Central Mediterranean Sea)*. Tectonophysics **422**, 23-40.
- ANTONIOLI F., KERSHAW S., RENDA P., RUST D., BELLUOMINI G., CERASOLI M., RADTKE U. & SILENZI S. (2006a) - *Elevation of the last interglacial highstand in Sicily (Italy): A benchmark of coastal tectonics*. Quaternary International **145-146**, 3-18.
- BARRON, E. & POLLARD, D. (2002) - *High-Resolution Climate Simulations of Oxygen Isotope Stage 3 in Europe*. Quaternary Research **58**, 296-309.
- BOND G., HEINRICH H., BROECKER W.S., LABEYRIE L., McMANUS J., ANDREWS J., HUON S., JANTSCHIK R., CLASEN S., SIMET C., TEDESCO K., KLAS M., BONANI G. & IVY S. (1992) - *Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic during the last glacial period*. Nature **360**, 245-249.
- BOND G., KROMER B., BEER J., MUSCHELER R., EVANS M., SHOWERS W., HOFFMANN S., LOTTI-BOND R., HAJDAS I. & BONANI G. (2001) - *Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene*. Science **294**, 2130-2136.
- BOND G., SHOWERS W., CHESEBY M., LOTTI R., ALMASI P., DEMENOCAL P., PRIORE P., CULLEN H., HAJDAS I. & BONANI G. (1997) - *A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates*. Science **278**, 1257-1266.
- BONFIGLIO L., MARRA A.C. & MASINI F. (2000) - *The contribution of Quaternary vertebrates to the paleoenvironmental and paleoclimatological reconstructions in Sicily*. In Hart, M.B. (Ed.) Climates: Past and Present. Geological Society of London, Special Publications **181**, 171-184.
- BRADLEY R.S. (2008) - *Holocene perspectives on future climate change*. In Battarbee, R.W. and Binney, H.A. (Eds.) Natural Climate Variability and Global Warming: A Holocene Perspective. John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 254-268.
- BRAUER A., ALLEN J.R.M., MINGRAM J., DULSKI P., WULF S. & HUNTLEY B. (2007) - *Evidence for last interglacial chronology and environmental change from Southern Europe*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **104**, 450-455.
- BROECKER W.S. (1998) - *Paleocean circulation during the last deglaciation: A bipolar seesaw?*. Paleoceanography **13**, 119-121.
- BROECKER W., BOND G., KLAS M., BONANI G. & WOLFLI G. (1990) - *A Salt Oscillator in the Glacial Atlantic? 1. The Concept*. Paleoceanography **5**, 469-477.
- BUCCHERI G., CAPRETTO G., DI DONATO V., ESPOSITO P., FERRUZZA G., PESCATORE T., RUSSO ERMOLLI E., SENATORE M.R., SPROVIERI M., BERTOLDO M., CARELLA D. & MADONIA G. (2002) - *A high resolution record of the last deglaciation in the southern Tyrrhenian sea: environmental and climatic evolution*. Marine Geology **186**, 447-470.
- CACHO I., GRIMALT J.O. & CANALS M. (2002) - *Response of the Western Mediterranean Sea to rapid climatic variability during the last 50,000 years: a molecular biomarker approach*. Journal of Marine Systems **33**, 253-272.
- CACHO I., GRIMALT J.O., CANALS M., SBAFFI L., SHACKLETON N.J., SCHÖNFELD J. & ZAHN R. (2001) - *Variability of the western Mediterranean Sea surface temperatures during the last 25,000 years and its connection with the northern hemisphere climatic changes*. Paleoceanography **16**, 40-52.
- CACHO I., GRIMALT J.O., PELEJERO C., CANALS M., SIERRO F.J., FLORES J.A. & SHACKLETON N. (1999) - *Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures*. Paleoceanography **14**, 698-705.
- CACHO I., GRIMALT J.O., SIERRO F.J., SHACKLETON N. & CANALS M. (2000) - *Evidence for enhanced Mediterranean thermohaline circulation during rapid climatic coolings*. Earth and Planetary Science Letters **183**, 417-429.
- CAVALLI-SFORZA L. & CAVALLI-SFORZA F. (1993) - *Chi siamo. La storia della diversità umana*. Mondadori Editore, Milano, 1-405.
- CHILARDI S., FRAYER D.W., GIOIA P., MACCHIARELLI R. & MUSSI M. (1996) - *Fontana Nuova di Ragusa (Sicily, Italy): southernmost Aurignacian site in Europe*. Antiquity **70**, 553-563.
- COMBOURIEU-NEBOUT N., PATERNE M., TURON J.-L. & SIANI

- G. (1998) - *A high-resolution record of the last deglaciation in the central Mediterranean Sea: palaeovegetation and palaeohydrological evolution*. *Quaternary Science Reviews* **17**, 303-317.
- COMBOURIEU NEBOUT N., TURON J.L., ZAHN R., CAPOTONDI L., LONDEIX L. & PAHNKE K. (2002) - *Enhanced aridity and atmospheric high-pressure stability over the western Mediterranean during the North Atlantic cold events of the past 50 k.y.* *Geology* **30**, 863-866.
- D'AMORE G., DI MARCO S., TARTARELLI G., BIGAZZI R. & SINEO L. (2009) - *Late Pleistocene human evolution in Sicily: comparative morphometric analysis of Grotta di San Teodoro craniofacial remains*. *Journal of Human Evolution*, doi:10.1016/j.jhevol.2009.02.002.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, D., GUNDESTROP, N.S., HAMMER, C.U., HVIDBERG, C.S., STEFFENSEN, J.P., SVEINBJÖRNSDOTTIR, A.E., JOUZEL, J. & BOND, G. (1993) - *Evidence for general instability of past climate from a 250-ka ice-core record*. *Nature* **364**, 218-220.
- DE GUIDI G., CATALANO S., MONACO C. & TORTORICI L. (2003) - *Morphological evidence of Holocene coseismic deformation in the Taormina region (NE Sicily)*. *Journal of Geodynamics* **36**, 193-211.
- DENTON G.H. & KARLÉN W. (1973) - *Holocene climatic variations: their pattern and possible cause*. *Quaternary Research* **3**, 155-205.
- DI STEFANO A. & BRANCA S. (2002) - *Long-term uplift rate of the Etna Volcano basement (southern Italy) based on biochronological data from Pleistocene sediments*. *Terra Nova* **14**, 61-68.
- DI STEFANO E. & INCARBONA A. (2004) - *High resolution paleoenvironmental reconstruction of the ODP-963D Hole (Sicily Channel) during the last deglaciation, based on calcareous nannofossils*. *Marine Micropaleontology* **52**, 241-254.
- FERRANTI L., MONACO C., ANTONIOLI F., MASCHIO L., KERSHAW S. & VERRUBBI V. (2007) - *The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, Southern Italy: evidence from raised late Holocene shorelines*. *Journal of Geophysical Research* **112**, B06401, doi:10.1029/2006JB004473.
- FERRANTI L., MONACO C., MORELLI, D., ANTONIOLI F. & MASCHIO L. (2008) - *Holocene activity of the Scilla Fault, southern Calabria: insights from coastal morpho-structural investigations*. *Tectonophysics* **453**, 74-93.
- FRIGOLA J., MORENO A., CACHO I., CANALS M., SIERRA F.J., FLORES J.A. & GRIMALT, J.O. (2008) - *Evidence of abrupt changes in Western Mediterranean Deep Water circulation during the last 50 ka cal: A high-resolution marine record from the Balearic Sea*. *Quaternary International* **181**, 88-104.
- FRISIA S., BORSATO A., MANGINI A., SPÖTL C., MADONIA G. & SAURO U. (2006) - *Holocene climate variability in Sicily from a discontinuous stalagmite record and the Mesolithic to Neolithic transition*. *Quaternary International* **66**, 388-400.
- GAETANI M., BALDI M., DALU G.A. & MARACCHI G. (2007) - *Connessioni tra il clima della regione Mediterranea e l'Africa Occidentale attraverso la circolazione meridiana di Hadley*. In: CARLI, B., CAVARRETTA, G., COLACINO, M., FUZZI, S., (Eds.), *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR*, 23-26.
- GASSE F. (2000) - *Hydrological changes in the African tropics since the last glacial maximum*. *Quaternary Science Reviews* **19**, 189-211.
- GRAZIOSI P. (1947) - *Gli uomini paleolitici della Grotta di S. Teodoro*. *Rivista di Scienze Preistoriche* **3**, 123-223.
- HAYES A., KUCERA, M., KALLEL N., SBAFFI L. & ROHLING E.J., (2005) - *Glacial Mediterranean sea surface temperatures based on planktonic foraminiferal assemblages*. *Quaternary Science Reviews* **24**, 999-1016.
- HOLZHAUSER H., MAGNY M. & ZUMBUHL H.J. (2005) - *Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years*. *The Holocene* **15**, 789-801.
- INCARBONA A., BONOMO S., DI STEFANO E., ZGOZI S., ESSARABOUT N., TALHA M., TRANCHIDA G., BONANNO A., PATTI B., PLACENTI F., BUSCAINO G., CUTTITTA A., BASILONE G., BAHRI T., MASSA F., CENSI P. & MAZZOLA S. (2008c) - *Calcareous nannofossil surface sediment assemblages from the Sicily Channel (central Mediterranean Sea): palaeoceanographic implications*. *Marine Micropaleontology* **67**, 297-309.
- INCARBONA A., DI STEFANO E., PATTI B., PELOSI N., BONOMO S., MAZZOLA S., SPROVIERI R., TRANCHIDA G., ZGOZI S. & BONANNO A. (2008a) - *Holocene millennial-scale productivity variations in the Sicily Channel (Mediterranean Sea)*. *Paleoceanography* **23**, PA3204, doi:10.1029/2007PA001581, 1-18.
- INCARBONA A., DI STEFANO E., SPROVIERI R., BONOMO S., CENSI P., DINARÈS-TURELL J. & SPOTO S. (2008b) - *Vertical structure variability of the water column and Paleoproductivity reconstruction in the Central-Western Mediterranean during the Late Pleistocene*. *Marine Micropaleontology* **69**, 26-41.
- KUHLEMANN J., ROHLING E.J., KRUMREI I., KUBIK, P., IVY-OCHS S. & KUCERA M. (2008) - *Regional Synthesis of Mediterranean Atmospheric Circulation During the Last Glacial Maximum*. *Science* **321**, 1338-1340.
- LEA D.W., MARTIN P.A., PAK D.K. & SPERO H.J. (2002) - *Reconstructing a 350 ky history of sea level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotope records from a Cocos Ridge core*. *Quaternary Science Reviews* **21**, 283-293.
- MAGRI D. & PARRA I. (2002) - *Late Quaternary western Mediterranean pollen records and African winds*. *Earth and Planetary Science Letters* **200**, 401-408.
- MARTIN P.A., LEA D.W., ROSENTHAL Y., SHACKLETON N.J., SARNTHEIN M. & PAPPENFUSS T. (2002) - *Quaternary deep sea temperature histories derived from benthic foraminiferal Mg/Ca*. *Earth and Planetary Science Letters* **198**, 193-209.
- MASINI F., PETRUSO D., BONFIGLIO L. & MANGANO G. (2008) - *Origination and extinction patterns of mammals in three central Western Mediterranean islands from the Late Miocene to Quaternary*. *Quaternary International* **182**, 63-79.
- MAYEWSKI P.A., MEEKER L.D., TWICKLER M.S., WHITLOW S.,

- YANG Q., LYONS W.B. & PRENTICE M. (1997) - *Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year long glaciochemical series*. Journal of Geophysical Research **102**, 26345-26366.
- MAYEWSKI P.A., ROHLING E.J., STAGER J.C., KARLÉN W., MAASCH K.A., MEEKER L.D., MEYERSON E.A., GASSE F., VAN KREVELD S., HOLMGREN K., LEE-THORP J., ROSQVIST G., RACK F., STRAUBWASSER M., SCHNEIDER R.R. & STEIG, E.J. (2004) - *Holocene climate variability*. Quaternary Research **62**, 243-255.
- MEEKER L.D. & MAYEWSKI P.A. (2002) - *A 1400-year high-resolution record of atmospheric circulation over the North Atlantic and Asia*. Holocene **12**, 257-266.
- DE MENOCAL P., ORTIZ J., GUILDERSON T., ADKINS J., SARNTHEIN M., BAKER L. & YARUSINSKY M. (2000) - *Abrupt onset and termination of the African humid period: rapid climate responses to gradual insolation forcing*. Quaternary Science Reviews **19**, 347-361.
- MILLOT C. (1999) - *Circulation in the western Mediterranean Sea*. Journal of Marine Systems **20**, 423-442.
- MONTENAT C. & BARRIER P. (1987) - *Approche quantitative des mouvements verticaux quaternaires dans le détroit de Messine*. Doc. et Trav. IGAL **11**, 185-190.
- MORENO A., CACHO I., CANALS M., GRIMALT J.O. (2004) - *Millennial-scale variability in the productivity signal from the Alboran Sea record*. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology **211**, 205-219.
- MORENO A., CACHO I., CANALS M., PRINS M.A., SÁNCHEZ-GOÑI M.-F., GRIMALT, J.O. & WELTJE G.J. (2002) - *Saharan Dust Transport and High-Latitude Glacial Climatic Variability: The Alboran Sea Record*. Quaternary Research **58**, 318-328.
- NORTH GREENLAND ICE CORE PROJECT MEMBERS (2004) - *High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period*. Nature **431**, 148-151.
- NOTI R., VAN LEEUWEN J.F.N., COLOMBAROLI D., VESCOVI E., PASTA S., LA MANTIA T. & TINNER W. (2009) - *Mid- and late-Holocene vegetation and fire history at Biviere di Gela, a coastal lake in southern Sicily, Italy*. Vegetation History and Archaeobotany, Springer, Heidelberg, Germany.
- O'BRIEN S.R., MAYEWSKI P.A., MEEKER L.D., MEESE D.A., TWICKLER M.S. & WHITLOW S.I. (1995) - *Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core*. Science **270**, 1962-1964.
- PÉREZ-FOLGADO M., SIERRO F.J., FLORES J.-A., CACHO I., GRIMALT J.O. & ZAHN R. (2003) - *Western Mediterranean planktonic foraminifera events and climatic variability during the last 70 ka cal*. Marine Micropaleontology **48**, 49-70.
- PETIT J.R., JOUZEL J., RAYNAUD D., BARKOV N.I., BARNOLA J.-M., BASILE I., BENDER M., CHAPPELLAZ J., DAVIS M., DELAYGUE G., DELMOTTE M., KOTLYAKOV V.M., LEGRAND M., LIPENKOV V.Y., LORUS C., PEPIN L., RITZ C., SALTZMAN E. & STIEVENARD M. (1999) - *Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica*. Nature **399**, 429-436.
- PETRUSO D., SARÀ M., SURDI G. & MASINI F. (In stampa) - *Le faune a mammiferi della Sicilia tra il Tardoglaciale e L'Olocene*. Biogeographia.
- PIERVITALI E. & COLACINO M. (2001) - *Evidence of Drought in Western Sicily during the Period 1565-1915 from Liturgical Offices*. Climatic Change **49**, 225-238.
- PIPERNO M. (1997) - *Il popolamento della Sicilia il Paleolitico inferiore*. In: Prima Sicilia alle origini della Società siciliana, Ediprint, Palermo, 83-92.
- POEM group (1992) - *General circulation of the Eastern Mediterranean*. Earth-Science Reviews **32**, 285-309.
- ROHLING E.J., HAYES A., DE RIJK S., KROON D., ZACHARIASSE W.J. & EISMA D. (1998) - *Abrupt cold spells in the northwest Mediterranean*. Paleoceanography **13**, 316-322.
- ROHLING E.J., MAYEWSKI, P.A., ABU-ZIED R.H., CASFORD J.S.L. & HAYES A. (2002) - *Holocene atmosphere-ocean interaction: records from Greenland and the Aegean sea*. Climate Dynamics **18**, 587-593.
- ROHLING E.J., MAYEWSKI P.A. & CHALLENGOR P. (2003) - *On the timing and mechanism of millennial-scale climate variability during the last glacial cycle*. Climate Dynamics **20**, 257-267.
- ROUCOUX K.H., DE ABREU L., SHACKLETON N.J. & TZEDAKIS P.C. (2005) - *The response of NW Iberian vegetation to North Atlantic climate oscillations during the last 65 ka cal*. Quaternary Science Reviews **24**, 1637-1653.
- SADORI L. & GIARDINI M. (2007) - *Charcoal analysis, a method to study vegetation and climate of the Holocene: The case of Lago Pergusa (Sicily, Italy)*. Geobios **40**, 173-180.
- SADORI L. & NARCISI B. (2001) - *The post-glacial record of environmental history from Lago di Pergusa (Sicily)*. The Holocene **11**, 655-671.
- SADORI L., ZANCHETTA G. & GIARDINI M. (2008) - *Last glacial to Holocene palaeoenvironmental evolution at Lago di Pergusa (Sicily), as inferred from pollen, microcharcoal, and stable isotopes*. Quaternary International **181**, 4-14.
- SÁNCHEZ GOÑI, M.F., EYNAUD, F., TURON, J.L., SHACKLETON, N.J. (1999) - *High resolution palynological record off the Iberian margin: direct land-sea correlation for the Last Interglacial complex*. Earth and Planetary Science Letters **171**, 123-137.
- SARÀ M. (1998) - *I mammiferi delle isole del Mediterraneo*. L'Epos, Palermo, 1-146.
- SAURO U., BORSATO A., FRISIA S., MADONIA G., PICCINI L., TUCCIMEI P., CAMUFFO D., CUCCHI F., FORTI P., MACALUSO T., MIORANDI R., PANADINI M., SALZANO R., SHOPOV Y., SPÖTL C., STOYKOVA D. & ZINI L. (2005) - *Variabilità climatica nel Tardoglaciale e nell'Olocene da dati di speleotemi lungo una traversa N-S in Italia*. Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Geologica **80**, 175-184.
- SBAFFI L., WEZEL F.C., CURZI G. & ZOPPI U. (2004) - *Millennial- to centennial-scale palaeoclimatic variations during Termination I and the Holocene in the central Mediterranean Sea*. Global and Planetary Change **40**, 201-217.
- SBAFFI L., WEZEL F.C., KALLEL N., PATERNE M., CACHO I., ZIVERI P. & SHACKLETON N. (2001) - *Response of the pelagic environment to palaeoclimatic chan-*

- ges in the central Mediterranean Sea during the Late Quaternary. *Marine Geology* **178**, 39-62.
- SEGRE A. & VIGLIARDI A. (1983) - *L'Epigravettien évolué et final en Sicile*. *Rivista di Scienze Preistoriche* **37**, 351-369.
- SIERRO F.J., HODELL D.A., CURTIS J.H., FLORES J.-A., REGUERA I., COLMENERO-HIDALGO E., BÁRCENA M.A., GRIMALT J.O., CACHO I., FRIGOLA J. & CANALS M. (2005) - *Impact of iceberg melting on Mediterranean thermohaline circulation during Heinrich Events*. *Paleoceanography* **20**, doi:10.1029/2004PA001051.
- SILENZI S., ANTONIOLI F. & CHEMELLO R. (2004) - *A new marker for sea surface temperature trend during the last centuries in temperate areas: Vermetid Reef*. *Global and Planetary Change* **40**, 105-114.
- SINEO L., BIGAZZI R., D'AMORE G., TARTARELLI G., DI PATTI C., BERZERO A., CARAMELLA & CRESPI V. (2002) - *I resti umani della Grotta di S. Teodoro (Messina): datazione assoluta con il metodo della spettrometria gamma diretta (U/Pa)*. *Antropo* **2**, 9-16.
- SKINNER L.C. & SHACKLETON N.J. (2005) - *An Atlantic lead over Pacific deep-water change across Termination I: implications for the application of the marine isotope stage stratigraphy*. *Quaternary Science Reviews* **24**, 571-580.
- SKINNER L.C., SHACKLETON N.J. & ELDERFIELD H. (2003) - *Millennial-scale variability of deep-water temperature and  $\delta^{18}O_{dw}$  indicating deep-water source variations in the Northeast Atlantic, 0-34 ka BP*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **4**, 1-17.
- SPROVIERI M., PELOSI N., SPROVIERI R., INCARBONA A. & RIBERA D'ALCALÀ M. (2007) - *L'evoluzione del clima nell'area mediterranea durante l'intervallo 20.000-70.000 anni*. In: Carli, B., Cavarretta, G., Colacino, M., Fuzzi, S., (Eds.), *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR*, 177-180.
- SPROVIERI R., DI STEFANO E., INCARBONA A. & GARGANO M.E. (2003) - *A high-resolution record of the last deglaciation in the Sicily Channel based on foraminifera and calcareous nannofossil quantitative distribution*. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **202**, 119-142.
- SPROVIERI R., DI STEFANO E., INCARBONA A. & OPPO, D.W. (2006) - *Suborbital climate variability during Marine Isotopic Stage 5 in the central Mediterranean Basin: evidence from calcareous plankton*. *Quaternary Science Reviews* **25**, 2332-2342.
- TINNER W., VAN LEEUWEN J.F.N., COLOMBAROLI D., VESCOVI E., VAN DER KNAAP W.O., HENNE P.D., PASTA S., D'ANGELO S. & LA MANTIA T. (2009) - *Holocene environmental and climatic changes at Gorgo Basso, a coastal lake in southern Sicily, Italy*. *Quaternary Science Reviews* **28**, 1498-1510.
- TZEDAKIS P.C., MCMANUS J.F., HOOGHIEMSTRA H., OPPO D.W. & WIJLMSTRA T.A. (2003) - *Comparison of changes in vegetation in northeast Greece with records of climate variability on orbital and suborbital frequencies over the last 450 000 years*. *Earth and Planetary Science Letters* **212**, 197-212.
- VIGLIARDI A. (1968) - *L'industria litica della Grotta di S. Teodoro, in provincia di Messina*. *Rivista di Scienze Preistoriche* **23**, 33-144.
- Vigliardi A. (1997) - *L'arte rupestre e mobiliare dal Paleolitico all'Eneolitico*. In: *Prima Sicilia alle origini della Società siciliana*, Ediprint, Palermo, 83-92.
- WALKER M., JOHNSEN S. RASMUSSEN S.O., STEFFENSEN J.-P., POPP T., GIBBARD P., HOEK W.Z., LOWE J., ANDREWS J., BJÖRCK S., Cwynar L., HUGHEN K., KERSHAW P., KROMER B., LITT T., LOWE D.J., NAKAGAWA T., NEWNHAM R. & SCHWANDER J. (2008) - *The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period) in the NGRIP ice core*. *Episodes* **31**, 264-267.
- WANNER, H., BEER, J., BÜTIKOFER, J., CROWLEY, T.J., CUBASCH, U., FLÜCKIGER, J., GOOSSE, H., GROSJEAN, M., JOOS, F., KAPLAN, J.O., KÜTTTEL, M., MÜLLER, S.A., PRENTICE, I.C., SOLOMINA, O., STOCKER, T.F., TARASOV, P., WAGNER, M., WIDMANN, M. (2008) - *Mid- to Late Holocene climate change: an overview*. *Quaternary Science Reviews* **27**, 1791-1828.
- ZANCHETTA G., BORGHINI A., FALICK A.E., BONADONNA F.P. & LEONE G. (2006) - *Late Quaternary palaeohydrology of Lake Pergusa (Sicily, southern Italy) as inferred by stable isotopes of lacustrine carbonates*. *Journal of Paleolimnology*, DOI:10.1007/s10933-006-9070-1.
- ZONNEVELD K.A.F. (1996) - *Palaeoclimatic and palaeoecologic changes in the Eastern Mediterranean and Arabian Sea regions during the last deglaciation: a palynological approach to land-sea correlation*. LPP Contribution Series 3, Ponsen and Looijen, Wageningen, 1-200.

Ms. ricevuto il 27 maggio 2009  
 Testo definitivo ricevuto il 29 settembre 2009

Ms. received: May 27, 2009  
 Final text received: September 29, 2009

