



11

II Pleistocene

The Pleistocene

11.1 La flora del Pleistocene dell'Italia settentrionale

The Pleistocene flora of northern Italy

ROBERTA PINI, ADELE BERTINI, EDOARDO MARTINETTO & ELENA VASSIO

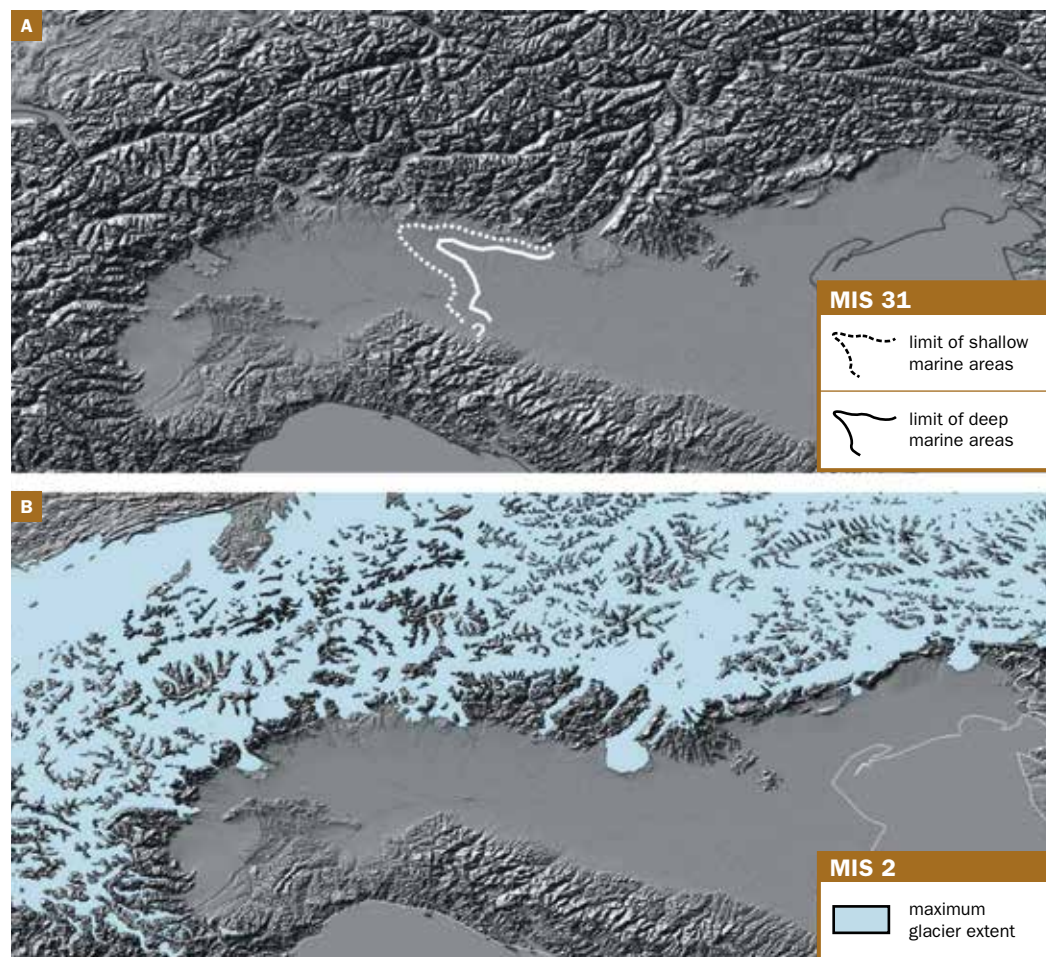


Fig. 11.1.1 Paleogeografia dell'Italia settentrionale, con posizione della linea di costa durante il MIS 31 (da Garzanti et al., 2011) e massima estensione dei ghiacciai durante l'Ultimo Massimo Glaciale (Ehlers & Gibbard, 2004).

Palaeogeographic setting of northern Italy showing the position of the coastline during MIS 31 (after Garzanti et al., 2011) and maximum glacier extent during the LGM (after Ehlers & Gibbard, 2004).

NEL CORSO del Pleistocene l'Italia settentrionale è stata teatro di importanti cambiamenti paleogeografici, i cui estremi si collocano in episodi di ingressione marina che raggiunsero le aree centrali della Pianura Padana (Garzanti et al., 2011) e fasi di massima avanzata glaciale e regressione eustatica (Fig. 11.1.1; Ehlers & Gibbard, 2004). Dati stratigrafici e geofisici sono disponibili solo per alcuni settori dell'Italia settentrionale, per i quali è stato quindi possibile effettuare ricostruzioni dettagliate della geometria del sottosuolo e degli assetti paleogeografici (Regione Emilia Romagna, ENI-AGIP, 1998; Carcano & Piccin, 2002).

DURING THE Pleistocene northern Italy experienced prominent palaeogeographic changes, framed between phases of marine transgression towards the central Po Plain (after Garzanti et al., 2011) and phases of maximum glacier advance and marine regression (after Ehlers & Gibbard, 2004) (Fig. 11.1.1). Stratigraphical and geophysical data for a detailed reconstruction of subsurface sediment geometry and palaeogeographic settings are available for some sectors of northern Italy (Regione Emilia Romagna, ENI-AGIP, 1998; Carcano & Piccin, 2002), while for most areas these information are scanty and poorly dated.



Fig. 11.1.2 Ubicazione dei principali siti paleobotanici citati nel testo. Location of the main palaeobotanical sites mentioned in the text.

I primi studi paleobotanici, della seconda metà del XIX secolo, presero in esame resti fogliari e conidi dai depositi lacustri del bacino di Piànico-Sellere (Bergamo) e Re in Val Vigezzo (Sordelli, 1896; Benassi, 1896). Il XX secolo segnò l'avvio delle indagini palinologiche su lunghe successioni stratigrafiche del margine prealpino lombardo (bacino di Leffe: Lona, 1950; Lona & Follieri, 1957). Nuovo impulso alle indagini carpologiche venne a partire dagli anni '90 del secolo scorso, con il riesame di affioramenti studiati da autori precedenti e la scoperta di nuovi siti di interesse (Gregor, 1990; Martinetto, 2001, 2009; Ghiotto, 2010; Martinetto et al., in stampa). Pochi restano, a tutt'oggi, gli studi in cui la componente pollinica e quella carpologica trovano integrazione (Ravazzi et al., 2005; Martinetto et al., 2012).

I successivi paragrafi contengono una sintesi dei dati più aggiornati dai principali siti di interesse paleobotanico del Pleistocene dell'Italia settentrionale (Fig. 11.1.2).

Pioneering studies on Pleistocene successions in northern Italy date back to the second half of the 19th century, when fossil leaves and cones from the lacustrine deposits of the Piànico-Sellere Basin (Bergamo) and Re (Val Vigezzo, Piedmont) were analyzed (Sordelli, 1896; Benassi, 1896). Pollen-stratigraphical studies on long successions from the Prealpine margin of Lombardy started in the 20th century (e.g., Leffe Basin, Lona, 1950; Lona & Follieri, 1957). Older outcrops and new sections were considered for carpological studies from the 1990s (Gregor, 1990; Martinetto, 2001, 2009; Ghiotto, 2010; Martinetto et al., in press). Sites where both palynological and carpological analyses were carried out remain few (Ravazzi et al., 2005; Martinetto et al., 2012).

The following paragraphs present a synthesis of up-to-date information from key Pleistocene palaeobotanical sites in northern Italy (Fig. 11.1.2).

■ GELASIANO · GELASIAN (2,58–1,80 MA)

UNA RICCA documentazione floristica e vegetazionale, ben inquadrata cronologicamente, è stata raccolta grazie ai numerosi studi palinologici realizzati in successioni marine (Castell'Arquato: Lona, 1962; Lona & Bertoldi, 1972; Stirone: Lona & Bertoldi, 1972; Bertolani Marchetti et al., 1979; Bertini, 2001; Val Marecchia: Rio et al., 1997; M. Falcone-Rio Crevaiese: Monegatti et al., 2002; Fig. 11.1.3). La registrazione pollinica evidenzia ripetute fluttuazioni tra gli elementi tipici di una foresta di conifere (con ampia espansione di *Picea*) tipica delle aree di alta latitudine ed una foresta da subtropicale a temperato-calda. I ripetuti cambiamenti delle associazioni vegetazionali sono stati considerati indicativi di sempre più marcati cicli glaciali/interglaciali (G/I), dopo la fase di massima espansione della calotta glaciale artica a 2,6 Ma. I macrofossili di vegetali forniscono informazioni di dettaglio su particolari elementi floristici (Cyperaceae, *Eurya*, *Sparganium*, *Thymelaea*) rinvenuti in un livello gelasiano della sezione composta di Castell'Arquato (Martinetto et al., in stampa). Macroflore molto più ricche sono presenti in sezioni di probabile età gelasiana del Piemonte (Martinetto & Festa, 2013) e del Friuli (Martinetto et al., 2012).

È interessante sottolineare come in Italia settentrionale, contrariamente a quanto osservato in coeve successioni dell'Italia meridionale (Combourieu-Nebout, 1993, 1995), le fasi glaciali non favoriscano significative espansioni della vegetazione di tipo steppico, indicative di drammatiche riduzioni di umidità. Il record palinologico (Bertini, 2001) della successione da marina a infra-littorale (e.g. Pervesler et al., 2012 e bibliografia inclusa) che affiora lungo l'alveo del fiume Stirone non lontano da Parma, ai piedi dell'Appennino settentrionale, evidenzia ripetute fluttuazioni nelle

THE RICH documentation from several northern Italian sites (Castell'Arquato: Lona, 1962; Lona & Bertoldi, 1972; Stirone: Lona & Bertoldi, 1972; Bertolani Marchetti et al., 1979; Bertini, 2001; Val Marecchia: Rio et al., 1997; M. Falcone-Rio Crevaiese: Monegatti et al., 2002; Fig. 11.1.3) indicated G/I cycles apparently characterized by the contrasts between the subtropical to warm temperate forest and higher-elevation coniferous forest (mainly *Picea*) without any important extent in space and time of steppe-like vegetation (minimum values of humidity). Plant macrofossil data provide more detailed information on particular floral elements (e.g., Cyperaceae, *Eurya*, *Sparganium*, *Thymelaea*), found in a layer of the Castell'Arquato section (Martinetto et al., in press), as well as in few other sites of possible Gelasian age in NW Italy (Martinetto & Festa, 2013) and NE Italy (Martinetto et al., 2012).

At Stirone the repeated fluctuations in pollen curves (Bertini, 2001) fit well to the oxygen isotopic stages recognized by Capotondi (1992), along the $\delta^{18}\text{O}$ *Uvigerina peregrina* and *Globigerinoides ruber* curves, starting from Marine Isotopic Stage (MIS) 110, i.e. already from the Piacenzian onwards. In particular, in the level correlated to MIS 100 by Capotondi (1992), a dominant altitudinal forest phase is indicated by *Picea*. Herbs stay present in very low percentages although *Artemisia*, a steppe taxon, progressively reaches 2.2%, indicating a successive slight decrease of humidity.

curve polliniche. Queste trovano una buona corrispondenza con gli stadi isotopici a partire dal MIS (Marine Isotopic Stage, stadio isotopico marino) 110 (cioè già dal Piacenziano) riconosciuti da Capotondi (1992) nelle curve del $\delta^{18}\text{O}$ di *Uvigerina peregrina* e *Globigerinoides ruber*. In particolare nel livello correlato da Capotondi (1992) al MIS 100 è chiaramente testimoniata una fase di acme a *Picea* (foresta di altitudine); i taxa erbacei, al contrario, sono presenti in bassissima percentuale sebbene *Artemisia*, un tipico elemento steppico, raggiunga progressivamente valori del 2,2%, indicando una diminuzione, seppure non marcata, dell'umidità.

■ CALABRIANO · CALABRIAN (1.80–0.78 MA)

LA REGISTRAZIONE POLLINICA della lunga successione continentale del Bacino di Lefte (Ravazzi & Moscarriello, 1998) illustra la storia ambientale e climatica al margine prealpino lombardo tra circa 1,8 e 0,9 Ma. I depositi del Bacino di Lefte, ricchissimi in polline fossile (Fig. 11.1.4), mostrano le trasformazioni cicliche nella struttura della vegetazione modulate dal clima.

Nell'intervallo tra circa 2,58 e 0,78 Ma fa, la ciclicità climatica caratterizzata da cicli di moderata ampiezza ed elevata frequenza, con periodicità di circa 40 ka, si manifesta sugli ecosistemi forestali con il ripetersi di una successione vegetazionale articolata in quattro distinte fasi rispettivamente dominate da: (i) latifoglie termofile (*Quercus* sp. caducifoglie, *Eucommia*, *Corylus*, *Ulmus*, *Carpinus*, *Fraxinus*), indicatrici di clima temperato caldo-secco; (ii) Juglandaceae (*Carya*, *Pterocarya*, *Juglans* sect. *Cardiocaryon*), di clima temperato caldo-umido; (iii) conifere (*Picea*, *Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*; Fig. 11.1.5) di clima temperato fresco; (iv) *Betula*, *Larix* e comunità erbacee-arbustive xerofitiche di clima temperato freddo-secco.



THE POLLEN RECORD of the long stratigraphic succession of the Lefte Basin (Ravazzi & Moscarriello, 1998) documents the palaeoenvironmental and climatic history at the Prealpine margin of Lombardy between ca. 1.8–0.9 Ma. The stratigraphical investigation carried out on the pollen-rich deposits of the Lefte Basin (Fig. 11.1.4) shows the cyclic changes in vegetation structure forced by climate. Climate cyclicity typical for the Matuyama Chron (ca. 2.58–0.78 Ma: moderate amplitude, high-frequency cycles with a 40 ka periodicity) triggered changes in terrestrial ecosystems developing into four-stages vegetation successions, respectively dominated by: (i) mixed-oak taxa (deciduous *Quercus*, *Eucommia*, *Corylus*, *Ulmus*, *Carpinus*, *Fraxinus*) typical for warm-dry climate; (ii) Juglandaceae (*Carya*, *Pterocarya*, *Juglans* sect. *Cardiocaryon*) of a warmer and moist climate; (iii) conifers (*Picea*, *Abies*, *Cedrus*, *Tsuga*; Fig. 11.1.5) of a cool-temperate and wet climate; (iv) *Betula*, *Larix* and xerophytic communities of a dry and continental climate. This basic cycle (Fig. 11.1.6) is repeated 18 times in the studied portion of the Lefte sequence (Muttoni et al., 2007); no phases of per-

Fig. 11.1.3 Esempio delle condizioni di affioramento dei depositi del Pleistocene inferiore nella zona delle sezioni Castell'Arquato e Stirone. Strati marini di sabbie, silt e argille erosi dal Torrente Arda.

Example of outcrop conditions of Early Pleistocene deposits in the area of the Castell'Arquato and Stirone sections. Marine layers made up by sand, silt and clay, eroded by the Arda Creek.

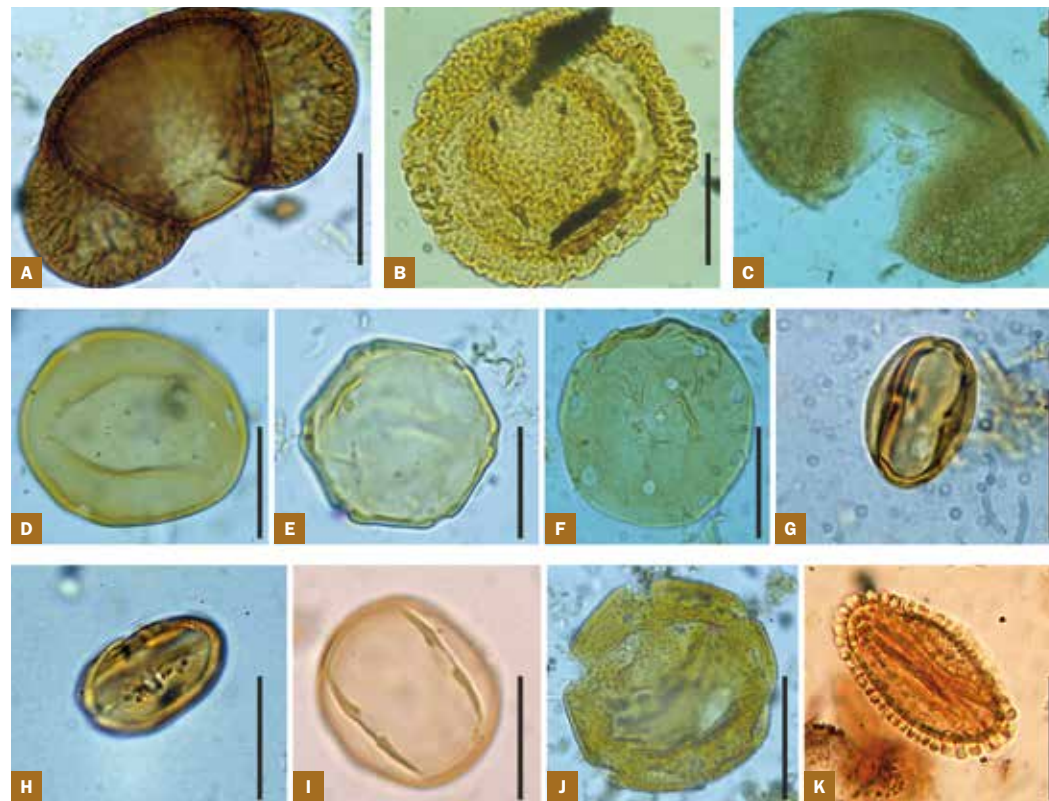


Fig. 11.1.4 Tavola fotografica di alcuni tipi pollinici caratteristici rinvenuti nei depositi del Bacino di Leffe; scala = 20 µm.

Some of the pollen types recorded in the paleoflora from the Leffe Basin; scale bar = 20 µm.

- A *Cedrus* aff. *atlantica*
- B *Tsuga*
- C *Picea*
- D *Carya*
- E *Pterocarya*
- F *Juglans* sect. *Cardiocaryon*
- G *Vitis*
- H *Aesculus* aff. *hippocastanum*
- I *Eucommia*
- J *Liquidambar*
- K *Ilex*



Fig. 11.1.5 Rametto con coni di *Tsuga diversifolia*, granulo pollinico e cono fossile di *Tsuga* dai depositi del Bacino di Leffe (disegno di Elisa Vescovi).

Branchlet with cones of *Tsuga diversifolia*, fossil pollen grain and cone of *Tsuga* from the Leffe Basin (drawing by Elisa Vescovi).

Questa successione, schematizzata in Fig. 11.1.6, si ripete ben 18 volte nel tratto finora studiato della successione di Leffe (Muttoni et al., 2007); l'assenza di fasi a persistente vegetazione steppica e deposizione di loess indica che nell'intervallo di tempo documentato dalla successione non si sono mai realizzate condizioni glaciali vere e proprie, ma solo episodi di relativo raffreddamento che non impedivano la sopravvivenza di vegetazione legnosa. I cicli vegetazionali messi in luce nella successione di Leffe compaiono anche nella registrazione pollinica della successione marina del Lamone (Appennino Settentrionale), che copre, seppur in maniera incompleta, l'intervallo di tempo tra circa 1,8 e 1,4 Ma (MIS 64–46; Fusco, 2007).

I resti carpologici rinvenuti nel Bacino di Leffe (Ravazzi & Moscariello, 1998; Martinetto, 1999) sono stati sinora poco studiati, benché aggiungano alla documentazione pollinica molte piante erbacee (Martinetto, dati inediti) e alcune arboree "esotiche", come *Magnolia cor* e *Phellodendron elegans*. Altre entità "esotiche" sono documentate dalla ricchissima carpoflora di Steggio in Veneto (Ghiotto, 2010), per esempio *Aralia*, *Schisandra* e *Thuja*. I macroresti di entità esotiche sono stati rinvenuti ancora verso la fine del Calabriano nelle sezioni Enza e Stirone dell'Emilia (Martinetto et

al., 2007). Questa successione, schematizzata in Fig. 11.1.6, si ripete ben 18 volte nel tratto finora studiato della successione di Leffe (Muttoni et al., 2007); l'assenza di fasi a persistente vegetazione steppica e deposizione di loess indica che nell'intervallo di tempo documentato dalla successione non si sono mai realizzate condizioni glaciali vere e proprie, ma solo episodi di relativo raffreddamento che non impedivano la sopravvivenza di vegetazione legnosa. I cicli vegetazionali messi in luce nella successione di Leffe compaiono anche nella registrazione pollinica della successione marina del Lamone (Appennino Settentrionale), che copre, seppur in maniera incompleta, l'intervallo di tempo tra circa 1,8 e 1,4 Ma (MIS 64–46; Fusco, 2007).

The carpological remains found in a few layers of the Leffe Basin (Ravazzi & Moscariello, 1998; Martinetto, 1999), although poorly studied so far, add to the pollen record several herbaceous plants (Martinetto, unpublished data), and a few "exotic" woody plants, such as *Magnolia cor* and *Phellodendron elegans*. Other "exotic" elements occur in the very rich Steggio carpoflora, in the Veneto region (Ghiotto, 2010), for example *Aralia*, *Schisandra* and *Thuja*. Macroremains of exotic elements have also been found towards the end of the Calabrian, in the Enza and Stirone sections (Martinetto et al., in press), as well as in the Oriolo site (all sections in the Emilia-Romagna region), where we find *Carya*, *Gleditsia*, *Parrotia*, *Tsuga*, etc. (Martinetto & Sami, 2001). Other plant macrofossils found at Oriolo (Fig. 11.1.7) include a bamboo-type plant (Martinetto & Sami, 2001), along with a *Berberis* bearing leaves similar

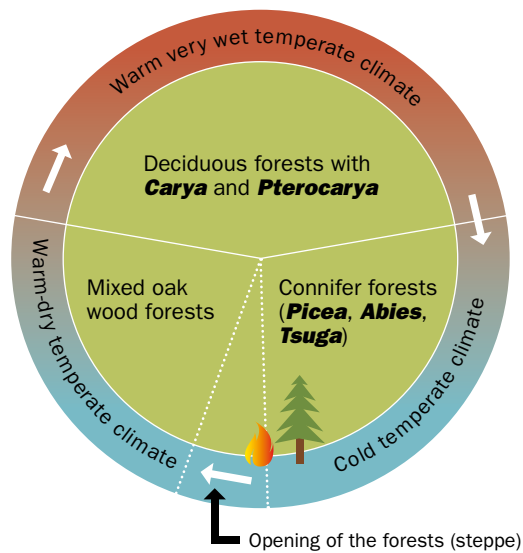


Fig. 11.1.6 Rappresentazione schematica dei cicli vegetazionali individuati nelle successioni calabriere dell'Italia settentrionale.

Schematic representation of the vegetation cycles as highlighted in Calabrian successions from northern Italy.

al., in stampa) e quella romagnola di Oriolo, dove troviamo ad esempio *Carya*, *Gleditsia*, *Parrotia* e *Tsuga* (Martinetto & Sami, 2001). La flora di Oriolo (Fig. 11.1.7) annovera anche resti di un tipo di bambù (Martinetto & Sami, 2001), di un crespino (*Berberis*) con foglie affini a quelli cinesi e di una *Gleditsia* le cui foglie corrispondono in forma, dimensioni e nervature a quelle di *G. caspica* dell'Iran settentrionale.

La successione di depositi lacustri delle Fornaci di Ranica (Prealpi Lombarde), attribuita su base paleomagnetica ad un breve intervallo di tempo a polarità geomagnetica normale (subcrono Jaramillo, tra 1,07 e 0,99 Ma; Ravazzi et al., 2005), documenta la storia della vegetazione durante una delle più antiche fasi pleistoceniche di clima freddo, riferibile al MIS 30. I dati biostratigrafici mostrano che, dopo una fase dominata da foreste di conifere di clima temperato fresco (*Tsuga* e in subordinate *Picea* e *Pinus*), la sedimentazione ebbe luogo in un contesto ambientale caratterizzato da foreste rade di clima boreale con locali comunità a megafornie, vegetazione xerofitica e specie adattate a climi rigidi (tipo *Saxifraga oppositifolia*, *Saxifraga stellaris*). Il rinvenimento di coni di *Larix decidua* testimonia per la prima volta la presenza del larice europeo nell'area prealpina. I resti carpologici (Fig. 11.1.8) permettono di caratterizzare la paleoflora che popolava il bacino lacustre di Ranica in alcuni intervalli di tempo ben precisi, documentando la presenza di alghe Characeae, piante erbacee acquatiche (*Potamogeton*, *Ranunculus* gr. *aquatilis*) e igrofile (*Carex nigra*, *C. rostrata*).

to chinese species and a *Gleditsia* with leaves resembling those of *G. caspica* from northern Iran, as for shape, size and veins.

The record from Fornaci di Ranica (Prealps of Lombardy), set in the Jaramillo subchron (1.07–0.99 Ma) based on palaeomagnetic data, describes the vegetation history during one of the oldest Pleistocene phases of cold climate, related to MIS 30 (Ravazzi et al., 2005). Pollen stratigraphy shows that, after a phase with conifer forests of cool-temperate climate (*Tsuga* with subordinate *Picea* and *Pinus*), sedimentation took place in an environment dominated by open boreal conifer forests, with megaforns, xerophytic communities and cold-adapted species (*Saxifraga oppositifolia* type, *Saxifraga stellaris*). The occurrence of *Larix decidua* cones testifies to the presence of European larch in the Prealpine area during the Calabrian. Herbaceous species growing inside the Ranica Basin can be described due to the occurrence of carpological remains (Characeae, *Potamogeton*, *Ranunculus* gr. *aquatilis*, *Carex rostrata*; Fig. 11.1.8).

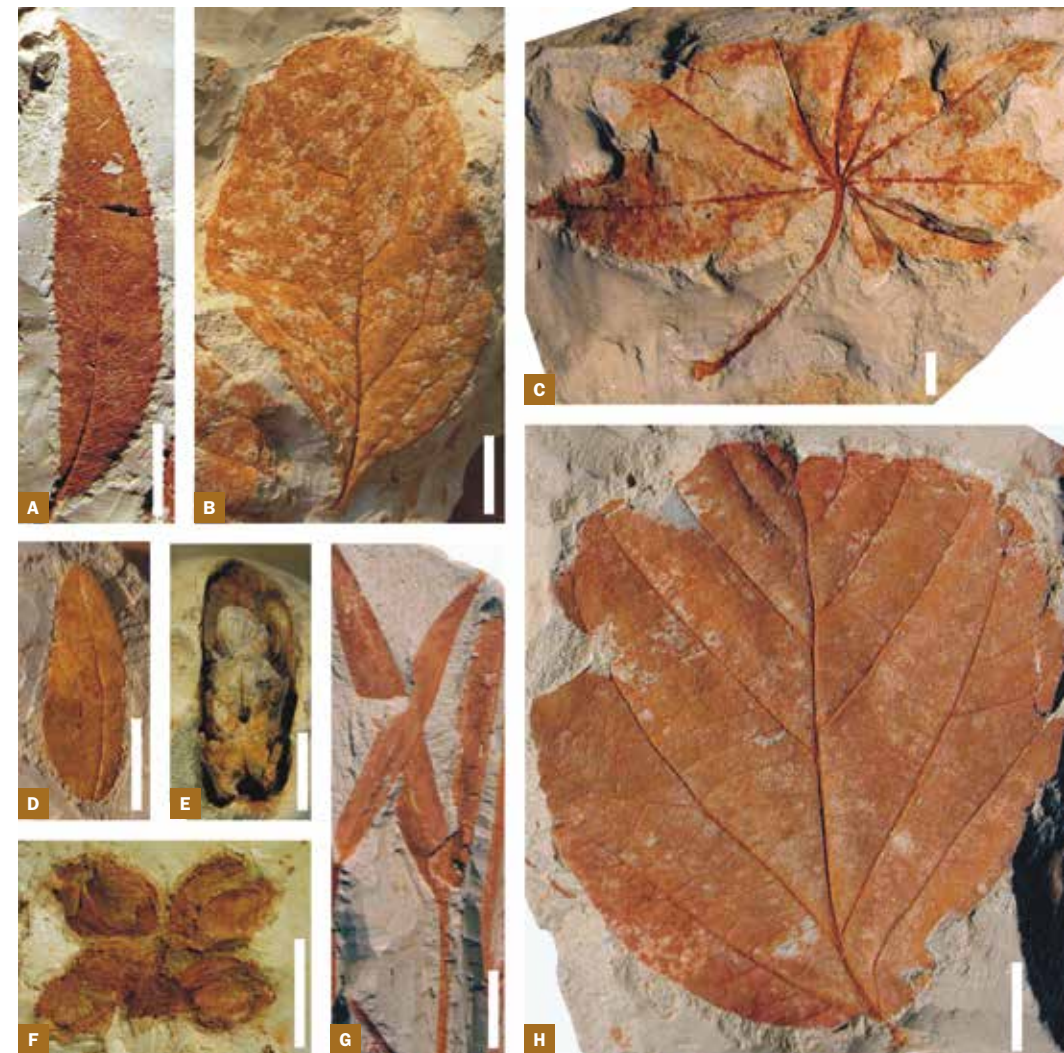


Fig. 11.1.7 Fossili del deposito di Oriolo; le foglie sono conservate come impronte evidenziate da incrostazioni ferrose; scala = 1 cm.

- A *Ulmus* cf. *pyramidalis*
- B *Berberis* sp.
- C *Acer* aff. *palmatum*
- D *Gleditsia* sp.
- E *Tsuga* sp.
- F *Parrotia* sp.
- G rametti con foglie di un bambù
- H *Parrotia* cf. *pristina* (Foto di Marco Sami)

Fossils from the Oriolo locality; the leaves are preserved as imprints highlighted by iron encrustation; scale bar = 1 cm.

Fossils from the Oriolo locality; the leaves are preserved as imprints highlighted by iron encrustation; scale bar = 1 cm.

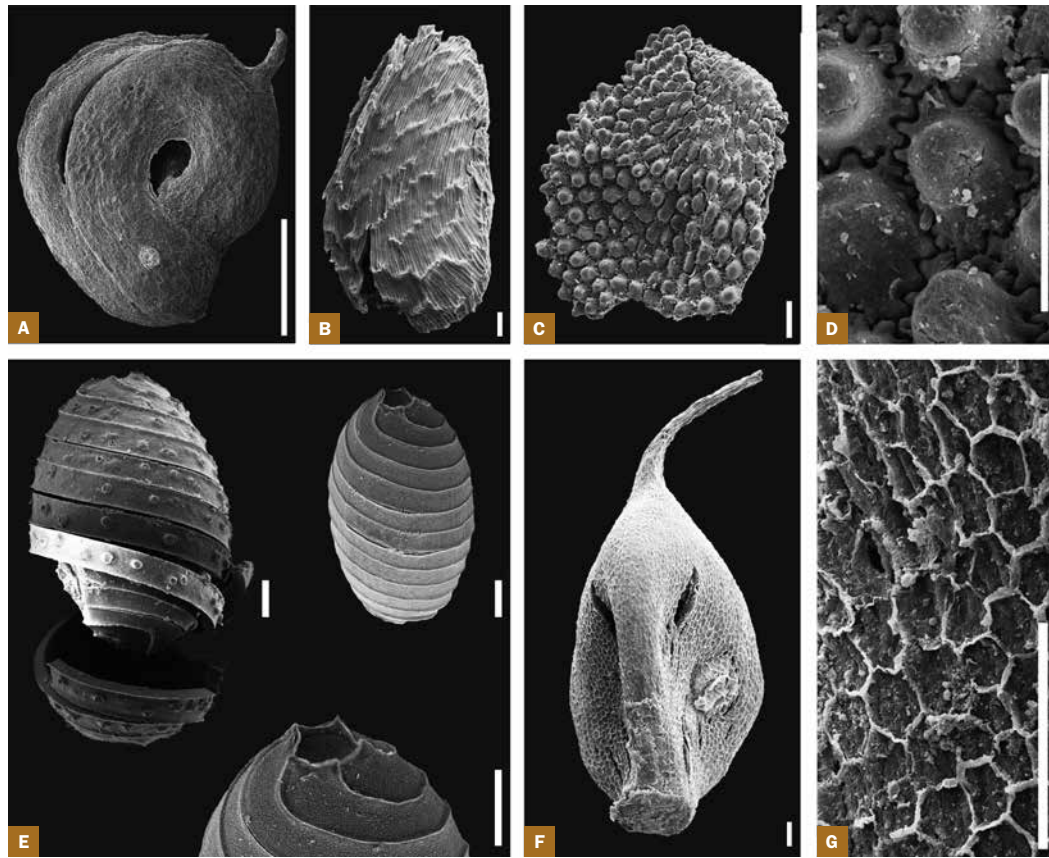


Fig. 11.1.8 Fotografie al microscopio elettronico a scansione (SEM) di frutti, semi ed oospore del deposito di Ranica; scala = 0,1 mm, ad eccezione della Fig. A = 1 mm.

Scanning electron micrographs (SEM) of fruits, seeds and oospores from Ranica; scale bar = 0,1 mm, apart from Fig. A = 1 mm.

- A *Potamogeton natans*
- B *Ranunculus* subg. *Batrachium* sp.
- C-D *Silene* cf. *dioica*
- E *Chara* cf. *vulgaris* (det. D. Gianolla)
- F-G *Carex rostrata* (from Ravazzi et al., 2005)

IL PLEISTOCENE MEDIO · MIDDLE PLEISTOCENE (0.78–0.132 MA)

I DATI multistratigrafici e geofisici della pianura lombarda indicano un'importante riorganizzazione degli ecosistemi forestali, dei contesti deposizionali e del drenaggio all'inizio delle maggiori glaciazioni pleistoceniche (Muttoni et al., 2003; Scardia et al., 2006). Una discontinuità regionale, indicata come "superficie R" e datata su base magnetostratigrafica a 0,87 Ma (MIS 22), separa infatti unità stratigrafiche molto diverse in relazione al loro contenuto pollinico e petrografico. Nel record pollinico di Pianengo (Muttoni et al., 2003), la ciclicità vegetazionale e climatica descritta per la successione di Leffe è ben espressa fino ai livelli che precedono la discontinuità stratigrafica. Al di sopra di essa, il polline di *Tsuga* è pressoché assente, quello di *Carya* scompare nei livelli dell'inizio del Pleistocene Medio, mentre sporadici granuli pollinici di *Pterocarya* vengono rinvenuti in sedimenti del Pleistocene Medio. Questi dati sono in accordo con quanto rinvenuto nei depositi della laguna veneta (Müllenders et al., 1996; Kent et al., 2002).

La storia ambientale e climatica delle Prealpi lombarde all'inizio del Pleistocene Medio è illustrata dal record paleobotanico del Bacino di Piànico-Sellere, particolarmente ricco anche di resti macroscopici (Fig. 11.1.9).

Lo studio paleobotanico di sezioni in affioramento e di un carotaggio (Rossi, 2003; Martinetto, 2009; Badino, 2009; Vassio, 2012) supportato dalla datazione K/Ar di un livello tefritico (779±13 ka; Pinti et al., 2001) e dallo studio paleomagnetico (Scardia & Muttoni, 2009), documenta una lunga fase interglaciale corrispondente al MIS 19, quasi interamente rappresentata da depositi biogenici varvati. L'inizio dell'interglaciale di Piànico è caratterizzato dall'espansione di foreste decidue

MULTISTRATIGRAPHIC and geophysical data from the Lombardian plain indicate a sharp reorganization of forest ecosystems, depositional settings and drainage patterns related to the onset of major Pleistocene glaciations (Muttoni et al., 2003; Scardia et al., 2006). Here stratigraphic units very different in terms of palynological and petrographical content are separated by a regional unconformity ("R-surface") magnetostratigraphically constrained to 0.87 Ma (MIS 22). In the pollen record of Pianengo (Muttoni et al., 2003) vegetation and climate cyclicity, already observed in the Leffe sequence, are well expressed up to the stratigraphic levels below the regional unconformity. Above this, pollen of *Tsuga* are almost absent and *Carya* disappears in the early Middle Pleistocene; pollen grains of *Pterocarya* are recorded in Middle Pleistocene sediments. These data agree with pollen-stratigraphical information from the Venetian lagoon (Müllenders et al., 1996; Kent et al., 2002).

The record from the Piànico-Sellere basin documents the environmental and climate history of the Prealps of Lombardy at the onset of the Middle Pleistocene. Palaeobotanical data from outcrop sections and a long drilling core (Rossi, 2003; Martinetto, 2009; Badino, 2010; Vassio, 2012), supported by the K/Ar age of a tephra level (779±13 ka; Pinti et al., 2001) and palaeomagnetic data (Scardia & Muttoni, 2009), display a long interglacial phase corresponding to MIS 19, almost entirely represented by biogenic varved sediments. The beginning of the Piànico interglacial is characterized by the expansion of broad-leaved deciduous thermophilous forests with *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* and *Fraxinus*, followed by the expansion of *Abies* and *Carpinus betulus*. The interglacial succession is interrupted by a short phase (*Lovere event*) recording the almost

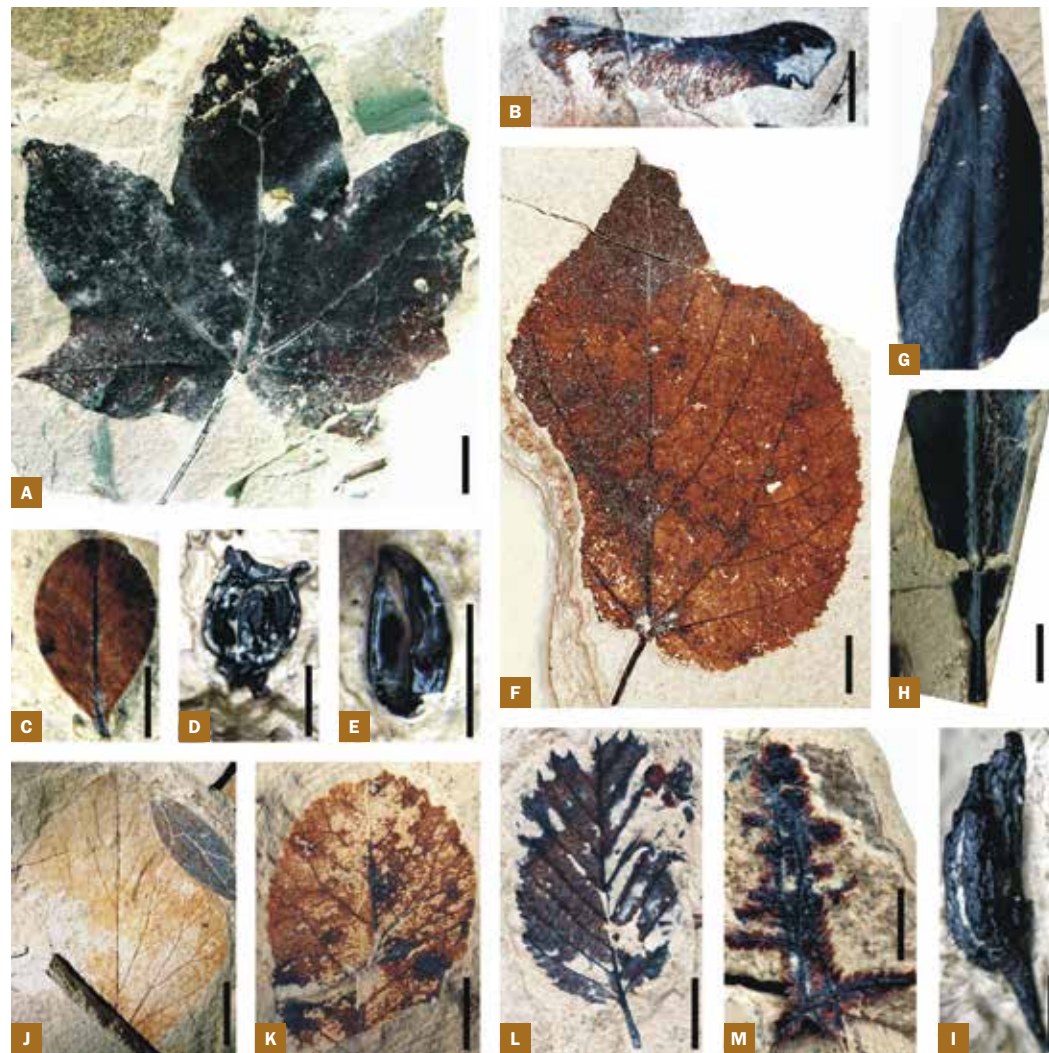


Fig. 11.1.9 Esempi di resti carpologici e fogliari del deposito di Pianico-Sellere (ca. 0,8 Ma). Scala per le figure A, B, F, G, H, J, K, L = 1 mm, per le figure C, D, E, H, I, M, N = 0,5 mm.

Examples of carpological and leaf remains from the Pianico-Sellere locality (ca. 0.8 Ma). Scale bar of Figs. A, B, F, G, H, J, K, L = 1 mm, of Figs. C, D, E, H, I, M, N = 0.5 mm.

- A *Acer cf. cappadocicum*
- B *Acer* sect. *Platanioidea* (?*Acer cf. cappadocicum*)
- C-E *Buxus sempervirens*
- F *Tilia* sp.
- G-I *Rhododendron ponticum* var. *sebinense*
- J *Hedera helix*
- K *Pyracantha cf. coccinea*
- L *Carpinus betulus*
- M muschio/moss

di latifoglie termofile con *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia* e *Fraxinus*, seguita dalla diffusione di boschi misti di *Abies* e *Carpinus betulus*. La successione interglaciale è interrotta da un evento di breve durata (evento Lovere), che registra la quasi totale scomparsa di latifoglie termofile e la diffusione di foreste di conifere (*Picea*, *Pinus*, *Larix*) e di comunità steppiche erbacee. Macrofossili di *Pinus peuce* e *Rhododendron ponticum* sono abbondanti (Fig. 11.1.9). Taxa come *Liquidambar*, *Eucommia* e *Juglans* sect. *Cardiocaryon* sono assenti dalla paleoflora di Piànico; entità comuni nelle paleoflore dell'Italia settentrionale fino a circa 1 Ma fa, come *Tsuga*, *Cedrus* e *Carya*, sono rappresentate da sporadici granuli pollinici. Ciò suggerisce una trasformazione profonda nella flora e nella vegetazione avvenuta tra la prima maggiore avanzata glaciale pleistocenica e l'inizio dell'interglaciale di Piànico (MIS 19, inizio del Pleistocene Medio).

Il record multistratigrafico di Azzano Decimo documenta la storia della vegetazione nel bacino padano-adriatico e le variazioni dell'ambiente sedimentario durante gli ultimi 5 cicli glaciale-interglaciale (Pini et al., 2007, 2009). Fasi forestali di clima temperato caldo a dominanza di latifoglie termofile decidue (*Quercus*, *Corylus*, *Tilia*, *Ulmus*) si alternano a fasi oceaniche più fresche (con *Abies*, *Fagus* e *Carpinus betulus*) e fasi di clima continentale arido caratterizzate dall'espansione di steppe e foreste-steppe. Gli episodi di espansione forestale sono generalmente in fase con eventi di trasgressione marina, mentre le fasi steppiche corrispondono a eventi di regressione e crollo eustatico. Nella successione di Azzano Decimo granuli pollinici di *Pterocarya* sono presenti in sedimenti attribuiti su base palinostatigrafica al MIS 11 e supportano l'ipotesi della sopravvivenza di questa entità, comune fino al Calabriano, fino alla metà del Pleistocene Medio.

complete disappearance of thermophilous trees and the expansion of conifer forests (*Picea*, *Pinus*, *Larix*) and herbaceous steppe communities.

Pinus peuce and *Rhododendron ponticum* macrofossils are abundant (Fig. 11.1.9). *Liquidambar*, *Eucommia* and *Juglans* sect. *Cardiocaryon* are lacking in the palaeofloral record of Piànico. *Tsuga*, *Cedrus* and *Carya*, frequent in northern Italy up to 1 Ma, are represented by single pollen grains. These data point to a sharp change in floras and vegetation that occurred between the first major Pleistocene glacial advance and the onset of the Piànico interglacial (MIS 19, at the beginning of the Middle Pleistocene).

Multistratigraphic data from the Azzano Decimo core describe the history of vegetation and sedimentary environments in the Po-Adriatic Basin during the last 5 glacial-interglacial cycles (Pini et al., 2007, 2009). The pollen record shows the superposition of phases dominated by broad-leaved thermophilous forests (deciduous *Quercus*, *Corylus*, *Tilia*, *Ulmus*) of a warm temperate climate, mixed broadleaved trees-conifer forests (*Abies*, *Fagus* and *Carpinus betulus*) of an oceanic climate and episodes of expansion of steppes and forests-steppes of a dry continental climate. Episodes of forest expansion are in phase with marine transgressions, while the spread of xerophytic communities took place during phases of sea regression and eustatic drop.

In the Azzano Decimo core sediments, biostratigraphically constrained to MIS 11, contain pollen grains of *Pterocarya*, supporting the hypothesis that this plant was still present in the Italian flora up until the central part of the Middle Pleistocene.

IL PLEISTOCENE SUPERIORE: L'ULTIMO CICLO GLACIALE-INTERGLACIAL UPPER PLEISTOCENE: THE LAST GLACIAL-INTERGLACIAL CYCLE

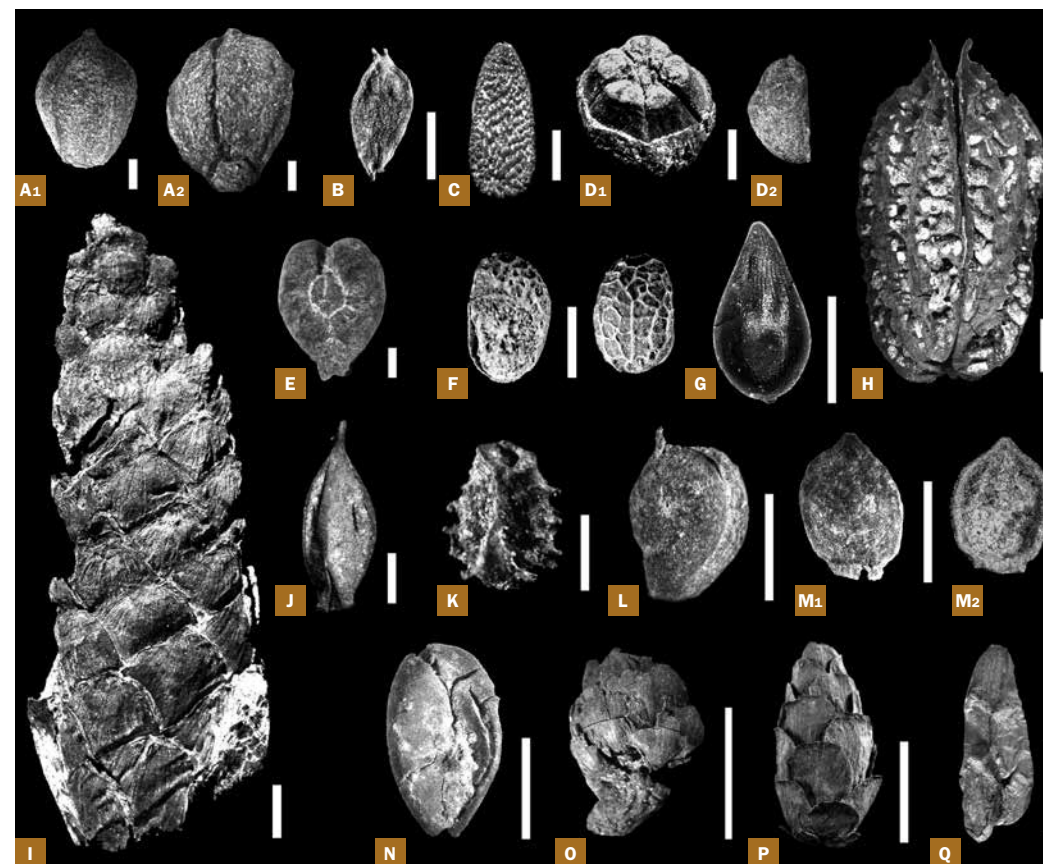
LA STRATIGRAFIA pollinica e climatica del Pleistocene Superiore dell'Italia settentrionale è rappresentata nei sedimenti del Lago di Fimon (Pini et al., 2010), nei quali variazioni della copertura forestale sono state messe in relazione con oscillazioni climatiche maggiori e a scala millenaria. La successione eemiana (tra circa 132 e 110 ka) è documentata da una prima fase con boschi di latifoglie termofile decidue, cui segue la diffusione di boschi misti di specie oceaniche. Nel record di Fimon sono chiaramente riconoscibili le due fasi interstadiali e le due stadiali del Würm Antico della cronostratigrafia alpina (risoluzione INQUA-SEQS: Chaline & Jerz, 1984). La vegetazione forestale persiste per tutto il Würm Medio (MIS 4 e 3); ciò è coerente con simulazioni paleoclimatiche (Barron & Pollard, 2002) che suggeriscono l'esistenza di un gradiente di precipitazioni attraverso l'arco alpino durante il MIS 3 e l'ultimo acme glaciale (Last Glacial Maximum, LGM registrato durante il MIS 2), che consentiva la sopravvivenza di specie legnose sul versante meridionale della catena. Sul finire del Würm Medio (38,2±1,5 ka cal BP), il record di Fimon registra un'evidente contrazione della vegetazione legnosa, probabilmente in relazione con l'Heinrich Event 4. Si sviluppano foreste aperte con *Pinus sylvestris/mugo*, *Picea*, *Betula*, *Juniperus* e *Larix* e steppe a xerofite, creando un assetto vegetazionale che caratterizzerà il paesaggio fino a circa 17 ka cal BP.

In conclusione, nel corso del Pleistocene si registra una drastica trasformazione delle paleoflore, particolarmente evidente per le piante legnose, ma che ha interessato anche le specie erbacee, come evidenziato in particolare dalle associazioni a frutti e semi (Fig. 11.1.10).

LATE PLEISTOCENE pollen and climate-stratigraphy of northern Italy are documented in the sedimentary sequence of Lake Fimon (Pini et al., 2010). Here changes in forest composition have been related to first-order and millennial-scale climate oscillations.

The Eemian succession (between ca. 132 and 110 ka) develops first with broad-leaved deciduous thermophilous forests, followed by the expansion of mixed oceanic broad-leaved-conifer forests. The pollen record from Lake Fimon clearly shows two stadial and two interstadial phases framed in the Early Würm of the Alpine chronostratigraphy (INQUA-SEQS resolution: Chaline & Jerz, 1984). The persistence of forest vegetation throughout the Middle Würm (MIS 4 and 3) is consistent with palaeoclimate simulations suggesting a steep precipitation gradient across the Alps during MIS 3 and the LGM, allowing the survival of woody species on the southern side of the Alps (Barron & Pollard, 2002). The pollen record registers a sharp contraction of forest vegetation towards the end of the Middle Würm (38.2±1.5 ka cal BP), possibly related to Heinrich Event 4. Open forests with *Pinus sylvestris/mugo*, *Picea*, *Betula*, *Juniperus* and *Larix* and xerophytic scrublands developed, building a vegetational pattern that characterized the landscape up to ca. 17 ka BP.

In conclusion, during the Pleistocene we assist to a consistent palaeofloral change, particularly apparent as for the woody taxa, but also affecting the herbaceous species, which are well represented in the fruit and seed assemblages (Fig. 11.1.9). In the early Pleistocene many taxa still present in our country (e.g., *Quercus*, *Picea*, *Abies*) are associated with others having an Asian and/or American distribution, such as "Taxodiaceae" (see Note 1 in Chapter 10),



- A1–A2 *Tilia* sp., Piànico Sellere
- B *Betula* sp., Steggio
- C *Sambucus nigra*, Piànico Sellere
- D1 *Pyracantha coccinea*, Piànico Sellere
- D2 *Pyracantha coccinea*, Piànico Sellere
- E *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris*, Piànico Sellere
- F *Ajuga reptans*, Steggio
- G *Thymelaea* cf. *passerina*, Arda (strato AD3)
- H *Juglans bergomensis*, Buronzo (strato BU21)
- I–N *Pinus peuce*, Piànico Sellere
- J *Carex szaferii*, Castelletto Cervo II (strato GA5)
- K *Myriophyllum praespicatum*, San Pietro di Ragogna
- L *Potamogeton* cf. *marginatus*, Piànico Sellere
- M1–M2 *Taxus baccata*, Piànico Sellere
- O *Larix* cf. *decidua*, Ranica
- P–Q *Tsuga chiarugii*, Steggio

Fig. 11.1.10 Esempi di resti carpologici raccolti tramite la setacciatura di sedimenti del Pleistocene Inferiore-Medio (da 2,6 a 0,5 Ma), provenienti da diverse località, come indicato nella didascalia. scala = 1 mm, eccetto per i coni di conifere e *Juglans* = 1 cm (da Ravazzi et al., 2005; Martinetto, 2009; Ghiotto, 2010; Martinetto & Festa, 2013; Martinetto et al., in stampa).

Examples of carpological remains collected by sieving sediment samples of Early and Middle Pleistocene (from 2.6 to 0.5 Ma), from various localities, as reported in the caption. scale bar = 1 mm, apart from conifer cones and *Juglans* = 1 cm (from Ravazzi et al., 2005; Martinetto, 2009; Ghiotto, 2010; Martinetto et al., 2012; Martinetto & Festa, 2013; Martinetto et al., in press).

Nei record sia micro- che macropaleobotanici del Gelasiano, numerose piante arboree, ancora presenti nel nostro paese (e.g. *Quercus*, *Picea* e *Abies*), sono associate ad altre aventi invece una distribuzione asiatica e/o americana, ad esempio "Taxodiaceae" (vedi nota 1 al Capitolo 10), *Carya*, *Cathaya*, *Juglans* sect. *Cardiocaryon* e *Tsuga*. Il progressivo fenomeno di raffreddamento e la ciclicità climatica (vedi cicli G/I) determinano la graduale scomparsa dei taxa relativamente più termofili come "Taxodiaceae", *Cathaya*, *Parrotia persica*, *Tsuga*, *Cedrus* e *Liquidambar*. Tali scomparse avvengono in modo diacrono, non solo nei diversi paesi europei e del litorale mediterraneo, ma all'interno della stessa penisola Italiana, risultando fortemente influenzate da diversi gradienti climatici.

L'inizio delle più intense glaciazioni pleistoceniche (MIS 22) determina un generale impoverimento delle flore, cosicché le entità esotiche, comuni nel Calabriano, scompaiono alla transizione Pleistocene Inferiore/Medio (*Tsuga*, *Carya*, *Eucommia*, *Liquidambar*, *Juglans* sect. *Cardiocaryon*). Elementi esotici ancora documentati nella flora medio-pleistocenica del margine prealpino lombardo e piemontese sono *Pinus peuce* (Fig. 11.1.10), *Prunus lusitanica* e *Rhododendron ponticum*. Polline di *Pterocarya* è presente nei depositi del MIS 11 della pianura veneto-friulana. Dal tardo Pleistocene Medio in poi le palaeoflore comprendono esclusivamente taxa ancor oggi viventi in questa area.

Collezioni: Le principali collezioni di piante fossili del Pleistocene dell'Italia settentrionale si trovano oggi custodite presso le seguenti sedi: MGPT-PU (collezione CENOFITA, migliaia di frutti e semi del Pleistocene dell'Italia centro-settentrionale), MCSNGD, MSNM (foglie di Re, Piemonte), MMD (foglie di Re, Piemonte), MSNFA (per lo più foglie del sito di Oriolo; Fig. 11.1.11), MCSNB (vari resti di piante dei siti di Piànico Sellere e Ranica).

Cathaya, *Tsuga* and *Carya*. The progressive cooling and the glacial/interglacial cycles determine the progressive disappearance of relatively thermophilous taxa such as "Taxodiaceae", *Cathaya*, *Parrotia persica*, *Tsuga*, *Cedrus* and *Liquidambar*. These disappearances occur at different times, not only in the European countries, including the Mediterranean coasts, but within the Italian peninsula, being strongly influenced by climatic gradients. The onset of major Pleistocene glaciations (MIS 22) led to a floristic depletion: plants which were common during the Calabrian disappeared from northern Italy at the beginning of the Middle Pleistocene (*Tsuga*, *Carya*, *Eucommia*, *Liquidambar*, *Juglans* sect. *Cardiocaryon*). *Pinus peuce* (Fig. 11.1.10), *Prunus lusitanica* and *Rhododendron ponticum* are among the exotic elements still documented at the southern pre-Alpine margin by this time. Pollen of *Pterocarya* are found in deposits biostratigraphically constrained to MIS 11 in the Friulian plain. Late Middle Pleistocene and late Pleistocene sequences document the presence of taxa still occurring in northern Italy today.

Collections: The main collections of Pleistocene fossil plants from Italy are currently kept by the following institutions: MGPT-PU (CENOFITA collection, thousands of fruits and seeds from Northern and Central Italy), MCSNGD, MSNM (leaves from Re, Piedmont), MMD (leaves from Re, Piedmont), MSNFA (mainly leaves from the Oriolo site; Fig. 11.1.11), MCSNB (plant remains from Piànico Sellere and Ranica).



Fig. 11.1.11 Museo Civico di Scienze Naturali di Faenza: vetrina con foglie fossili del sito di Oriolo.

Exhibition of fossil leaves from the Oriolo locality, Museum of Faenza.

Bibliografia References

BADINO, F., 2009. L'inizio dell'interglaciale di Piànico (Pleistocene Medio, Prealpi Lombarde). Storia della vegetazione e litostratigrafia della successione lacustre. Master Thesis, Università degli Studi di Milano.

BARRON, E., Pollard, D., 2002. High-resolution climate simulations of Oxygen Isotope Stage 3 in Europe. *Quaternary Research* 58, 296–309.

BENASSI, P., 1896. Piante ed insetti fossili di Re in Val Vigezzo. *Rivista Italiana Paleontologia* 2, 315–320.

BERTINI, A., 2001. Pliocene climatic cycles and altitudinal forest development from 2.7 Ma in the northern Apennines (Italy): evidences from the pollen record of the Stirone section (~5.1 to ~2.2 Ma). *Geobios* 34, 253–265.

BERTOLANI-MARCHETTI, D., Accorsi, C.A., Pelosio, G., Raffi, S., 1979. Palynology and stratigraphy of the Plio-Pleistocene sequence of the Stirone River (northern Italy). *Pollen et Spores* 21(1–2), 149–167.

CAPOTONDI, L. 1992: Eventi faunistici ed isotopici del tardo Neogene registrati nel Mediterraneo. Implicazioni stratigrafiche e paleoceanografiche. PhD Thesis, University of Parma.

CARCANO, C., Piccin, A., 2002, *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*: Firenze, SELCA.

CHALINE, J., Jerz, H., 1984. Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie. Stratotypen des Würm-Glazials. *Eiszeitalter und Gegenwart* 35, 185–206.

COMBOURIEU-NEBOUT, N., 1993. Vegetation response to upper Pliocene Glacial/Interglacial cyclicity in the Central Mediterranean. *Quaternary Research* 40, 228–236.

COMBOURIEU-NEBOUT, N., 1995. Réponse de la végétation de l'Italie méridionale au seuil climatique de la fin du Pliocène d'après l'analyse pollinique haute résolution de la section de Semaforo (2.46 à 2.1 Ma). *Comptu Rendus de l'Academie des Science Paris* 321, 659–665.

EHLERS, J., Gibbard, P.L., 2004. Quaternary Glaciations: extent and chronology. Part I: Europe. *Development in Quaternary Sciences* vol. 2, Elsevier.

FUSCO, F., 2007. Vegetation response to early Pleistocene climatic cycles in the Lamone valley (Northern Apennines, Italy). *Review Palaeobotany Palynology* 145, 1–23.

GARZANTI, E., Vezzoli, G., Andò, S., 2011. Paleogeographic and paleodrainage changes during Pleistocene glaciations (Po Plain, northern Italy). *Earth Science Review* 105, 25–48.

GHIOTTO, P., 2010. La carpo flora del bacino lacustre villafranchiano di Steggio (Treviso, Prealpi orientali). *Bollettino Museo Regionale Scienze Naturali*, 27(1), 3–99.

GREGOR, H.-J., 1990. Contributions to the Late Neogene and Early Quaternary floral history of the Mediterranean. *Review Palaeobotany Palynology* 62, 309–338.

KENT, D.V., Rio, D., Massari, F., Kukla, G., Lanci, L., 2002. Emergence of Venice during the Pleistocene. *Quaternary Science Reviews* 21, 1719–1727.

LONA, F., 1950. Contributi alla storia della vegetazione e del clima nella Val Padana. Analisi pollinica del giacimento villafranchiano di Leffe (Bergamo). *Atti Società Italiana Scienze Naturali* 89, 123–178.

LONA, F., 1962: Prime analisi pollinologiche sui depositi terziari quaternari di Castell'Arquato: reperti di vegetazione da clima freddo sotto le formazioni calcaree a *Amphistegina*. *Bollettino Società Geologica Italiana* 81, 1–5.

LONA, F., Bertoldi, R., 1972. La storia del Plio-Pleistocene italiano in alcune sequenze lacustri e marine. *Memorie Accademia Nazionale Lincei* 8, 1–47.

LONA, F., Follieri, M., 1957. Successione pollinica della serie superiore (Günz-Mindel) di Leffe (Bergamo). *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübél* 34, 86–98.

MARTINETTO, E. (Ed.), 2001. Pliocene plants, environment and climate of northwestern Italy. *Flora Tertiaria Mediterranea* 4, 1–88.

MARTINETTO, E., 1999. Chronological framing of Pliocene to Early Pleistocene plant macrofossil assemblages from northern Italy. *Acta Palaeobotanica, Supplement* 2, 503–511.

MARTINETTO, E., 2009. Palaeoenvironmental significance of plant macrofossils from the Piànico Formation, Middle Pleistocene of Lombardy, North Italy. *Quaternary International* 204, 20–30.

MARTINETTO, E., Festa C., 2013. Frutti e semi fossili del Biellese. *Studi e ricerche sul Biellese, DocBi*.

MARTINETTO, E., Monegato, G., Irace, A., Vaiami, S.C., Vassio, E., in press. Pliocene and Early Pleistocene carpological records of terrestrial plants from the southern border of the Po Plain (N-Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology*.

MARTINETTO, E., Monegato, G., Vassio, E., 2012. An Early Pleistocene Plant Assemblage with East European Affinity in the Venetian-Friulian Basin (NE Italy). *Alpine and Mediterranean Quaternary* 25(2), 91–104.

MARTINETTO, E., Sami, M., 2001. Paleoflora delle sabbie gialle medio-pleistoceniche di Oriolo, presso Faenza. *Quaderni Studi Naturali Romagna* 14, 1–28.

MONEGATTI, P., Canali, G., Bertoldi, R., Albianelli, A., 2002. The classical Late Piacenzian Monte Falcone-Rio Crevalesse section (northern Italy): palynological evidence and biomagnetostratigraphic constraints for climatic cyclicity and local mollusc extinctions. *Geobios Mémoire spécial* 24, 219–227.

MÜLLENDERS W., Favero V., Coremans M., Dirickx M., 1996. Analyses polliniques de sondages à Venise. In: Gullentops (Ed.), *Pleistocene Palynostratigraphy*. Aarkundige Mededelingen. 7, 87–117.

MUTTONI, G., Carcano, C., Garzanti, E., Ghielmi, M., Piccin, A., Pini, R., Rogledi, S., Sciunnach, D., 2003. Onset of major Pleistocene glaciations in the Alps. *Geology* 31(11), 989–992.

MUTTONI, G., Ravazzi, C., Breda, M., Pini, R., Laj, C., Kissel, C., Mazaud, A., Garzanti, E., 2007. Magnetostratigraphic dating of an intensification of glacial activity in the southern Italian Alps during Marine Isotope Stage 22. *Quaternary Research* 67, 161–173.

PERVESLER, P. Uchman, A. Hohenegger, J., Dominici, S., 2011. Ichnological record of environmental changes in early Quaternary (Gelasian-Calabrian) marine deposits of the Stirone section, northern Italy. *Palaios* 26, 578–593.

PINI, R., Ravazzi, C., Donegana, M., 2007. Gli ultimi cinque cicli climatici nella successione sedimentaria della pianura friulana. Volume “Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR”, 169–172.

PINI, R., Ravazzi, C., Donegana, M., 2009. Pollen stratigraphy, vegetation and climate history of the last 215 ka in the Azzano Decimo core (plain of Friuli, north-eastern Italy). *Quaternary Science Reviews* 28, 1268–1290.

PINI, R., Ravazzi, C., Reimer, P.J., 2010. The vegetation and climate history of the last glacial cycle in a new pollen record from Lake Fimon (southern alpine foreland, N-Italy). *Quaternary Science Reviews* 29, 3115–3137.

PINTI, D., Quidelleur, X., Chiesa, S., Ravazzi, C., Gillot, P.Y., 2001. K-Ar dating of an early Middle Pleistocene distal tephra in the interglacial varved succession of Piànico-Sèllere (Southern Alps, Italy). *Earth Planetary Science Letters* 188, 1–7.

RAVAZZI, C., Moscarillo, A., 1998. Sedimentation, palaeoenvironmental evolution and time duration of earliest Pleistocene climatic cycles in the 24–56 m FM-core interval (Leffe Basin, northern Italy). In: Van Kolfschoten, Th., Gibbard, P.L. (Eds), *The dawn of the Quaternary*. INQUA-SEQS, Mededelingen Nederlands Inst. voor Toegepaste Gewetenschappen, 467–490.

RAVAZZI, C., Pini, R., Breda, M., Martinetto, E., Muttoni, G., Chiesa, S., Confortini, F., Egli, R., 2005. The lacustrine deposits of Fornaci di Ranica (late Early Pleistocene, Italian Pre-Alps): stratigraphy, palaeoenvironment and geological evolution. *Quaternary International* 131, 35–58.

REGIONE EMILIA ROMAGNA, ENI-AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna*. Firenze, SELCA.

RIO, D., Channell, J.E.T., Bertoldi, R., Poli, M.S., Vergerio, P.P., Raffi, I., Sprovieri, R., Thunnell, R.C., 1997. Pliocene sapropels in the northern Adriatic area: chronology and paleoenvironmental significance. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 135, 1–25.

ROSSI, S., 2003. Analisi pollinica della sequenza lacustre di Piànico-Sèllere (Italia). PhD Thesis, Università degli Studi di Milano e Université d'Aix-Marseille III.

SCARDIA, G., Muttoni, G., 2009. Paleomagnetic investigations on the Pleistocene lacustrine sequence of Pianico-Sellere (northern Italy). *Quaternary International* 204, 44–53.

SCARDIA, G., Muttoni, G., Sciunnach, D., 2006. Subsurface magnetostratigraphy of Pleistocene sediments from the Po Plain (Italy): constraints on rates of sedimentation and rock uplift. *GSA Bulletin* 118(11/12), 1299–1312.

SORDELLI, F., 1896. *Flora Fossilis Insubrica*. Studi sulla vegetazione di Lombardia durante i tempi geologici. Cogliati, Milano.

VASSIO, E., 2012. Palaeovegetation reconstructions and palaeoclimatic interpretations of Quaternary carpological assemblages with an actuopalaeobotanical approach. PhD Thesis, University of Turin.

11.2 La flora del Pleistocene dell'Italia centrale

The Pleistocene flora of central Italy

ADELE BERTINI, DONATELLA MAGRI, EDOARDO MARTINETTO,
LAURA SADORI & ELENA VASSIO

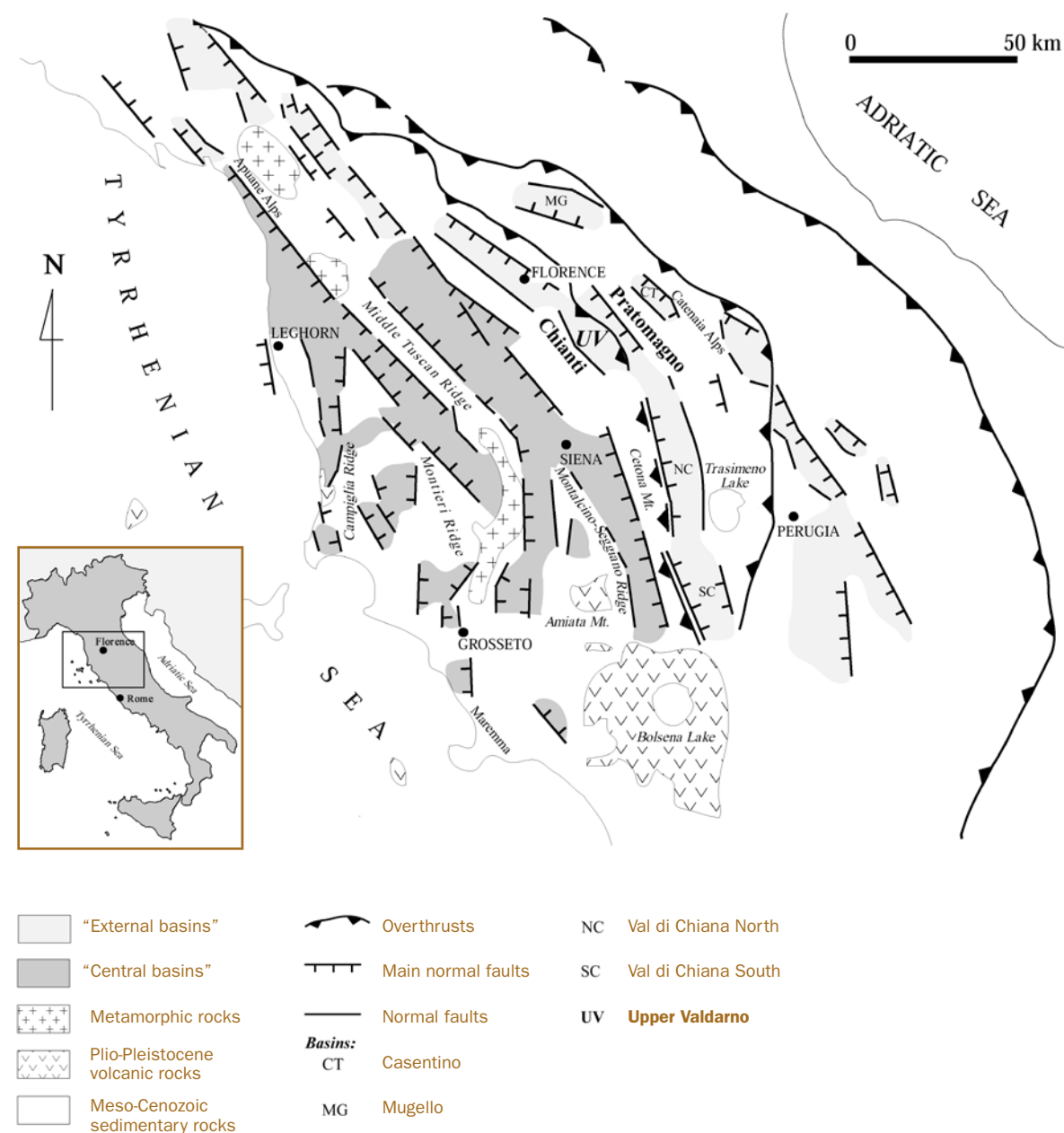
LA STORIA degli Appennini settentrionale e centrale è strettamente legata ai complessi cambiamenti geodinamici che interessano l'area del Mediterraneo, soprattutto a partire dal tardo Cenozoico. Nel corso del Quaternario i bacini appenninici sono riempiti da depositi marini non profondi (bacini centrali, *sensu* Martini & Sagri, 1993), come il bacino di Siena, o da depositi esclusivamente continentali (bacini periferici, *sensu* Martini & Sagri, 1993), come il bacino del Valdarno Superiore in Toscana (Fig. 11.2.1) e i bacini dell'Appennino laziale-abruzzese (AA.VV., 1993).

Questi bacini sono stati tradizionalmente interpretati come graben o semi-graben sviluppati in un contesto estensionale post-collisionale che ha interessato la parte interna dell'Appennino dal tardo Miocene (Martini & Sagri, 1993; Martini et al., 2001) sebbene alcuni ricercatori abbiano associato la loro formazione piuttosto agli effetti di un dominante regime compressivo (Bonini & Sani, 2002; Sani et al., 2009).

Data alla metà del XIX secolo la prima importante documentazione di foglie fossili (filliti), raccolta nella monografia sulla flora fossile italiana di Gaudin & Strozzi (1858), ancor oggi di riferimento per gli studi paleobotanici. Numerosi sono i campioni di angiosperme e gimnosperme prelevati nei depositi pliocenici e pleistocenici del Valdarno Superiore, Garfagnana e Mugello, divenuti poi oggetto di studio da parte di numerosi autori del passato. Oggi questi campioni fanno parte delle bellissime e ricche collezioni di paleoflore ospitate presso il Museo di Storia Naturale di Firenze, così come riportato da Cioppi (2010). Nell'ambito delle prime ricerche paleobotaniche di inizio 1900 va ricordato il primo vero e proprio studio paleocarpologico italiano, condotto da Tongiorgi (1937), su sedimenti, di probabile età pleistocenica inferiore, nel bacino paleolacustre di Ghirlanda (Tosca-

THE HISTORY of the northern and central Apennines is closely related to the complex geodynamic changes affecting the Mediterranean area, particularly since the late Cenozoic. During the Quaternary, Apennine basins were filled with shallow marine deposits (central basins, *sensu* Martini & Sagri, 1993), such as the Siena basin, or with Pliocene to Pleistocene continental deposits (peripheral basins *sensu* Martini & Sagri, 1993), such as the intermontane basin of the Upper Valdarno, located at the latitude of Florence (Fig. 11.2.1), and some basins located at the latitude of Rome (AA.VV., 1993). These basins have traditionally been interpreted as graben or semi-graben developed in an extensional post-collisional context that affected the inner part of the Apennines since the late Miocene (Martini & Sagri, 1993; Martini et al., 2001). However, some researchers have speculated that the above-mentioned basins rather developed under a dominant compressional regime (Bonini & Sani, 2002; Sani et al., 2009).

The first important documentation of fossil leaves dates back to the mid-19th century, and were collected in the reference monograph on Italian fossil flora by Gaudin & Strozzi (1858). In addition to many samples of angiosperm and gymnosperm taxa collected by C. Strozzi, there were also other fossils sampled in Pliocene and Pleistocene deposits of the Upper Valdarno, Garfagnana and Mugello by several Italian researchers of the past. All together, these specimens are now part of the beautiful and rich collections hosted at the Museum of Natural History in Florence, as reported by Cioppi (2010). In the early 20th century the first significant Italian palaeocarpological study was carried out by Tongiorgi (1936) on the sediments of the Ghirlanda palaeolacustrine basin (southern Tuscany; probably early Pleistocene), with the description of a new conifer species, *Tsuga chiarugii*. In Tuscany, one of the



na meridionale) che portò alla descrizione di una nuova specie di conifera: *Tsuga chiarugii* Tongiorgi. Sempre in Toscana, ricordiamo, tra le prime indagini palinologiche, quelle condotte sempre da Tongiorgi (1942) nel bacino di Arezzo; qui, in livelli torbosi pleistocenici furono ritrovati granuli pollinici attribuiti a *Picea omorikoides* e *Pinus silvestris*. Nel vicino bacino del Valdarno Superiore i primi, pionieristici contributi palinologici furono realizzati, a partire dal 1970, da Marcucci (1970) e Follieri (1977). E' comunque già a partire dal 1960 che l'approccio palinologico si dimostra indispensabile per la caratterizzazione paleoambientale e

first palynological investigations was carried out by Tongiorgi (1942) in the Arezzo basin, where pollen grains ascribed to *Picea omorikoides* and *Pinus silvestris* were found in Pleistocene peat layers. In the nearby Upper Valdarno basin, pioneering palynological contributions were carried out from 1970 by Marcucci (1970) and Follieri (1977). However the palynological approach proved to be fundamentally important for the palaeoenvironmental and palaeoclimatic characterization of the numerous continental intramontane basins of Tuscany and Umbria, since 1960 (e.g., Lona & Ricciardi, 1961a; Lona & Bertoldi, 1972).

Fig. 11.2.1 Schema strutturale del settore Toscano dell'Appennino settentrionale con localizzazione dei principali bacini (modificato da Martini & Sagri, 1993). Structural sketch-map of the Tuscan sector of the northern Apennines with the location of the main basins (from Bertini et al., 2010a, Martini & Sagri, 1993, mod.).

paleoclimatica dei numerosi bacini continentali intermontani toscani ed umbri (Lona & Ricciardi, 1961a; Lona & Bertoldi, 1972).

Nel Lazio, come riporta Biondi (1988), dopo la pubblicazione di numerosi studi, alla fine del XIX secolo, la ricerca paleobotanica subisce un brusco arresto. A partire dagli anni '50 del secolo scorso si assiste a una netta ripresa e vedono la luce i primi lavori di Maria Follieri. La ricca flora conservata nelle diatomiti di Riano Romano, attribuite al Pleistocene Medio, evidenzia la presenza di *Zelkova* e *Pterocarya*, taxa oggi estinti nella nostra penisola (Follieri, 1958). Nel lavoro sui sedimenti di Canale Mussolini, canale di bonifica della Pianura Pontina (Blanc et al., 1957), fu pubblicata la prima data ¹⁴C effettuata in Italia. L'indagine condotta su un tronco di *Abies* fornì un'età superiore a 55 ka. Sono sempre degli anni '50 del Novecento le analisi di foglie fossili del Pleistocene superiore provenienti dai travertini e limi di Torre in Pietra (Follieri, 1956). Due depositi localizzati lungo la via Flaminia a Roma, in località Cava Bianca (Follieri & Magri, 1961) e in località Paradisi (Follieri, 1963) hanno fornito sia legni sia foglie, fossilizzati in rocce del Complesso Vulcanico Sabatino. I tufi di Cava Bianca, in particolare, datati a più di 450 ka, hanno restituito resti fossili permineralizzati (legni e foglie) di numerosi taxa arborei, fra cui molte conifere estinte in Italia, tra le quali *Amentotaxus*, *Cephalotaxus*, *Keteleeria*, *Taxodium* e *Torreya*, ed altre ancora presenti nella nostra penisola, come ad esempio *Cupressus* e *Taxus*. Questi dati, che indicano la zona di Roma come area di persistenza di molte conifere ora estinte in Europa, alla luce di nuovi dati palinologici, sono stati riesaminati da Follieri (2010) poco prima della sua scomparsa.

In the Latium region, as reported by Biondi (1988), palaeobotanical studies suddenly stopped after the publication of several studies in the late 19th century by Antonelli, Clerici, Lanzi and Meli, until the early works of Maria Follieri, in the 1950s. The rich flora preserved in the Middle Pleistocene diatomites from Riano Romano shows the presence of *Zelkova* and *Pterocarya*, tree taxa that no longer live in the Italian peninsula (Follieri, 1958). In the work concerning the deposits of Canale Mussolini, a drainage canal in the Pontine Plain, the first ¹⁴C date obtained in Italy was published (Blanc et al., 1957). It was performed on wood of *Abies* and provided a radiocarbon age older than 55 ka. During the 1950s the fossil leaves from the upper Pleistocene travertines and silts of Torre in Pietra (Follieri, 1956) were also studied. Two deposits located along the Via Flaminia in Rome, in the sites of Cava Bianca (Follieri & Magri, 1961) and Cava Paradisi (Follieri, 1963) provided both fossil woods and leaves included in volcanic rocks of the Sabatini Volcanic Complex. In particular, the tuffs from Cava Bianca, dating back to more than 450 ka, have yielded permineralized fossil remains (wood and leaves) of many arboreal taxa, including conifers currently extinct in Italy, such as *Amentotaxus*, *Cephalotaxus*, *Keteleeria*, *Taxodium*, and *Torreya*, together with tree taxa still present in our country, such as *Taxus* and *Cupressus*. These data, indicating that in the Roman area there was a long-term persistence of many conifer trees, have been recently reconsidered by Follieri (2010), shortly before her death, in the light of new palynological data.

■ GELASIANO · GELASIAN (2,58–1,80 MA)

A PARTIRE da 2,6 Ma, in Italia centrale, così come in molte altre aree del Mediterraneo (Suc et al., 1995, Bertini, 2010 e riferimenti inclusi) i cicli G/I di 40 ka risultano caratterizzati dalla contrapposizione tra fasi vegetazionali forestali e aperte (spesso di tipo steppico), come testimoniato nel deposito marino di Valle Ricca (Urban et al., 1983; Arias et al., 1990; Florindo & Sagnotti, 1995) e nei bacini continentali del Valdarno Superiore e Tiberino ma non nell'area della Valle del Salto, dove, in depositi continentali databili alla fine del Pliocene o all'inizio del Pleistocene inferiore, è stata registrata un'alternanza vegetazionale fra fasi forestali rispettivamente dominate da angiosperme arboree e conifere (Sadori et al., 2010). Nel Valdarno Superiore, le prime, significative espansioni delle comunità ad erbee, inclusa *Artemisia*, tipiche di ambienti aperti (Bertini, 1994) sono posteriori ad un'importante fase di espansione della foresta di conifere di altitudine registrata intorno a 2,8 Ma (sezione di Santa Barbara; Bertini, 2010, 2013). Nel bacino Tiberino (sezioni Cava Toppetti I, Cava Toppetti II e Fosso Bianco), il cui deposito copre la fase di transizione tra Piacenziano e Gelasio (Pontini, 1997; Pontini & Bertini, 2000; Pontini et al., 2002), la risposta della vegetazione ai cicli G/I è espressa da alternanze tra una foresta di conifere dominata da *Picea* e una foresta mista a latifoglie, più termofila, all'interno della quale abbondanti sono i taxa appartenenti alla famiglia delle "Taxodiaceae" (vedi nota 1 al Capitolo 10). La contrapposizione tra foresta termofila e associazioni di ambienti aperti non è così marcata come registrato in altri siti del Mediterraneo, tra cui l'adiacente bacino del Valdarno Superiore; tuttavia, le fasi a vegetazione aperta sono meglio espresse che nei siti dell'Italia settentrionale (Bertini, 2003, 2010). Dagli stessi depositi oggetto di analisi pali-

IN CENTRAL Italy as well as in many other sites of the Mediterranean area (e.g., Suc et al., 1995; Bertini et al., 2010; Bertini, 2010b and references therein) 40 ka obliquity-forced G/I cycles are evident and generally characterized by the contrast between forest vegetation and steppes, from 2.6 Ma; on the other hand in the Valle del Salto area, an alternation between phases of forest vegetation with woody angiosperms and conifers (Sadori et al., 2010) has been recorded in late Pliocene/early Pleistocene continental deposits. G/I cycles are documented in the Upper Valdarno and Tiberino continental basins as well as at Valle Ricca (Urban et al., 1983; Arias et al., 1990; Florindo & Sagnotti, 1995). In the Upper Valdarno, the first substantial spread of herbs, including a very large abundance of *Artemisia* (Bertini, 2010, 2013), follows a significant increase in the coniferous forest recorded around 2.8 Ma (Santa Barbara section; Bertini, 2010). In the Tiberino pollen record (Cava Toppetti I, Cava Toppetti II and Fosso Bianco sections), within the Piacenzian/Gelasian transition (Pontini, 1997; Pontini & Bertini, 2000; Pontini et al., 2002), the vegetation response to the G/I cycles is shown by the competition between a coniferous forest dominated by *Picea* and a thermophilous forest characterized by deciduous taxa and "Taxodiaceae" (see Note 1 in Chapter 10). Here the contrast between the thermophilous forest and the steppe associations is not so evident as in other sites of the Mediterranean area, including the adjacent Upper Valdarno basin. However, the open vegetation phases are better expressed here than in the northern Italian sites (Bertini, 2003 and 2010). Fruit and seed assemblages have been also described at Cava Toppetti I (Piacenzian) and Cava Toppetti II (Gelasian). The first of these assemblages is particularly similar to another palaeoflora, documented by several hun-



Fig. 11.2.2 Resti paleocarpologici provenienti dalla “Cava Nuova” di Dunarobba (Martinetto, 2001); scala = 1 mm.

Palaeocarpological remains from the “New Quarry” of Dunarobba (Martinetto, 2001); scale bar = 1 mm.

A *Sinomenium cantalense*
B *Magnolia allasoniae*
C *Ampelopsis ludwigii*

nologiche provengono inoltre due associazioni a frutti e semi fossili, rispettivamente attribuite al Piacenziano (Cava Toppetti I) e al Gelasiano (Cava Toppetti II). L’associazione di Cava Toppetti I risulta estremamente simile alla ricca paleoflora, documentata da centinaia di frutti e semi fossili (Fig. 11.2.2), restituita dagli strati della “Cava Nuova” di Dunarobba, di età incerta tra Piacenziano e Gelasiano.

Nel complesso sono stati identificati una sessantina di taxa appartenenti a 36 famiglie di piante vascolari. Tutte le specie fossili identificate alla “Cava Nuova” di Dunarobba, così come nei depositi Cava Toppetti I e Cava Toppetti II, risultano presenti nelle successioni neogeniche dell’Europa transalpina e/o dell’Italia settentrionale. Particolarmente rimarchevole è l’assenza di un contingente di elementi mediterranei o comunque di indicatori di xericità. Molti dei generi riscontrati (Martinetto, 2000, 2001) risultano attualmente confinati alle regioni asiatiche (*Cathaya*, *Cryptomeria*) o al nordamerica (*Cephalanthus*, *Proserpinaca* e *Sequoia*). Queste carpoflore indicano un paleoclima temperato caldo-umido con una netta stagionalità, sebbene la presenza di elementi subtropicali permetta di escludere condizioni di perdurante gelo invernale. Le stesse hanno consentito di ricostruire una temperatura media annua intorno a 13–14 °C e precipitazioni medie annue di 1000–3000 mm. Alcuni strati della “Cava Nuova” di Dunarobba sono coevi con quelli dell’adiacente

dreds of fruits and seeds (Fig. 11.2.2), which was recovered from the strata cropping out in the “Cava Nuova” (New Quarry) of Dunarobba, whose age is uncertain, but placed between the Piacenzian and Gelasian. All these palaeofloral assemblages lack Mediterranean elements or indicators of dryness; instead, many genera are typical Asian (e.g., *Cathaya* and *Cryptomeria*) or North-American elements (*Cephalanthus*, *Proserpinaca* and *Sequoia*). They indicate a warm-temperate and humid palaeoclimate with a mean annual temperature around 13–14 °C and annual rainfall of 1000–3000 mm.

The lateral equivalent of some layers of the New Quarry of Dunarobba yielded the important Dunarobba Fossil Forest (FFD), a residual assemblage deriving from a “Taxodiaceae” - dominated ancient plant community. This is one of the most important geo-palaeontological sites in central Italy (Fig. 11.2.3). Barili et al. (2008) reported that, despite the recent discovery, which occurred in 1980 during the mining of clay for industrial purposes, the presence in the area of plant fossils had already been reported by famous Italian scholars in the course of the 17th century.

The naturalist Federico Cesi (Rome 1585–Acquasparta 1630), founder of the oldest scientific academy in Europe, the Accademia dei Lincei of Rome, described numerous remains of fossilized trees with “middle nature between plants and metal”. Francesco Stelluti, another member of the Accademia dei Lincei, continued his studies in 1637

Foresta Fossile di Dunarobba (FFD; Fig. 11.2.3), che rappresenta il residuo di una paleocomunità forestale palustre, dominata appunto da piante termofile quali “Taxodiaceae”. La FFD costituisce uno dei più importanti siti geo-paleontologici dell’Umbria e dell’intera Italia centrale. Barili et al. (2008) riportano che, nonostante la recente scoperta del sito, avvenuta nel 1980 durante le attività di estrazione dell’argilla per fini industriali, la presenza in zona di resti fossili vegetali era già stata segnalata da famosi studiosi italiani nel corso del 1600. Il naturalista Federico Cesi (Roma 1585–Acquasparta 1630), fondatore della più antica accademia scientifica d’Europa, l’Accademia dei Lincei di Roma, rinvenne in questi terreni numerosi resti di tronchi fossili “di mezza natura fra le piante ed i metallici”. Ad interessarsi di tali campioni fu anche lo studioso fabrianese Francesco Stelluti, altro membro dell’Accademia dei Lincei, che proseguì gli studi del Cesi pubblicando nel 1637 a Roma un importante trattato sui “Legni fossili dell’Umbria meridionale”. Oggi il sito della FFD, tutelato dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici dell’Umbria e dall’Amministrazione Comunale di Avigliano Umbro, rappresenta una “finestra” aperta sui paleoambienti del Pliocene superiore/Pleistocene inferiore del ramo sud-occidentale del bacino Tiberino. Nel sito sono state rinvenute, immerse in depositi argilloso-limosi, le porzioni basali di una trentina di tronchi di conifere, alcuni dei quali caratterizzati da diametri di 0,5–2,5 metri e da un’altezza di 2–8 metri (Fig. 11.2.3). Tali tronchi presentano uno stato di fossilizzazione (mummificazione umida) che ha permesso una perfetta conservazione dei tessuti lignei, essendo stati sepolti e protetti nel corso del tempo da spesse coltri impermeabili di sedimenti argillosi.

I sedimenti che racchiudono la FFD hanno fornito una notevole quantità di “fruttificazioni” fossili (Martinetto, 2000) appartenenti a poche specie

by publishing an important treatise on fossil woods in southern Umbria.

Today the site of the FFD is protected by the Superintendence for Archaeological Heritage of Umbria and the Town Council of Avigliano Umbro. It represents a “window” on the palaeoenvironments of the Pliocene/Pleistocene of the south-western branch of the Tiberino Basin. At the site, surrounded by clay-silt deposits, were found thirty basal portions of large conifer trunks, some of which are characterized by diameters of 0.5–2.5 m and a height of 2.0–8.0 m. These trunks have a state of fossilization (wet mummification), which allowed a perfect preservation of the wood tissues, having been buried and protected over time by a thick cover of waterproof clayey sediments. Rich assemblages of fruits, seeds and related structures have been sieved out from several layers of the FFD. The embedding sediments provided carpological assemblages (Martinetto, 2000, 2001) with a few dominant species (*Alnus* sp., *Carex psecocyperus*, *Cephalanthus pusillus*, *Cladium paleomarisus*, *Glyptostrobus europaeus*, *Schoenoplectus isolepioides*, *Cornus*). These remains had been produced by ancient swamp vegetation, dominated by a taxodia-



Fig. 11.2.3 La Foresta Fossile di Dunarobba ai tempi della sua scoperta (anno 1987, foto di Chiara Benigni).

The Fossil Forest of Dunarobba at the time of its discovery (1987, photo by Chiara Benigni).

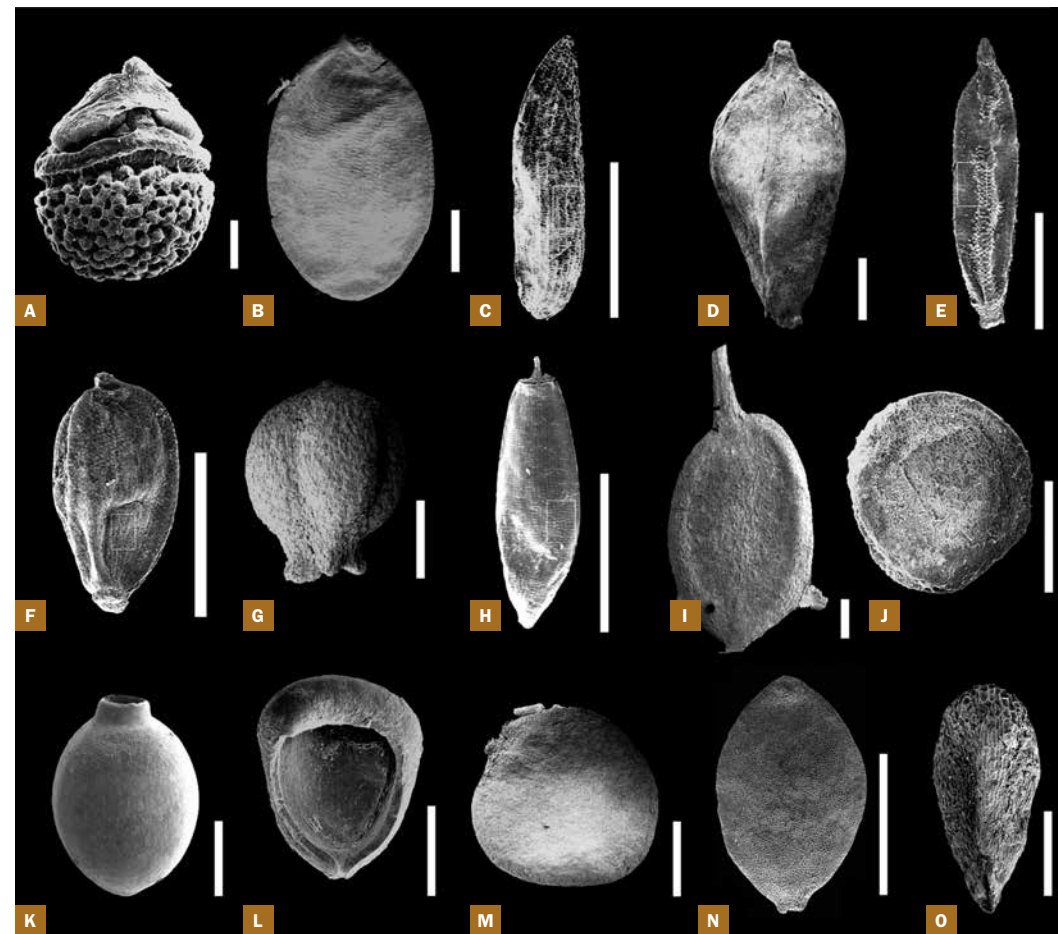
dominanti: *Alnus* sp., *Carex psedocyperus*, *Cephalanthus pusillus*, *Cladium paleomarisicus*, *Glyptostrobos europaeus*, *Schoenoplectus isolepioides*, *Cornus* aff. *amomum*. Le analisi dell'anatomia del legno (Biondi & Brugiapaglia, 1991) hanno dimostrato che la specie arborea dominante nella FFD è una "Taxodiacea", per l'identificazione della quale le indagini paleocarpologiche possono senz'altro essere d'aiuto. Infatti, esse hanno accertato la presenza di semi, conifere e fronde di una sola specie: *Glyptostrobos europaeus*. Tuttavia, per complesse regole di nomenclatura paleobotanica, i ceppi e tronchi *in situ* di Dunarobba non possono essere chiamati con lo stesso nome specifico, pur essendo con ogni probabilità il prodotto degli stessi alberi. Resta il fatto che nel paleoambiente della FFD si possono ricostruire estese foreste palustri (Basilici, 1997) dominate da un'entità estinta il cui parente attuale più prossimo è *Glyptostrobos pensilis*, pianta legnosa ormai molto rara e localizzata in alcune stazioni lungo fiumi, canali o laghi del Vietnam e della Cina meridionale. Tale ecosistema si sviluppava lungo le basse coste paludose di un ampio bacino lacustre. Le caratteristiche della vegetazione degli ambienti ben drenati, adiacenti al settore lacustre-palustre, sono state svelate da reperti paleocarpologici restituiti dai sedimenti sabbiosi della predetta "Cava Nuova" di Dunarobba (vedi sopra). La presenza di molte specie ad affinità subtropicale-umida (*Alangium* sp., *Cyclea palatinati-bavariae*, *Litsea sonntagii*, *Meliosma canavesana*, *Magnolia allasoniae*, *Tetraclinis salicornioides*, *Toddalia latisiliquata* e *Zanthoxylum ailanthiforme*) risulta problematica in relazione a un'ipotetica età pleistocenica della FFD (cioè più recente di 2,6 Ma, fine del Piacenziano), proposta da alcuni autori (e.g. Bizzarri et al., 2011).

Ancora nel bacino Tiberino, un altro sito, ricco di fossili sia di animali sia di vegetali, assegnato alla transizione Gelasiano/Calabriano, è quello di Torre Picchio (Girotti et al., 2003). Qui una ricca associazione a frutti e semi consente di evidenziare un notevole cambiamento della paleoflora, testimoniato dalla sostanziale scomparsa degli elementi subtropicali umidi invece molto comuni nei depositi più antichi di Dunarobba, Cava Toppetti I e Cava Toppetti II. Tuttavia la presenza di semi di essenze "esotiche" quali l'albero dei tulipani (*Liriodendron*) e di frutti di specie erbacee

ceous species whose nearest living relative is the Chinese tree *Glyptostrobos pensilis*. The features of the vegetation in well-drained palaeoenvironments surrounding the swamp area of the "Fossil Forest" have been revealed by water-transported fruit and seed assemblages (Fig. 11.2.2) in the sediments of the neighbouring New Quarry of Dunarobba (see above). The presence of many plants with subtropical affinity (*Alangium* sp., *Cyclea palatinati-bavariae*, *Litsea sonntagii*, *Meliosma canavesana*, *Magnolia allasoniae*, *Tetraclinis salicornioides*, *Toddalia latisiliquata* and *Zanthoxylum ailanthiforme*, see Martinetto, 2000) is problematic in relation to an hypothetical Pleistocene age of the site (i.e. younger than 2.6 Ma, corresponding to the end of the Piacenzian), proposed by some authors (see Bizzarri et al., 2011).

Another site in the Tiber basin, rich in fossils of plants and animals, and assigned to the transition Gelasian/Calabrian, is Torre Picchio (Girotti et al., 2003). The diverse fruit and seed association, characterised by the substantial lack of humid subtropical elements, reflects a palaeoflora which is significantly different from those of the older deposits of Dunarobba, Toppetti Quarry I and Toppetti Quarry II. The palaeoflora around 1.8 Ma was still much unlike the present flora of central Italy, as evidenced by the seed remains of "exotic" trees, such as the tulip tree (*Liriodendron*), and also by the fruits of extinct herbaceous species, such as *Melissa elegans* and *Schoenoplectus* cf. *lacustroides* (Fig. 11.2.4).

The patterns of late-Gelasian vegetation changes in central Italy have been pointed out in the Poggio Rosso alluvial plain sediments (Upper Valdarno), which contain an important mammalian bone accumulation dated at 1.87 Ma (Napoleone et al., 2001). Two major climatic fluctuations were correlated to a glacial/interglacial cycle, which ended just before the Gelasian/Calabrian boundary (Bertini et al., 2010a). Here, climate reconstructions revealed higher temperatures and precipitation levels during the interglacial (close to 1.83 Ma) than today; during the glacial, climatic conditions were on the whole similar to that of today (even if we are living during an interglacial), although a severe drought occurred just above the bone accumulation dated to 1.87 Ma.



- A *Azolla filiculoides*, Torre Picchio
- B *Nymphaea* cf. *borysthena*, Pietrafitta
- C *Najas minor*, Pietrafitta
- D *Schoenoplectus lacustroides*, Torre Picchio
- E *Cyperus* cf. *glomeratoides*, Pietrafitta
- F *Cyperus longus*, Pietrafitta
- G *Cladium mariscus*, Pietrafitta
- H *Typha* cf. *latifolia*, Pietrafitta
- I *Ceratophyllum demersum*, Pietrafitta
- J *Ranunculus sceleratus*, Torre Picchio
- K *Aldrovanda* cf. *zussii*, Pietrafitta
- L *Decodon globosus*, Pietrafitta
- M *Ficus* cf. *carica*, Torre Picchio
- N *Urtica dioica*, Pietrafitta
- O *Melissa elegans*, Torre Picchio

Fig. 11.2.4 Resti paleocarpologici provenienti da due sezioni del Pleistocene inferiore di Pietrafitta (immagini inedite) e Torre Picchio (da Girotti et al., 2003). L'ordine dei taxa fa riferimento a *The Angiosperm Phylogeny Group* (2009). Immagini ottenute con il microscopio elettronico a scansione (SEM). Scala = 0,5 mm, ad eccezione della figura A = 100 µm.

Palaeocarpological remains sampled from a couple of Early Pleistocene deposits of Pietrafitta (unpublished images) and Torre Picchio (from Girotti et al., 2003). Order of taxa according to *The Angiosperm Phylogeny Group* (2009). Scanning electron micrographs (SEM). Scale bar = 0.5 mm, excepted figure A = 100 µm.

estinte, quali *Melissa elegans* e *Schoenoplectus lacustroides* (Fig. 11.2.4) testimonia come la paleoflora, intorno a 1,8 Ma, fosse ancora molto diversa da quella presente attualmente.

A Poggio Rosso, nel Valdarno Superiore, in sedimenti di piana alluvionale che includono un imponente accumulo di ossa di mammiferi, datato a 1,87 Ma (Napoleone et al., 2001), sono state evidenziate due fluttuazioni climatiche correlabili con un ciclo G/I (Bertini et al., 2010) appena precedente la transizione tra Gelasiano e Calabriano (1,8 Ma). Le quantificazioni climatiche suggeriscono, durante l'interglaciale, a 1,83 Ma, valori delle temperature e delle precipitazioni superiori rispetto a quelli attuali mentre per il glaciale i valori ricostruiti sono prossimi a quelli attuali; un'acme di siccità è tuttavia registrata proprio al di sopra dello strato fossilifero datato a 1,87 Ma.

Nel sito paleontologico di Coste San Giacomo un recente lavoro multidisciplinare con dati paleomagnetici, di micro- e macromammiferi, ostracodi e polline, ha permesso di riconoscere un episodio interglaciale di poco più antico di Poggio Rosso, caratterizzato da foreste con una grande quantità di conifere (tipo *Cathaya*, tipo *Taxodium/Glyptostrobus*, *Cedrus*, *Tsuga*) e Juglandaceae (*Carya*, *Pterocarya*) che sono attualmente assenti in Italia (Bellucci et al., in stampa).

E' importante segnalare come la registrazione palinologica a partire dal Gelasiano assuma particolare rilevanza per la possibilità che offre di caratterizzare dal punto di vista paleoambientale e paleoclimatico le prime fasi di migrazione e colonizzazione degli ominidi in Europa (Bertini et al., 2010; Leroy et al., 2011; Manzi et al., 2011).

In the palaeontological site of Coste San Giacomo a recent multidisciplinary work using palaeomagnetic data, small and large mammals, ostracods and pollen analyses, has reconstructed an interglacial phase slightly older than Poggio Rosso, characterized by forests with a large amount of conifers (*Cathaya* type, *Taxodium/Glyptostrobus* type, *Cedrus*, and *Tsuga*) and Juglandaceae (*Carya* and *Pterocarya*) that are currently absent in Italy (Bellucci et al., in press).

Starting from the Gelasian, the palynological record takes on significance for the characterization of the environment and climate at the time of the early migration and colonization phases of hominins in Europe (e.g., Bertini et al., 2010b; Leroy et al., 2011; Manzi et al., 2011).

■ CALABRIANO · CALABRIAN (1.80–0.78 MA)

LA DOCUMENTAZIONE palinologica diventa nel suo complesso più frammentaria per l'intervallo Calabriano. Ciò è ben evidente, nello stesso bacino del Valdarno Superiore, da ca 1,7 Ma, quando gli effetti della tettonica e del clima promuovono processi erosivi e la predominanza di una sedimentazione grossolana. Anche la struttura della vegetazione (compresa quella degli ambienti edafici locali, vedi zone umide) subisce dei cambiamenti. Si osserva una generale, progressiva espansione dei *taxa* della foresta temperata rispetto a quella subtropicale, fenomeno questo già registrato a partire dal Gelasiano; nelle aree di palude arborata, particolarmente sviluppate durante le fasi interglaciali, si assiste alla progressiva decimazione del tipo *Taxodium/Glyptostrobus*. Inoltre le piante erbacee tipiche di ambienti di prateria palustre e/o di ambienti sottomessi alla dinamica fluviale registrano importanti fasi di espansione, generalmente (sebbene non esclusivamente) legate all'insorgere delle fasi glaciali (Bertini, 2013). La progressiva riduzione degli elementi da subtropicali a temperato-caldi si fa via via più evidente nella documentazione raccolta in molteplici siti (Bertini, 2010; Magri & Palombo, 2013). A Madonna della Strada, lungo una corta successione continentale attribuita al MIS 37 o MIS 35 (Magri et al., 2010), il polline di *Tsuga* diminuisce verso l'alto, in concomitanza con un aumento di *Carya*. Anche a Fontana Ranuccio (FR), in una fase forestale della fine del Calabriano (MIS 21), *Tsuga* è presente in modeste quantità, apparendo oramai in via di estinzione (Corrado & Magri, 2011). Nel bacino di Colfiorito *Tsuga* mostra ripetuti picchi di abbondanza tra 1,07 e 0,78 Ma a Colle Curti prima del suo declino finale documentato nella limitrofa sezione di Cesi (Bertini, 2000).

Tra i depositi con resti carpologici riferibili al Calabriano ricordiamo quelli di Villa San Faustino

DURING THE CALABRIAN the palynological documentation of the successive G/I cycles becomes more and more discontinuous. This is very evident in the Upper Valdarno for the interval after 1.7 Ma when the effects of tectonics and climate (including the associated interactions) promoted successive erosional processes and the predominance of coarse sediments. However, changes in the structure of swamps, notably with the large reduction of subtropical taxa, witnessed by the decrease of the *Taxodium/Glyptostrobus* pollen-type, and the progressive expansion of warm temperate forest taxa, which had already started in the Gelasian, becomes more and more evident. At the same time, marshes, with plants resisting in dynamic environments related to river action, spread. The progressive reduction of subtropical to warm-temperate taxa is apparently recorded at many sites (Bertini, 2010; Magri & Palombo, 2013). At Madonna della Strada, a short continental section tentatively correlated with either MIS 37 or 35 (Magri et al., 2010), *Tsuga* steadily decreases with a simultaneous increase in *Carya*. At Colle Curti, *Tsuga* shows repeated peaks of abundance between the Jaramillo (i.e. between 1.07 and 0.99 Ma) and the onset of Brunhes (0.78 Ma) before its final decline (see at Cesi) during the Brunhes (Bertini, 2000). At Fontana Ranuccio, near Frosinone, *Tsuga* is found during MIS 21 in very low percentages, indicating that the important early Pleistocene expansion of this taxon was already over (Corrado & Magri, 2011).

Among the deposits with carpological remains attributable to the Calabrian we point out those of Villa San Faustino and Pietrafitta (Martinetto in Ambrosetti & Cerquaglia, 1996). The palaeofloral association of Villa San Faustino is significant from the palaeoclimatic point of view because the relative abundance of leaves and other macroremains of *Abies* and *Picea*, a definite clue to a local occur-



Fig. 11.2.5 Frutti fossili di *Trapa* del sito pleistoceno inferiore di Pietrafitta.

Fossil fruits of *Trapa* from the Early Pleistocene site of Pietrafitta.

e Pietrafitta (Martinetto in Ambrosetti & Cerquaglia, 1996). L'associazione paleofloristica di Villa San Faustino è significativa dal punto di vista paleoclimatico poiché, in base alla relativa abbondanza di foglie e altri resti di *Abies* e *Picea*, indica un clima temperato più fresco rispetto alle paleoflore di Cava Toppetti e Dunarobba. Il fatto che siano presenti anche *Carpinus*, *Ostrya*, *Quercus* e *Thymelaea* permette di escludere un clima temperato freddo. Nel giacimento di lignite di Pietrafitta (ca 1,4 Ma) l'analisi dei frutti e semi (Fig. 11.2.4) ha fornito interessanti informazioni sulle paleocomunità a macrofite d'acqua dolce che popolavano un antico lago del Pleistocene inferiore. Allo stato dell'arte, sono state individuate 23 specie e 15 di loro rappresentano piante che ancor oggi crescono in Italia, come ad esempio la castagna d'acqua (*Trapa* cf. *natans*, Fig. 11.2.5).

Altre 8 specie, appartenenti ai generi *Aldrovanda*, *Azolla*, *Cyperus*, *Decodon*, *Euryale*, *Hypericum*, *Nymphaea* e *Potamogeton*, possono rappresentare piante estinte. Alcune di queste specie erano state precedentemente segnalate solo in Europa orientale. Ad esempio, i semi perfettamente conservati di *Aldrovanda* (Fig. 11.2.4), un genere di piante acquatiche con solo una specie vivente (che ora è fortemente minacciata d'estinzione in Italia), condividono tutti i caratteri diagnostici con *Aldrovanda zussii*, una specie estinta i cui semi sono stati trovati in un unico sito del Pleistocene della Bielorussia.

rence of these conifers, indicates a cooler climate with respect to the older palaeofloras of Cava Toppetti and Dunarobba. However, the presence of *Carpinus*, *Ostrya*, *Quercus* and *Thymelaea* excludes a cool temperate climate. In the brown coal deposits of Pietrafitta, the analysis of bulk sediment samples from 2 particular strata evidenced fossil fruit and seed assemblages which indicate consistently diverse palaeocommunities of freshwater macrophytes in the early Pleistocene lake. The precise determination allowed by the morphological characterisation of fruits and seeds (Fig. 11.2.4) provided new data on the lacustrine palaeoflora. To date, 23 species have been identified, and 15 of them represent plants still growing in Italy at the present day, such as *Trapa* cf. *natans* (Fig. 11.2.5). The eight other species, belonging to the genera *Aldrovanda*, *Azolla*, *Cyperus*, *Decodon*, *Euryale*, *Hypericum*, *Nymphaea* and *Potamogeton*, are believed to represent extinct plants, and two of them belong to genera (*Azolla*, *Decodon*) which are absent in the European native flora of the Holocene, even if their fossil remains are reported in Middle Pleistocene interglacial sediments of Europe. A few of these species were formerly known only from localities in Eastern Europe. For example, the perfectly preserved seeds of *Aldrovanda*, an aquatic genus with only one living species (which is now highly endangered in Italy), share all of the diagnostic characters with *Aldrovanda zussii*, an extinct species whose seeds were found in a single Pleistocene locality of Belarus.

■ IL PLEISTOCENE MEDIO E SUPERIORE MIDDLE-LATE PLEISTOCENE (0.78–0.011 MA)

DURANTE i cicli G/I più recenti, steppe ad *Artemisia* e *Chenopodiaceae* (ora incluse nelle *Amaranthaceae*), più *Ephedra* e praterie a graminacee si alternano a foreste decidue e temperato-calde. Il calo generalizzato della temperatura in entrambe le fasi sia forestate sia steppiche è suggerito anche dai cambiamenti nelle associazioni floristiche progressivamente impoverite dei taxa arborei relativamente più termofili. Tali scomparse avvengono in tempi diversi nella penisola italiana secondo un gradiente climatico.

A Cesi, *Tsuga* scompare nel corso dell'inizio del Pleistocene Medio dopo i picchi di abbondanza durante la parte terminale del Calabriano, come già ricordato sopra (Bertini, 2000). Nello stesso intervallo risultano assenti sia *Carya* (già sporadica nella sottostante sezione di Colle Curti) che *Pterocarya*. Bertini (2000) correla la scomparsa di *Tsuga* all'incremento nell'aridità globale e alla progressiva diminuzione della temperatura associate al passaggio delle periodicità dei cicli glaciali/interglaciali da 40 a 100 ka (Bertini, 2000). Ravazzi et al. (2005), invece, mettono in relazione il declino di *Tsuga* (a Fornaci di Ranica) con i catastrofici incendi innescati da fenomeni di siccità estiva. Tuttavia, entrambe le ipotesi confermano gli effetti globali della transizione climatica, a ca. 0,9 Ma, associata a un forte incremento dell'aridità (Ruddiman et al., 1989; Raymo et al., 2004).

Dati macrofloristici testimoniano la persistenza di alcuni taxa non più documentati nei record pollinici. Tra questi ricordiamo l'ultima comparsa di *Carya* testimoniata da legni mineralizzati datati a circa 530 ka rinvenuti a Carsoli (Sadori et al., 2010). Risulta inoltre singolare, a proposito di quanto evidenziato nei depositi dell'Italia settentrionale e centrale, la presenza di legno di *Taxodium* a Roma, in tufi dei Monti Sabatini datati 450 ka (Follieri & Magri, 1961; Follieri, 2010).

L'ultima cospicua diffusione di *Pterocarya*, documentata sia da polline che da macrofossili (foglie e frutti), è registrata nella diatomite di Riano sovrastante il Tufo rosso a scorie nere datato intorno a 450 ka (Follieri, 1958, 1962). Il deposito ha restituito una ricchissima flora che testimonia la presenza di una foresta temperata con molti elementi tipici della attuale flora laziale, insieme a *Pterocarya* e *Zelkova*, ora scomparse (Fig. 11.2.6).

DURING the younger G/I cycles, steppes and grasslands with *Artemisia* and chenopods (plus *Ephedra*) alternate with temperate to warm-temperate deciduous forests. A generalized drop in temperature in both steppe and forest phases is indicated by changes in the floristic assemblages. The progressive decline of the most thermophilous arboreal taxa is recorded in the Italian peninsula, in accordance with climate gradients. At Cesi, *Tsuga*, after peaking in abundance in the upper part of the Calabrian (1.0–0.8 Ma at Colle Curti), finally declined during the beginning of the Middle Pleistocene (Bertini, 2000). Here, both *Carya* and *Pterocarya* are absent. Bertini (2000) related the disappearance of *Tsuga* to the shift in global aridity as well as to the progressive decrease in temperature associated to the Middle Pleistocene shift from the 41 to 100 ka cyclicity in the Milankovitch orbital record (Bertini, 2000). Ravazzi et al. (2005), on the other hand, related the *Tsuga* decline (at Fornaci di Ranica) to catastrophic fires triggered by summer drought. In any case, both hypotheses confirm the global trend towards aridity of the Middle Pleistocene climate transition at ca. 0.9 Ma (Ruddiman et al., 1989; Raymo et al., 2004).

Macrofloristic data testify to the persistence of some taxa no longer documented in the pollen record. Among these the last appearance of *Carya* is witnessed by mineralized woods dated to around 530 ka at Carsoli (Sadori et al., 2010). Also the presence of wood of *Taxodium* in Rome, in the Monti Sabatini tuffs dated 450 ka (Follieri & Magri, 1961; Follieri, 2010) represents the single known record in the deposits of northern and central Italy.

The last significant spread of *Pterocarya*, documented by both pollen and macrofossils (leaves and fruits), is recorded in a diatomite from Riano, overlying the so-called 'Tufo rosso a scorie nere', a pyroclastic layer dated to around 450 ka (Follieri, 1958, 1962a). The deposit has yielded a rich flora, which testifies to the presence of a temperate forest with many elements typical of the modern flora of Latium, along with *Pterocarya* and *Zelkova*, now absent from the Italian peninsula (Fig. 11.2.6).

The palynological record, implemented when possible by the analysis of plant macroremains, shows, as we have seen in previous sections, that the Pleistocene flora and vegetation are different

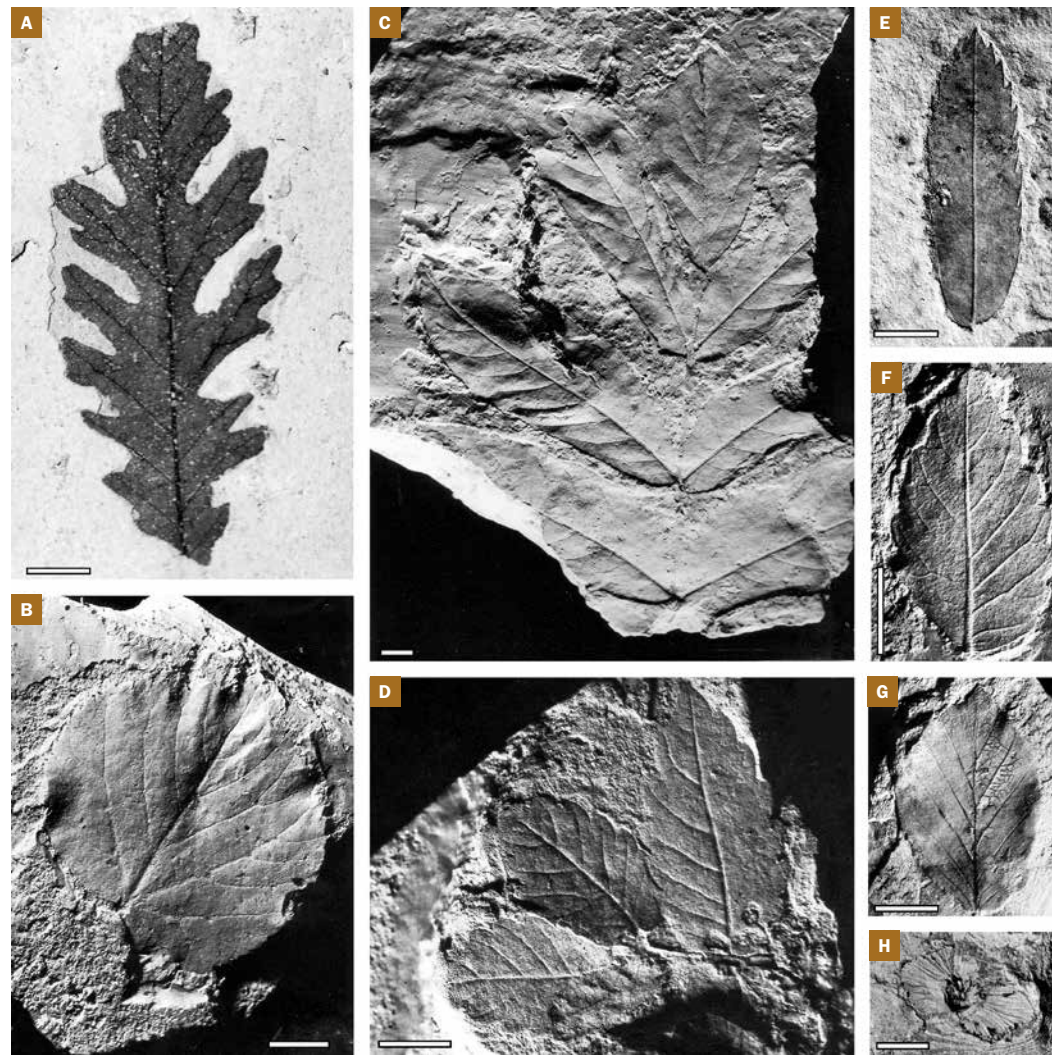


Fig. 11.2.6 Impronte di foglie e di un frutto rinvenute nel sito di Riano (Follieri, 1958); scala = 1 cm.

Impressions of leaves, and a fruit from Riano (Follieri, 1958); scale bar = 1 cm.

- A *Quercus cerris*
- B *Tilia cordata*
- C *Pterocarya caucasica*
- D *Zelkova crenata*
- E *Sorbus domestica*
- F *Zelkova crenata*
- G *Fagus sylvatica*
- H *Pterocarya caucasica*

La registrazione palinologica, integrata quando possibile dall'analisi dei diversi macroresti vegetali, evidenzia, come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, quanto flora e vegetazione pleistoceniche siano diverse da quelle presenti attualmente. Un complesso melange di taxa aventi oggi una distribuzione geografica separata domina infatti le associazioni palinologiche. Mentre nel Pleistocene inferiore il gradiente latitudinale sembra avere l'effetto predominante sulla scomparsa delle scomparse da nord verso sud, a partire dal Pleistocene Medio, quando i taxa più termofili sono nel complesso già fortemente ridotti ed in disequilibrio con le condizioni climatiche, altri fattori più locali (come umidità del suolo, altitudine, esposizione) sembrano avere un'influenza maggiore nel determinare la presenza di questi taxa nelle associazioni.

Tali eventi di scomparsa possono, perciò, essere correttamente utilizzati, solo se inseriti all'interno di un quadro cronostratigrafico di riferimento, al fine di evitare rischiose e talvolta erronee correlazioni (e.g. Limite Tiberiano: Bertini, 2003, 2010). La necessità di integrazione del record palinologico con altri strumenti stratigrafici è ribadita dai casi, non rari, di discontinuità della documentazione, così come dalla variabilità della vegetazione locale.

Tuttavia, sono disponibili lunghi record pollinici interpretabili con certezza dal punto di vista cronologico: quello del deposito lacustre di Valle di Castiglione (Roma) copre gli ultimi 300 ka e, come indicato tramite la sincronizzazione con altre lunghe sequenze europee e con la stratigrafia isotopica marina, registra gli eventi continentali dalla fine del MIS 9 al presente (Follieri et al., 1988; Tzedakis et al., 1997, 2001). Le variazioni vegetazionali sono ritmate principalmente dall'alternanza di cicli glaciali/interglaciali. Le fasi stepiche, caratterizzate da notevoli espansioni di *Artemisia*, graminacee e chenopodiacee si alternano a fasi forestali caratterizzate da espansioni arboree di taxa montani, mesofili e termofili. Le espansioni forestali corrispondenti al MIS 7 sono caratterizzate principalmente da *Carpinus betulus* e *Fagus*. L'interglaciale Eemiano, corrispondente al MIS 5e della stratigrafia marina è caratterizzato dapprima dall'espansione di *Quercus* (forme cadu-

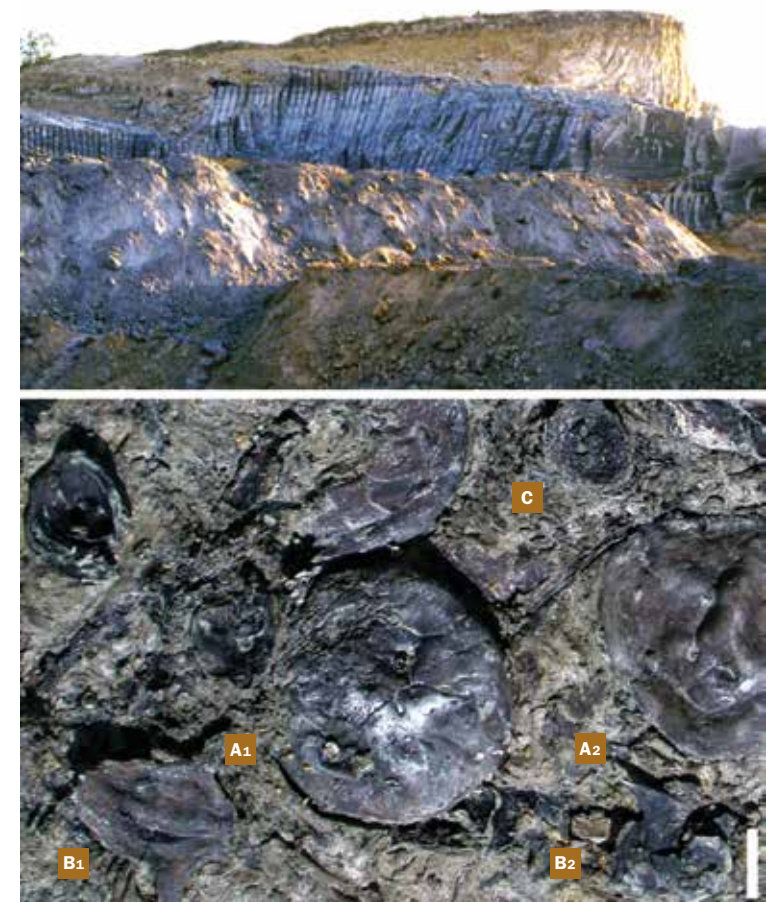


Fig. 11.2.7 Affioramento di Cava Campitello presso Bucine (AR). In basso, macroresti vegetali che caratterizzano lo strato organico; si nota una superficie di sedimentazione con galle (A1, A2), frutti di *Trapa* (B1, B2) e cupule di *Quercus* (C). Lunghezza scala di riferimento: 1 cm.

Outcrop of the Campitello Quarry near Bucine (Arezzo province). Macroremains characterizing the plant-bearing layer. Bottom image: sediment surface in which galls (A1, A2), *Trapa* fruits (B1, B2) and *Quercus* cupules (C) can be observed. Scale bar = 1 cm.

from those of the present time: a complex melange of taxa having today a separate geographical distribution dominates, in fact, the palynological associations. In the Early Pleistocene the latitudinal gradient appears to have the predominant effect on the disappearance schedule from north to south; conversely, since the Middle Pleistocene, when the thermophilous taxa are generally already greatly reduced and in disequilibrium with climate conditions, other local factors (soil moisture, altitude, exposure, etc.) seem to have a greater influence in determining the presence/absence of these taxa within pollen assemblages. In this context, disappearance events may be used appropriately only when inserted within a definite chronostratigraphic framework, in order to avoid hazardous and sometimes erroneous correlations (see for example the "Limite Tiberiano"; Bertini, 2003, 2010). The need for integration of the palynological record with other stratigraphic tools is also confirmed by the frequent discontinuity of the pollen records, as well as by the variability of the local vegetation. However, long pollen records with a definite chronological framing are well-known: the lacustrine deposit of Valle di Castiglione (Rome) spans the last

cifoglie) e poi dall'instaurarsi di una vegetazione termofila dominata da *Quercus* tipo *ilex*, *Olea* e *Zelkova*. Le fasi forestali denominate St. Germain I e II, corrispondenti al MIS 5c e 5a sono caratterizzate da notevoli espansioni di *Fagus* e *Abies*, registrate anche in altri luoghi del Lazio. Alla lunga sequenza di Valle di Castiglione si affiancano i dati di Lagaccione per gli ultimi 100 ka (Magri, 1999), del Lago di Vico per gli ultimi 90 ka (Magri & Sadori, 1999) e di Stracciaccapa (Giardini, 2007) per gli ultimi 60 ka. Le quattro sequenze provengono da laghi vulcanici del Lazio e sono state correlate sulla base della stratigrafia pollinica e delle datazioni al radiocarbonio (Follieri et al., 1998). Durante l'ultimo pleniglaciale una serie di piccole espansioni di piante arboree, che interrompono la monotonia delle steppe e praterie glaciali, possono essere correlate con i cosiddetti cicli di Dansgaard-Oeschger (Fletcher et al., 2010).

Considerando le estinzioni dei taxa arborei, polline di *Pterocarya* viene rinvenuto fino al MIS 7 a Valle di Castiglione, mentre l'ultima presenza di *Zelkova* è registrata nel Lazio circa 33 ka (Follieri et al., 1986, 1998).

Abbondanti resti carpologici (Vassio et al., 2008; Vassio, 2012) sono stati rinvenuti in depositi fluviali del bacino del Valdarno Superiore (Fig. 11.2.7), la cui attribuzione cronologica all'interno del Pleistocene è ancora controversa (vedi Bertini, 2013).

Nel sito di Cava Campitello (Bucine) sono state rinvenute numerose galle fossili di dimensioni centimetriche (probabilmente indotte su querce da cinipidi galligeni), associate a frutti di *Trapa* e cupole di *Quercus* (Fig. 11.2.7). Tra i taxa identificati si segnala la presenza di alcuni elementi termofili (*Quercus robur*, *Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Sambucus nigra*, *Nymphaea alba* e *Trapa natans*; Fig. 11.2.8) e di altri la cui distribuzione attuale è limitata all'Europa dell'Est (*Corispermum* cf. *canescens*, *Crataegus melanocarpa*), nonché di una specie estinta (*Najas lithuanica*).

L'integrazione dei dati carpologici con quelli provenienti da indagini palinologiche (Bertini, dati inediti) ha restituito una immagine molto dettagliata della paleovegetazione, permettendo di caratterizzarne il paleoambiente e il paleoclima: acque dolci lentiche circondate da boschi domina-

300 ka, as indicated by the correlation with other European long sequences and with isotopic marine stratigraphy, and records the vegetation history from the end of MIS 9 up to present (Follieri et al., 1988; Tzedakis et al., 1997, 2001). Changes in vegetation are primarily induced by the alternation of G/I cycles. The steppe phases, characterized by significant expansions of *Artemisia*, grasses and chenopods alternate with forest phases characterized by mountain, mesophilous and thermophilous arboreal taxa. The forest expansions corresponding to MIS 7 are mainly characterized by *Carpinus betulus* and *Fagus*. The Eemian interglacial, corresponding to MIS 5e of the marine stratigraphy is characterized first by an expansion of deciduous *Quercus* and then by the onset of a thermophilous vegetation dominated by *Quercus ilex* type, *Olea* and *Zelkova*. The forest phases named St. Germain I and II, corresponding to MIS 5c and 5a, respectively, record important expansions of *Fagus* and *Abies*, similar to other sites in Latium. The long pollen record of Valle di Castiglione is complemented by the data from Lagaccione for the last 100 ka (Magri, 1999), Lago di Vico for the last 90 ka (Magri & Sadori, 1999), and Stracciaccapa for the last 60 ka (Giardini, 2007). These four sequences from volcanic lakes in Latium have been correlated to each other on the basis of their pollen stratigraphy and radiocarbon dates. Several small expansions of woody plants breaking the monotony of the glacial steppes and grasslands have been related to the Dansgaard-Oeschger cycles (Fletcher et al., 2010). As to the extinction of arboreal pollen taxa, *Pterocarya* is found until MIS 7 at Valle di Castiglione, while the last presence of *Zelkova* in Latium is registered at about 33 ka (Follieri et al., 1986, 1998).

Rich palaeocarpological assemblages were found from two fluvial deposits of the Upper Valdarno basin (Vassio et al., 2008; Vassio, 2012), whose chronological attribution throughout the Pleistocene is still under discussion (Bertini, 2013). In the Campitello Quarry site (near Bucine) abundant fossil galls (probably induced on oaks by gall wasps, i.e. cynipids) were found associated with *Trapa* fruits and *Quercus* cupules (Fig. 11.2.7). Among the detected taxa, the presence of some thermophilous elements can be highlighted (e.g., *Quercus robur*, *Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Sambucus nigra*, *Nymphaea alba* and *Trapa natans*; Fig. 11.2.8),



Resti carpologici / Carpological remains:

- A *Picea abies*, BUT
- B *Quercus robur*, BCN
- C *Corylus avellana*, BUT
- D *Carpinus betulus*, BUT
- E *Acer campestre*, BCN
- F *Arctium lappa*, BCN
- G *Butomus umbellatus*, BCN
- H *Sparganium emersum*, BUT
- I *Nuphar lutea*, BUT
- J *Nymphaea alba*, BCN
- K *Chenopodium* cf. *polyspermum*, BCN

Polline / Pollen:

- L *Pinus*, BCN
- M *Quercus*, BCN
- N *Corylus*, BUT
- O1-O2 *Carpinus* spp., BUT
- P *Acer*, BUT
- Q *Asteraceae*, BCN
- R *Butomus*, BCN
- S *Sparganium*, BCN
- T *Nuphar*, BCN
- U *Nymphaea*, BCN
- V *Amaranthaceae*, BUT

Fig. 11.2.8 Confronto di resti paleocarpologici e granuli pollinici fossili, determinati a livelli tassonomici differenti ma molto probabilmente riconducibili alle stesse entità vegetali, provenienti da due sezioni del Pleistocene superiore localizzate nel bacino del Valdarno Superiore (modificato da Vassio et al., 2008; Vassio, 2012). BCN = Cava Campitello di Bucine; BUT = Cava Butteri di Ortali. Fotografie al microscopio ottico. Scala figure A-C = 5 mm, D-K = 1 mm, L = 0,5 mm, N-V = 10 µm.

Comparison between palaeocarpological remains and fossil pollen grains, identified at different taxonomical levels, but most likely produced by the same plant taxa, sampled from a couple of late Pleistocene deposits of Upper Valdarno Basin (mod. after Vassio et al., 2008; Vassio, 2012). BCN = quarry Campitello of Bucine; BUT = Butteri quarry of Ortali. Optical microscope photos. Scale bar for figs. A-C = 5 mm, D-K = 1 mm, L = 0,5 mm, N-V = 10 µm.

ti da querce e con una grande diversità di specie erbacee, sviluppatasi in un periodo relativamente caldo. Le associazioni paleocarpologica e palinologica (Fig. 11.2.8) di cava Butteri (Ortali), provenienti da una lente di sabbie medio-fini, all'interno delle ghiaie fluviali dei Ciottolami di Laterina (Bruni & Cecchi, 2010), suggeriscono la presenza di una vegetazione densa dominata dal carpino, in associazione con *Acer campestre*, *Quercus cf. robur*, *Abies cf. alba*, *Corylus avellana* e *Cornus sanguinea* (Fig. 11.2.8). La composizione floristica fornisce una fotografia di una comunità vegetale sviluppatasi probabilmente in uno stadio finale di un periodo interglaciale, il quale, per l'abbondanza di *Carpinus*, può essere attribuito al MIS 7 o al tardo Eemiano (Vassio et al., 2008; Vassio, 2012).

Da segnalare, infine, la presenza sia di polline (Fig. 11.2.9) che di macroresti vegetali in depositi carbonatici terrestri toscani, a Serre di Rapolano (travertini) e Bagnoli (calcareous tufa). In Fig. 11.2.10 è visibile la modalità di inglobamento di resti vegetali in un ambiente di deposizione carbonatica in Toscana.

La ricostruzione dei principali cambiamenti vegetazionali e climatici durante il Pleistocene superiore, associati alle ultime fasi glaciali/interglaciali, a partire da ca. 130 ka, incluso l'Eemiano

some others limited nowadays to Eastern Europe (*Corispermum cf. canescens*, *Crataegus melanocarpa*) and an extinct species (*Najas lithuanica*). The integration of carpological and palynological (Bertini, unpublished data) studies on the Campitello Quarry section (Fig. 11.2.8) provided a detailed picture of the palaeovegetation and allowed reconstruction of a lentic freshwater palaeoenvironment, surrounded by oak-dominated forests with abundant herbs, during a relatively warm palaeoclimatic period.

Carpological and palynological assemblages were also sampled in another outcrop, the Butteri Quarry, from a fine-middle sand lens within the fluvial gravels (Bruni & Cecchi, 2010), which was found to be very rich in mesic elements. These suggested the presence of a dense forest dominated by hornbeam in association with *Acer campestre*, *Quercus cf. robur*, *Abies cf. alba*, *Corylus avellana* and *Cornus sanguinea* in the understory (Fig. 11.2.8). The picture is that of a plant community probably developed during the final phase of an interglacial period, which can be placed possibly within the MIS 7 or in the late Eemian (Vassio et al., 2008; Vassio, 2012) due to the abundance of *Carpinus*.

The presence of both pollen (Fig. 11.2.9) and plant macroremains is finally worth mentioning in the Tuscan terrestrial carbonate deposits at Serre



Fig. 11.2.10 Piante ed alghe verdi incrostate in una piccola pozza termale di Bagno Vignoni. (Siena, Italia; foto di E. Capezzuoli). Encrusted plants and green algae in a small thermal pool at Bagno Vignoni (Siena - Italy) (courtesy by E. Capezzuoli).

(Ricci, 2011, Bertini et al., 2014), è stata possibile grazie all'analisi pollinica. Nonostante il significativo numero di campioni sterili e la frequente bassa concentrazione in palinomorfi, il polline, quando presente, è ben conservato nelle diverse facies sedimentarie carbonatiche.

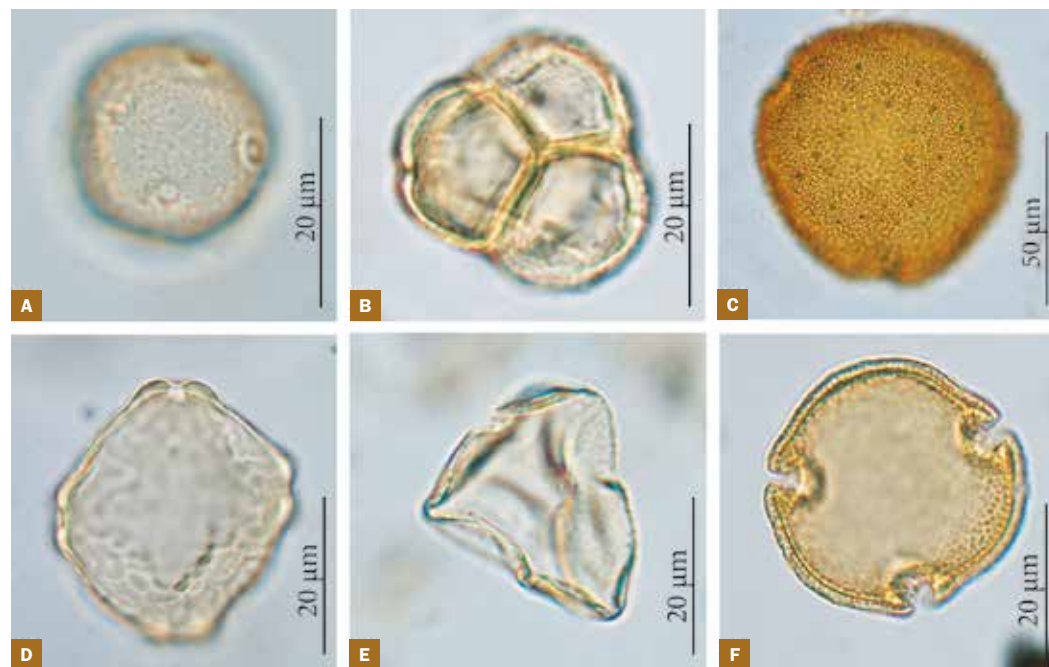
L'individuazione di diverse componenti polliniche (ad esempio da locale a extra-regionale; di trasporto tramite l'acqua o l'aria; Fig. 11.2.11) ha consentito di interpretare i cambiamenti nelle associazioni polliniche in termini sia paleoambientali che paleoclimatici e quindi di effettuare confronti e correlazioni con i principali depositi sedimentari coevi, elencati in precedenza.

La riduzione della concentrazione pollinica osservata passando da travertini ad alto a basso grado termico evidenzia come temperature più elevate e associati maggiori tassi di accumulo carbonatico siano dei fattori limitanti per l'accumulo di polline. Da ciò consegue che i calcareous tufa sono senz'altro, tra i depositi carbonatici terrestri, quelli migliori per le ricostruzioni paleoclimatiche attraverso la registrazione pollinica (Bertini et al., 2014).

Rapolano (travertines) and Bagnoli (calcareous tufas). In Figure 11.2.10 the precipitation of carbonates on plant remains is visible within a thermal pool from central Italy. The reconstruction of the main vegetational and climatic changes during the latest Pleistocene, associated with the glacial/interglacial phases (Ricci, 2011, Bertini et al., 2014), was possible since ca 130 ka, including the Eemian. Despite the significant number of barren samples and the generally low pollen concentrations, well preserved pollen were recovered in the different sedimentary carbonate facies (Fig. 11.2.9). Distinct pollen inputs and components (e.g., local to extra-regional, water-borne and air-borne) are present in the different lithofacies (Fig. 11.2.11); changes in pollen assemblages are therefore coherent with both palaeoenvironmental and palaeoclimatic changes, thus permitting comparison to other sedimentary records (see above). The reduction in pollen concentration from low to higher thermal travertine provides evidence that higher temperatures and associated quicker processes of carbonate deposition are the limiting factors for pollen accumulation; accordingly, the best type of terrestrial carbonate deposit for palaeoclimatic reconstruction using pollen is calcareous tufa, followed by low thermal travertine and finally by high thermal travertine (Bertini et al., 2014).

Fig. 11.2.9 Foto al microscopio ottico di granuli pollinici estratti dai depositi continentali carbonatici dell'Italia centrale.

Light micrographs of pollen grains from the terrestrial carbonates of central Italy.



A *Plantago*, Bagnoli
B Ericaceae, Bagnoli
C *Knautia*, Bagnoli
D *Zelkova*, Oliviera quarry
E Cyperaceae, Oliviera quarry
F *Tilia*, Oliviera quarry (from Bertini et al., 2014)

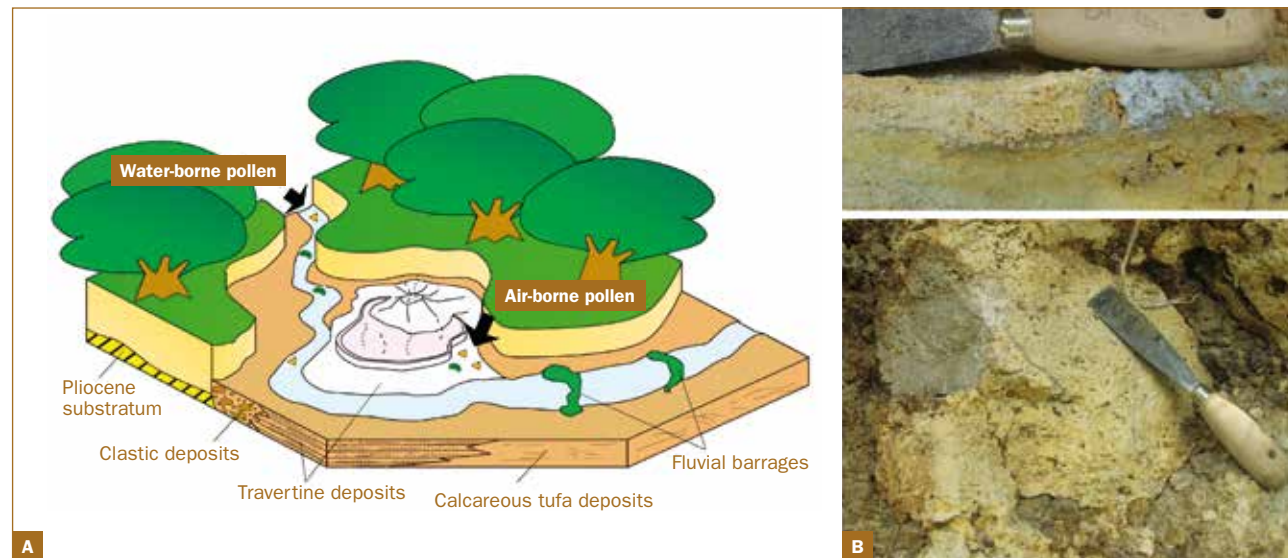


Fig. 11.2.11 Depositi carbonatici terrestri in Italia centrale (Tuscany).

Terrestrial carbonate deposits in central Italy (Tuscany).

- A** Ricostruzione paleoambientale dell'area di emergenza della sorgente di Bagnoli (modificato da Capezzuoli et al., 2008). Le frecce indicano i potenziali meccanismi di trasporto del polline.
Palaeoenvironmental reconstruction of the Bagnoli spring emergence area (mod. after Capezzuoli et al., 2008) where arrows indicate the potential mechanisms of pollen transport.
- B** Calcareous tufas fitoermali/fitoclastici di Bagnoli (da Bertini et al., 2014).
Picture of the phytohermal/phytoclastic calcareous tufa of Bagnoli (from Bertini et al., 2013).

Collezioni: Le principali collezioni di piante fossili del Pleistocene dell'Italia centrale si trovano oggi custodite presso le seguenti sedi: MSNFP, MSNP (resti carpologici della Toscana).

Collections: The main collections of Pleistocene fossil plants from central Italy are currently kept by the following institutions: MSNFP, MSNP (carpological remains from Tuscany).

Bibliografia References

- A.A.V.V., 1993. Guide geologiche regionali: il Lazio. Società Geologica Italiana (Ed.), BE-MA Editrice.
- AMBROSETTI, P., Cerquaglia, Z., 1996. La Foresta Fossile di Duna-robba. Ediart, Todi.
- ARIAS, C., Bigazzi, G., Bonadonna, F.P., Iaccarino, S., Urban, B., Dal Molin, M., Dal Monte, L., Marzolini, M., 1990. Valle Ricca late Neogene stratigraphy (Lazio region, central Italy). *Paléobiologie Continentale* 17, 61–68.
- BARILI, A., Basilici, G., Cerquaglia, Z., Vergoni, S., 2008. Foresta Fossile di Duna-robba. Ediart Editrice, Todi.
- BASILICI, G., 1997. Sedimentary facies in an extensional and deep lacustrine depositional system: the Pliocene Tiberino Basin, Central Italy. *Sedimentology* 109, 73–79.
- BELLUCCI, L., Bona, F., Corrado, P., Magri, D., Mazzini, I., Parenti, F., Scardia, G., Sardella, R., in press. Evidence of late Gelasian dispersal of African fauna at Coste San Giacomo (Anagni Basin, central Italy): Early Pleistocene environments and the background of early human occupation in Europe. *Quaternary Science Reviews*.
- BERTINI, A., 1994. Palynological investigations on Upper Neogene and Lower Pleistocene sections in central and northern Italy. *Memorie Società Geologica Italiana* 48, 431–443.
- BERTINI, A., 2000. Pollen record from Colle Curti and Cesi: Early and Middle Pleistocene mammal sites in the Umbro-Marchean Apennine mountains (central Italy). *Journal of Quaternary Science* 15(8), 825–840.
- BERTINI, A., 2003. Early to Middle Pleistocene changes of the Italian flora and vegetation in the light of a chronostratigraphic framework. *Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences)* 16 (1bis), 19–36.
- BERTINI, A., 2010. Pliocene to Pleistocene palynoflora and vegetation in Italy: state of the art. *Quaternary International* 225(1), 5–24.
- BERTINI, A., 2013. Climate and vegetation in the Upper Valdarno basin (central Italy) as a response to Northern Hemisphere insolation forcing and regional tectonics in the late Pliocene-early Pleistocene. *Italian Journal of Geosciences (Bollettino Società Geologica Italiana)* 132(1), 137–148.
- BERTINI, A., Ciaranfi, N., Marino, M., Palombo, M.R., 2010. Proposal for Pliocene and Pleistocene land-sea correlation in the Italian area. *Quaternary International* 219, 95–108.
- BERTINI, A., Minissale, A., Ricci, M., 2014. Palynological approach in upper Quaternary terrestrial carbonates of central Italy: Anything but a 'mission impossible'. *Sedimentology* 61, 200–220.
- BIONDI, E., 1988. Un secolo di Paleobotanica in Italia. In: Pedrotti, F. (Ed.), 100 anni di ricerche botaniche in Italia. Società Botanica Italiana, pp. 837–860, Firenze.
- BIONDI, E., Brugiapaglia, E., 1991. *Taxodioxylon gypsaceum* in the fossil forest of Duna-robba (Umbria, central Italy). *Flora Mediterranea* 1, 111–120.
- BIZZARRI, R., Albianelli, A., Argenti, P., Baldanza, A., Colacicchi, R., Napoleone, G., 2011. The latest continental filling of Valle Umbra (Tiber Basin, central Italy) dated to one million years ago by magnetostratigraphy. *Il Quaternario (Italian Journal of Quaternary Sciences)* 24(1), 51–65.
- BLANC, A.C., Vries, H.L. De, Follieri, M., 1957. A first 14C date for the Würm I Chronology on the Italian Coast. *Quaternaria* 4, 83–93.
- BONINI, M., Sani, F., 2002. Extension and compression in the Northern Apennines (Italy) hinterland: evidence from the late Miocene-Pliocene Siena-Radicofani Basin and relations with basement structures. *Tectonics* 21 (3), 1/1–1/35. doi:10.1029/2001TC900024.
- BRUNI, P., Cecchi, G., 2010. Unconformity Bounded Stratigraphic Units of the Plio-Pleistocene basins of the upper catchment of the Arno (Tuscany): a proposal. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana* 11(1), 236–237.
- CAPEZZUOLI, E., Gandin, A., Sandrelli, F., 2008. Evidence of associated deposition of travertine and calcareous tufa in the Quaternary carbonates of Valdelsa basin (Tuscany). *Quaternario* 21, 113–124.
- CIOPI, E., 2010. La collezione di piante fossili. In: Monechi, S., Rook, R. (Eds), *Il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze. Le collezioni geologiche e paleontologiche*. 3, 265–276.
- CORRADO, P., Magri, D., 2011. A late Early Pleistocene pollen record from Fontana Ranuccio (central Italy). *Journal Quaternary Sciences* 26, 335–344.
- FLETCHER, W.J., Sanchez Goñi, M.F., Allen, J.R.M., Cheddadi, R., Combourieu-Nebout, N., Huntley, B., Lawson, I., Londeix, L., Magri, D., Margari, V., Müller, U.C., Naughton, F., Novenko, E., Roucoux, K., Tzedakis, P.C., 2010. Millennial-scale variability during the last glacial in vegetation records from Europe. *Quaternary Science Reviews* 29, 2839–2864.
- FLORINDO, F., Sagnotti, L., 1995. Palaeomagnetism and rock magnetism in the upper Pliocene Valle Ricca (Rome, Italy) section. *Geophysical Journal International* 123, 340–354.
- FOLLIERI, M., 1956. Filliti in travertino e limo di Torre in Pietra. *Bollettino Società Geologica Italiana* 75, 290.
- FOLLIERI, M., 1958. La foresta colchica fossile di Riano Romano. I. Studio dei fossili vegetali macroscopici. *Annali Botanica (Roma)* 26, 129–142.
- FOLLIERI, M., 1962. La foresta colchica fossile di Riano Romano II. Analisi polliniche. *Annali Botanica* 27, 245–280.
- FOLLIERI, M., 1963. Legni fossili nel tufo sovrapposto alle argille marine in località Paradisi (Roma). *Giornale Botanico Italiano* 70, 685–689.
- FOLLIERI, M., 1977. Evidence on the Plio-Pleistocene palaeofloristic evolution in central Italy. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 83, 925–930.
- FOLLIERI, M., 2010. Conifer extinction in Quaternary Italian records. *Quaternary International* 225, 37–43.
- FOLLIERI, M., Giardini, M., Magri, D., Sadori, L., 1998. Palynostratigraphy of the last glacial period in the volcanic region of central Italy. *Quaternary International* 47–48, 3–20.
- FOLLIERI, M., Magri, D., Sadori, L., 1986. Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytology* 103, 269–273.
- FOLLIERI, M., Magri, D., Sadori, L., 1988. 250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma). *Pollen Spores* 30, 329–356.
- FOLLIERI, M., Magri, M.G., 1961. I legni fossili della Via Flaminia (Cava Bianca) presso Roma. *Annali Botanica (Roma)* 27, 152–168.
- GAUDIN, C.T., Strozzi, C., 1858. Contribution à la flora fossile italienne. I. Mémoire sur quelques gisements de feuilles fossiles de la Toscane. *Mémoire Société Helvétique* 16, 1–47.
- GIARDINI, M., 2007. Late Quaternary vegetation history at Stracciacappa (Rome, Central Italy). *Vegetation History and Archaeobotany* 16, 301–316.
- GIROTTI, O., Capasso Barbato, L., Esu, D., Gliozzi, E., Kotsakis, T., Martinetto, E., Petronio, C., Sardella, R., Squazzini, E., 2003. The section of Torre Picchio (Terni, Umbria, Central Italy): a Villafranchian site rich in Vertebrates, Molluscs, Ostracods and Plants. *Rivista Italiana Paleontologia* 109(1), 77–98.

La flora del Pleistocene dell'Italia meridionale

The Pleistocene flora of southern Italy

ELDA RUSSO ERMOLLI & ADELE BERTINI

LEROY, S.A.G., Arpe, K., Mikolajewicz, U., 2011. Vegetation context and climatic limits of the Early Pleistocene hominin dispersal in Europe. *Quaternary Science Reviews* 30, 1448–1463.

LONA, F., Bertoldi, R., 1972. La storia del Plio-Pleistocene italiano in alcune sequenze lacustri e marine. *Memorie Accademia Nazionale Lincei* 8, 1–47.

LONA, F., Ricciardi, E., 1961a. Studio pollinologico stratigrafico su una serie lacustre pleistocenica dell'Italia centrale (Bacino di Gubbio, Perugia). *Pollen et Spores* 3, 93–100.

MAGRI D., Sadori L., 1999. Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico (central Italy). *Vegetation History and Archaeobotany* 8, 247–260.

MAGRI, D., 1999. Late-Quaternary vegetation history at Lagaccione near Lago di Bolsena (central Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology* 106, 171–208.

MAGRI, D., Di Rita, F., Palombo, M.R., 2010. An Early Pleistocene interglacial record from an intermontane basin of central Italy (Scoppito, L'Aquila). *Quaternary International* 225, 106–113.

MAGRI, D., Palombo, M.R., 2013. Early to Middle Pleistocene dynamics of plant and mammal communities in South West Europe. *Quaternary International* 267, 30–39.

MANZI, G., Magri, D., Palombo, M.R., 2011. Early-Middle Pleistocene environmental changes and human evolution in the Italian peninsula. *Quaternary Science Reviews* 30, 1420–1438.

MARCUCCI, M., 1970. Notizie paleobotaniche sul Valdarno. Guida alle escursioni del 65° Congresso della Società Geologica Italiana.

MARTINETTO, E., 2000. Paleocarpologia dei depositi continentali di Dunarobba. In: *La Foresta Fossile di Dunarobba: Contesto Geologico e Sedimentario*. Ediz. pp. 107–109, Todi.

MARTINETTO, E., 2001. The role of central Italy as a centre of refuge for thermophilous plants in the late Cenozoic. *Acta Palaeobotanica* 41(2), 299–319.

MARTINI, I.P., Saggi, M., 1993. Tectono-sedimentary characteristics of late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. *Earth-Science Review* 34, 197–233.

MARTINI, I.P., Saggi, M., Colella, A., 2001. Neogene-Quaternary basins of the inner Apennines and Calabrian arc. In: Vai, G.B., Martini, I.P. (Eds), *Anatomy of an Orogen: The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*. Kluwer Academic Publisher, pp. 375–400, Amsterdam.

NAPOLEONE, G., Albianelli, A., Azzaroli, A., Mazzini, M., 2001. The Poggio Rosso locality calibrated to the end-Pliocene and its significance for dating the late Villafranchian mammal faunas of the Upper Valdarno, Central Italy. *Rivista Italiana Paleontologia Stratigrafia* 107(2), 287–296.

PONTINI, M.R., 1997. Analisi palinologica e interpretazione paleoclimatica dei depositi continentali del Bacino Tiberino (Umbria, Italia). Unpubl. PhD Thesis, University of Perugia.

PONTINI, M.R., Albianelli, A., Basilici, G., Bertini, A., Napoleone, G., 2002. Pollen record and magnetostratigraphy of the Middle-Late Pliocene lacustrine sequence in the Tiberino basin, (central Italy). *Bollettino Società Geologica Italiana, Volume speciale* 1, 467–472.

PONTINI, M.R., Bertini, A., 2000. Late Pliocene vegetation and climate in central Italy: high-resolution pollen analysis from the Fosso Bianco section (Tiberino Basin). *Geobios* 33(5), 519–526.

RAYMO, M.E., Oppo, D.W., Flower, B.P., Hodell, D.A., McManus, J.F., Venz, K.A., Kleiven, K.F., McIntyre, K., 2004. Stability of North Atlantic water masses in face of pronounced climate variability during the Pleistocene. *Paleoceanography* 19, PA2008. doi:10.1029/2003PA000921.

RICCI, M., 2011. I depositi carbonatici terrestri come archivio climatico-ambientale per il tardo Quaternario: palinologia e geochimica isotopica. PhD Thesis, University of Florence.

RUDDIMAN, W.F., Raymo, M.E., Martinson, D.G., Clement, B.M., Backman, J., 1989. Pleistocene evolution: northern hemisphere ice sheets and North Atlantic Ocean. *Paleoceanography* 4(4), 353–412.

SADORI, L., Giardini, M., Chiarini, E., Mattei, M., Porreca, M., Papisodaro, F., 2010. Pollen and macrofossil analyses of Pliocene lacustrine sediments (Salto river valley, Central Italy). *Quaternary International* 225, 44–57.

SANI, F., Bonini M.B., Piccardi, L., Vannucci, G., Delle Donne, D., Benvenuti, M., Moratti, G., Corti, G., Montanari, D., Sedda, L., Tadini, C., 2009. Late Pliocene-Quaternary evolution of outermost hinterland basins of the Northern Apennines (Italy), and their relevance to active tectonics. *Tectonophysics* 476(1–2), 336–356.

SUC, J.-P., Bertini, A., Combourieu-Nebout, N., Diniz, F., Leroy, S., Russo-Ermolli, E., Zheng, Z., Bessais, E., Ferrier, J., 1995. Structure of West Mediterranean and climate since 5.3 Ma. *Acta Zoologica Cracoviensia* 38, 3–16.

THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 105–121.

TONGIORGI, E., 1937. Documenti per la storia della vegetazione della Toscana e del Lazio. *Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria marittima*. V. *Nuovo Giornale Botanico Italiano* 43(1936), 786–830.

TONGIORGI, E., 1942. Per la storia della vegetazione dell'Appennino. *Atti Società Toscana Scienze Naturali Memorie* 50, 219–231.

TZEDAKIS, P.C., Andrieu, V., de Beaulieu, J.-L., Birks, H.J.B., Crowhurst, S., Follieri, M., Hooghiemstra, H., Magri, D., Reille, M., Sadori, L., Shackleton, N.J., Wijmstra, T.A., 2001. Establishing a terrestrial chronological framework as a basis for biostratigraphical comparisons. *Quaternary Science Reviews* 20(16–17), 1583–1592.

TZEDAKIS, P.C., Andrieu, V., de Beaulieu, J.-L., Crowhurst, S., Follieri, M., Hooghiemstra, 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.

URBAN, B., Arias, C., Bigazzi, G., Bonadonna, F., 1983. Early Pleistocene palynostratigraphy of Fornace Tini, Valle Ricca (Central Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 41(1–2), 153–164.

VASSIO, E., 2012. Palaeovegetation reconstructions and palaeoclimatic interpretations of Quaternary carpological assemblages with an actuopalaeobotanical approach. Unpubl. PhD Thesis, University of Turin.

VASSIO, E., Martinetto, E., Mai, D.H., Bertini, A., Mazza, P.P.A., 2008. Elementi floristici estinti di una fase climatica “calda” del Pleistocene recente di Bucine (Valdarno). VIII Giornate di Paleontologia, Simposio della Società Paleontologica Italiana Siena, Accademia dei Fisiocritici, 9–13.09.2008. abstract book, p. 45.

ALL'INIZIO del Pleistocene una parte della catena appenninica meridionale era già emersa (Fig. 11.3.1) e gli ambienti continentali erano sede di una deposizione prevalentemente detritica, di versante o fluvio-torrentizia (Santangelo et al., 2012).

I record pollinici disponibili per questo periodo sono perciò principalmente quelli raccolti attraverso lo studio di affioramenti di depositi marini sollevati lungo le coste o in contesti di avanfossa (Crotone; Combourieu-Nebout, 1990, 1993). Gli unici depositi lacustri datati si rinvennero nel bacino di Camerota, sul Monte Bulgheria (Fig. 11.3.1); quest'ultimo rappresenta il residuo carbonatico più “interno” della catena risalente ad un contesto paleogeografico più antico (Russo Ermolli, 1999; Caiazza et al., 2006). Nel Pleistocene Medio la catena e il profilo costiero assumono una configurazione molto simile all'attuale (Fig. 11.3.2) e numerosi bacini intramontani si aprono lungo l'asse dell'Appennino meridionale (Santangelo et al., 2012).

La formazione di questi bacini è provocata da una intensa fase tettonica al passaggio Pleistocene Inferiore-Medio che innesca anche l'inizio dell'attività vulcanica del Vulture e del Roccamonfina (Santangelo et al., 2012). La sedimentazione lacustre in tali bacini durante buona parte del Pleistocene Medio porterà all'accumulo di potenti successioni, spesso non affioranti, favorevoli all'analisi pollinica.

I dati finora raccolti provengono dall'analisi di successioni sia marine che continentali affioranti o carotate nei bacini paleolacustri; in particolare il Pliocene superiore-Pleistocene Inferiore è prevalentemente documentato attraverso lo studio di depositi marini mentre il Pleistocene Medio attraverso lo studio di depositi lacustri.

AT THE ONSET of the Pleistocene, part of the southern Apennine chain had already emerged (Fig. 11.3.1) and the continental settings were mainly characterized by detritic deposition (slope and alluvial fans; Santangelo et al., 2012). For this reason, the pollen records covering this time period are limited to outcrops of marine sediments uplifted along the coasts or in foredeep domains (e.g., Crotone; Combourieu-Nebout, 1990, 1993). The only lacustrine sediments dated to this period are found in the Camerota basin, on the Bulgheria Mount (Fig. 11.3.1) which represents the most “internal” carbonatic remnant of the chain referred to a more ancient palaeogeographic context (Russo Ermolli, 1999; Caiazza et al., 2006). In the Middle Pleistocene, the chain and the coastal profile acquire a setting similar to the modern one (Fig. 11.3.2) and numerous intermontane basins start to develop along the southern Apennine axis (Santangelo et al., 2012). The opening of such depressions was driven by an intense tectonic phase at the early-middle Pleistocene transition which also caused the onset of volcanic activity at the Vulture and Roccamonfina volcanoes (Fig. 11.3.2; Santangelo et al., 2012). Lacustrine sedimentation in these intermontane basins all along the Middle Pleistocene would generate thick successions suitable for pollen analysis.

The palaeobotanic data collected up to now mainly come from the analysis of marine and continental successions sampled in outcrops or extracted through cores. In particular, late Pliocene and early Pleistocene are mainly documented in marine deposits whereas Middle Pleistocene is mainly recorded in lacustrine sediments. The first palaeobotanical studies in southern Italy got started after the study by De Lorenzo (1898) who highlighted the presence of ancient lacustrine basins along the Apennine chain. The preliminary pollen analysis on some of these basins (Mercure: Lona & Ricciardi, 1961; Acerno: Follieri, 1962) pointed out the occur-

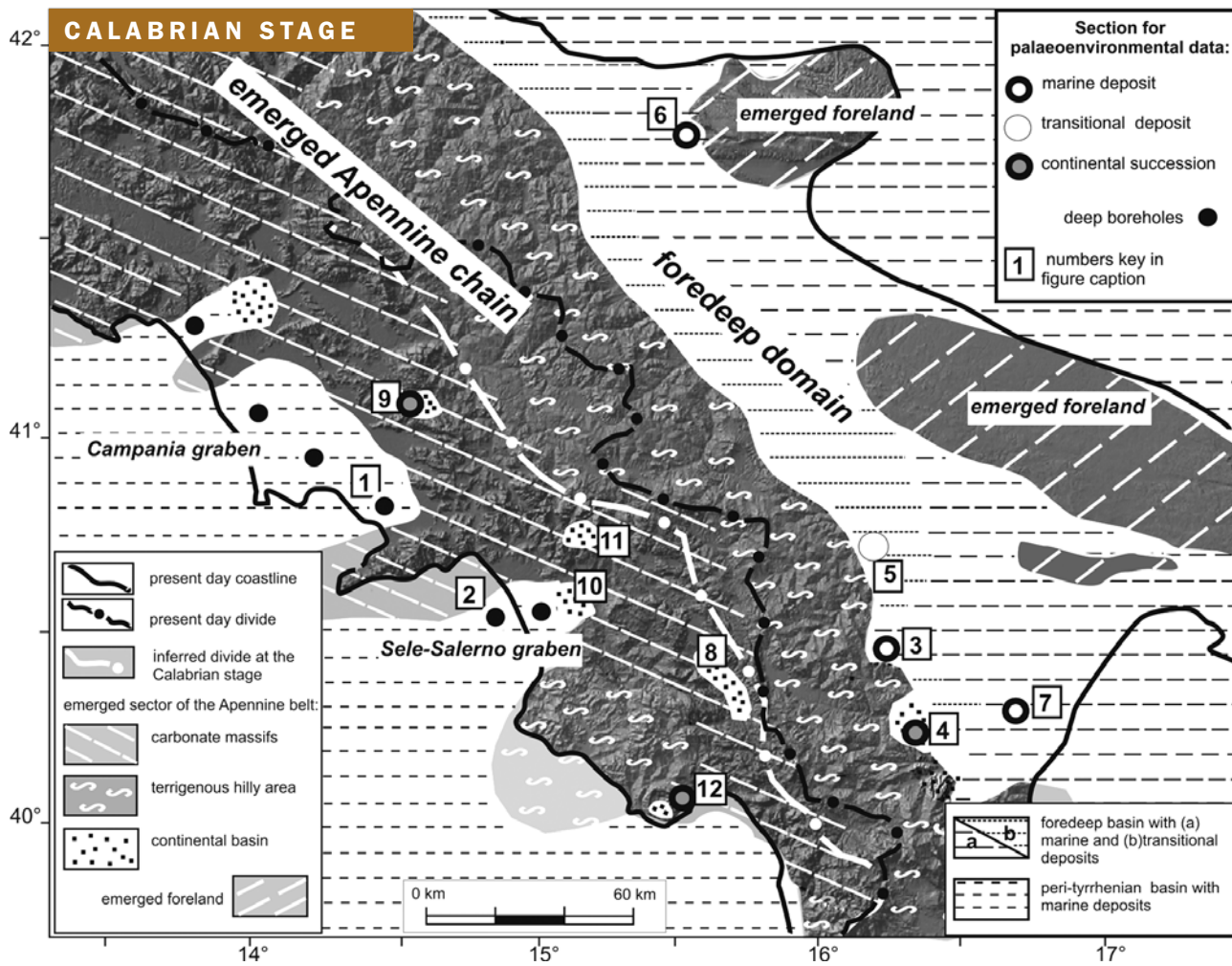


Fig. 11.3.1 Paleogeografia dell'Italia meridionale alla fine del Calabrian.

Palaeolandscape reconstruction of southern Italy at the end of the Calabrian stage.

- 1 Sondaggio Tre Case 1
 - 2 Sondaggio Mina 1
 - 3 Bacino di Calvello
 - 4 Sezione di San Lorenzo (bacino di Sant'Arcangelo)
 - 5 Formazione Serra del Cedro
 - 6 Sezione di Pirro Nord
 - 7 Successione di Montalbano Ionico
 - 8 Bacino del Vallo di Diano
 - 9 Sezione di Sant'Agata dei Goti (bacino della Valle Caudina)
 - 10 Formazione di Eboli
 - 11 Conglomerati di Iumaiano
 - 12 Bacino di Camerota
- (da Santangelo et al., 2012)

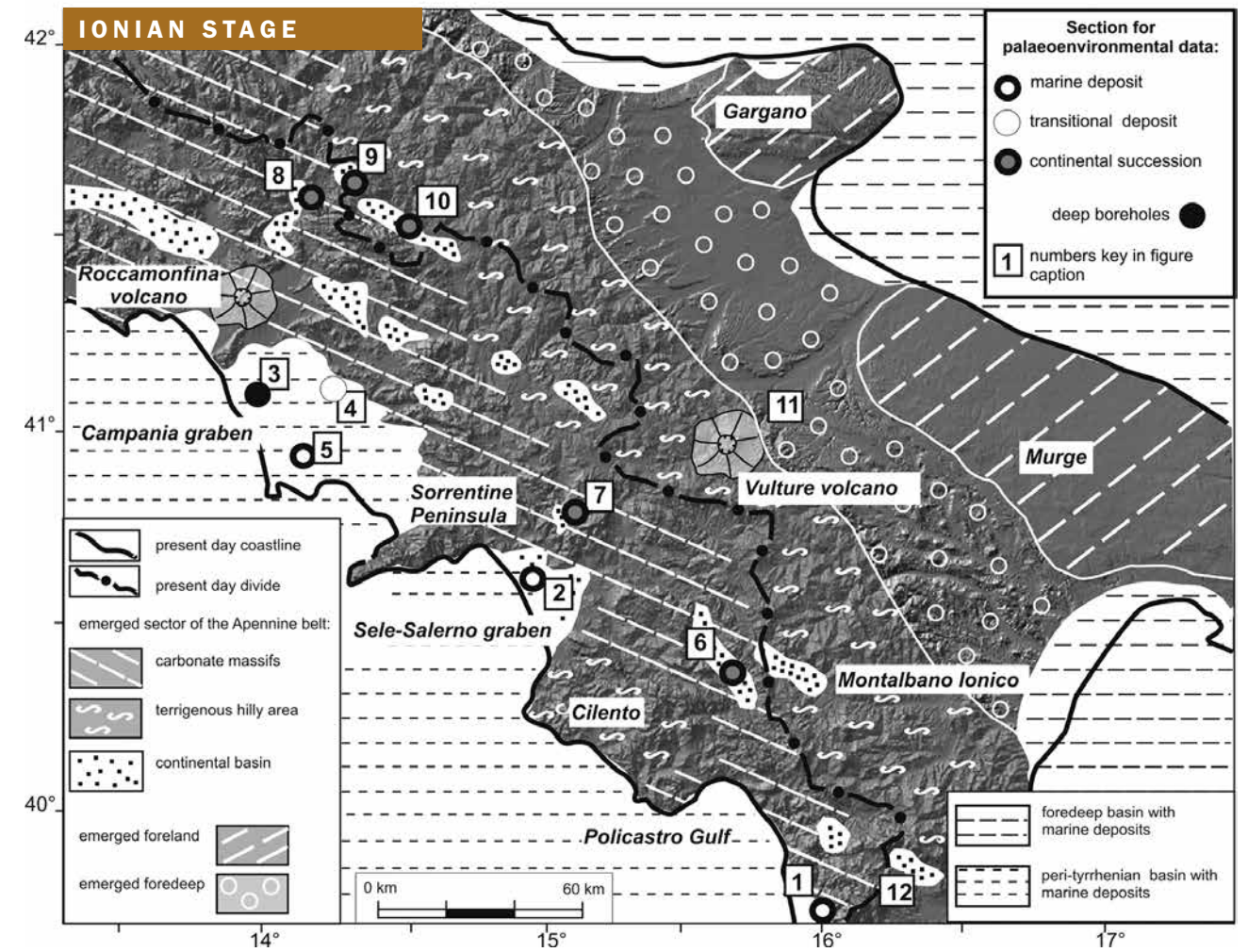


Fig. 11.3.2 Paleogeografia dell'Italia meridionale alla fine del Pleistocene Medio (Ioniano).

Palaeolandscape reconstruction of southern Italy at the end of the Middle Pleistocene (Ionian).

- 1 Successione di Fornaci San Nicola
 - 2 Formazione di Battipaglia-Persano
 - 3 Sondaggio CV1
 - 4 Depositi lagunari sepolti del MIS 7 e MIS 5e
 - 5 depositi lagunari sepolti del MIS 5e
- Successioni continentali / continental successions:
- 6 Vallo di Diano
 - 7 Acerno
 - 8 Isernia
 - 9 Sessano
 - 10 Boiano
 - 11 Venosa
 - 12 Mercure
- (da Santangelo et al., 2012)

Tra i primi studi paleobotanici ricordiamo il lavoro di De Lorenzo (1898) che evidenziò la presenza di antichi bacini lacustri lungo la catena Appenninica. Le analisi polliniche e paleobotaniche preliminari in alcuni di questi bacini (Mercure: Lona & Ricciardi, 1961; Acerno: Follieri, 1962) misero in luce la presenza di una flora ricca e diversificata, correlata ad associazioni forestali caldo-umide caratterizzate, fra l'altro, da elementi esotici, relitti della flora subtropicale pliocenica. Successivamente numerosi studi palinologici sono stati effettuati sui depositi lacustri dei bacini intermontani, sia da affioramenti che da carotaggi, nonché su successioni marine di avanfossa. Non si conoscono, a tutt'oggi, studi di rilievo sui macroresti vegetali in Italia meridionale.

rence of rich and diversified floral assemblages related to warm-humid forest associations characterized by the presence of subtropical taxa, relics of the Pliocene flora. Afterwards, numerous pollen studies have been realized on the lacustrine deposits of the intermontane basins as well as on fore-deep marine successions. No significant studies have been devoted to the study of macroremains in southern Italy.

■ GELASIANO · GELASIAN (2,58–1,80 MA)

IN ITALIA MERIDIONALE, così come in molti altri siti del Mediterraneo, i cicli G/I a 40 ka (Suc et al., 1995, 2010; Bertini, 2010 e riferimenti ivi contenuti) sono generalmente caratterizzati dalla contrapposizione tra una vegetazione forestale e una di tipo steppico.

A Crotone, sulla base della registrazione pollinica e degli isotopi dell'ossigeno lungo la successione marina di Semaforo (Combourieu-Nebout & Vergnaud-Grazzini, 1991; Combourieu-Nebout, 1993, 1995; Lourens et al., 1996), la rappresentazione schematica di un ciclo G/I prevede la successione di quattro principali associazioni vegetazionali, a partire da 2.4 Ma: (a) foresta di latifoglie (fase di transizione, successiva ad un glaciale: le temperature sono in aumento ma permangono condizioni relativamente secche), (b) foresta umida sub-tropicale (interglaciale con temperature e precipitazioni massime), (c) foresta di conifere di

IN SOUTHERN ITALY as well as in many other sites of the Mediterranean area (Suc et al., 1995a, 2010; Bertini, 2010 and references therein) 40 ka obliquity-forced G/I cycles are evident and generally characterized by the contrast between forest vegetation and steppes, from 2.6 Ma. At Crotone pollen and oxygen isotope data have been collected in the Semaforo section (e.g., Combourieu-Nebout & Vergnaud-Grazzini, 1991; Combourieu-Nebout, 1993, 1995; Lourens et al., 1996). Here, according to Combourieu-Nebout (1993), the schematic representation of a G/I cycle since 2.46 Ma includes the succession of four main vegetational assemblages: (i) deciduous forest (transitional phase following a glacial, with increasing temperatures but still dry conditions), (ii) sub-tropical humid forest (interglacial with maximal temperatures and precipitation), (iii) high-altitude coniferous forest (transitional phase with cooler but still humid con-

altitudine (fase di transizione con condizioni più fresche ma ancora umide), e infine (d) espansione della vegetazione aperta, tra cui i taxa steppici (piena fase glaciale con condizioni più fresche e secche). Tuttavia Bertoldi et al. (1989) sulla base di studi pollinici e di stratigrafia marina (foraminiferi, nannoplancton, isotopi dell'ossigeno) su alcuni livelli delle successioni di Le Castella e Gela (Monte San Nicola) evidenziano una risposta della vegetazione ai cicli G/I totalmente diversa a quella proposta per Semaforo (opposta), con i glaciali contrassegnati da foreste (condizioni umide) mentre gli interglaciali da una vegetazione aperta.

Nella sezione di Semaforo, il cui record inizia solo a partire da 2,48 Ma, la prima scomparsa significativa delle foreste a "Taxodiaceae" (vedi nota 1 al Capitolo 10) con tipo *Sequoia* come componente principale, è registrata da circa 2,38 Ma. Un'importante espansione di *Cathaya* è registrata tra 1,92 e 1,74 Ma, mentre quella di *Artemisia*, da ca. 1,87 Ma (Combourieu-Nebout & Vergnaud-Grazzini, 1991; Combourieu-Nebout, 1993; Klotz et al., 2006). L'applicazione dei metodi di quantificazione climatica alla registrazione pollinica, per l'intervallo compreso tra 2,46 Ma e 2,11 Ma (Klotz et al., 2006) rivela, rispetto all'attuale, temperature più elevate di almeno 2,8 °C (media annua) e di 2,2 °C in inverno, e valori delle precipitazioni più elevati di 500 mm durante gli interglaciali. Durante i glaciali, le temperature erano generalmente inferiori rispetto al clima attuale, mentre le precipitazioni equivalenti. Questo stesso studio ha consentito inoltre di evidenziare una tendenza generalizzata alla riduzione delle temperature annuali ed invernali di oltre 2,3 °C, e un incremento della stagionalità lungo i successivi interglaciali. La tendenza verso una forte riduzione della temperatura di almeno 1,6 °C è evidente anche nei successivi glaciali in Italia meridionale così come in altri siti dell'area mediterranea.

ditions), and finally (iv) expansion of open vegetation, including steppe taxa (full glacial phase with cooler and dry conditions).

However, Bertoldi et al. (1989) proposed a totally different (opposite) response of the vegetation to G/I cycling by the analysis of the Gelasian-Calabrian Le Castella and Gela (Monte San Nicola) sites, also located in southern Italy. According to palynological, biostratigraphical and isotopic evidence, glacial phases would be marked by forests (humid conditions), and interglacial phases by open vegetation (dry conditions).

At Semaforo, where the record only starts at 2.48 Ma, the first significant demise of "Taxodiaceae" forests (see Note 1 in Chapter 10) with *Sequoia* type as the main component, is recorded from about 2.38 Ma. It is followed by a spread of *Cathaya*, especially from ca. 1.92 to 1.74 Ma, and also of *Artemisia*, from ca. 1.87 Ma (Combourieu-Nebout & Vergnaud-Grazzini, 1991; Combourieu-Nebout, 1993; Klotz et al., 2006). A mutual climatic range method ("Probability mutual climatic spheres", PCS) applied at the highly detailed pollen record of Semaforo, from ca. 2.46 Ma to ca. 2.11 Ma (Klotz et al., 2006) reveals higher temperatures of at least 2.8 °C (mean annual) and 2.2 °C in winter, and 500 mm more in precipitation during the interglacial phases if compared to the present-day climate, in the south. During the glacial phases, temperatures were generally lower as compared to the present-day climate, but precipitation is equivalent. The previous authors noted a trend toward a reduction in annual and winter temperatures by more than 2.3 °C, and toward a higher seasonality along the consecutive interglacial phases. A trend toward a strong reduction in all temperature parameters of at least 1.6 °C is also evident in the consecutive glacial phases.

■ CALABRIANO · CALABRIAN (1.80–0.78 MA)

UNA RICCA e dettagliata documentazione palinologica, spesso integrata dalla stratigrafia degli isotopi dell'ossigeno, foraminiferi planctonici, paleomagnetismo e biocronologia, è disponibile grazie agli studi di alcune successioni marine. Le successioni più significative per le ricostruzioni stratigrafiche e paleoambientali sono situate nel bacino di Crotona (Calabria): Vrica (2,2–1,36 Ma; Combourieu-Nebout et al., 1990), Santa Lucia (1,356–1,24 Ma, MIS 43–40; Joannin et al., 2007) e Valle di Manche (0,87–0,73 Ma, MIS 22–MIS 18,3; Capraro et al., 2005). Inoltre, in Basilicata, circa 150 km a nord del bacino di Crotona, si trova la sezione marina di Montalbano Jonico (1,24–0,9 Ma, MIS 37–MIS 23; Joannin et al., 2008) adiacente alla sezione continentale di Sant'Arcangelo (ciclo di San Lorenzo: 1,1–0,8 Ma; Sabato et al., 2005; Fig. 11.3.3).

In Campania, alcuni dati provengono dal bacino paleolacustre di Camerota, sul Monte Bulgheria (Baggioni et al., 1981; Brenac, 1983; Russo Ermolli, 1999). Qui la successione continentale è cronologicamente definita dalla presenza, alla sua sommità, delle argille marine del Santerniano (Caiazzo et al., 2006). In Sicilia, la sezione di Monte San Giorgio (Caltagirone; Dubois, 2001) consente di documentare l'intervallo tra 1,23 e 1,095 Ma. In tutti questi siti i cicli G/I sono generalmente caratterizzati da alternanze tra vegetazione aperta

A RICH and detailed palynological record is readily available for southern Italy, thanks to the studies of several marine sections where the pollen record was often usefully integrated with oxygen isotope stratigraphy, planktonic foraminifera, palaeomagnetism and biochronology. The most significant successions for both stratigraphical and palaeoenvironmental inferences are located in the Crotona basin (Calabria): Vrica (ca. 2.2–1.36 Ma; e.g., Combourieu-Nebout et al., 1990), Santa Lucia (1.356–1.24 Ma, MIS 43–40; Joannin et al., 2007), and Valle di Manche (0.87–0.73 Ma, MIS 22–18.3; Capraro et al., 2005). Moreover, in Basilicata some 150 km north of the Crotona basin, the marine Montalbano Jonico (1.24–0.9 Ma and MIS 37–23; Joannin et al., 2008); and the neighbouring continental Sant'Arcangelo (San Lorenzo cycle: ca. 1.1–0.8 Ma; Sabato et al., 2005; Fig. 11.22) successions were also studied. In Campania, some data come from the palaeolacustrine basin of Camerota, on the Bulgheria Mount (Russo Ermolli, 1999). Here the continental succession is chronologically constrained by the presence of Santernian marine clays at its top (Caiazzo et al., 2006). In Sicily, data for the 1.23–1.095 Ma interval are available from the Monte San Giorgio section (Caltagirone; Dubois, 2001). In the uppermost part of these sites, G/I fluctuations are well reflected by open vegetation and forest alternations. The open vegetation assemblages include a large amount of steppe taxa, among which *Arte-*

Fig. 11.3.3 Veduta panoramica della sezione lacustre pleistocenica di San Lorenzo nel bacino di Sant'Arcangelo (Matera).

Panoramic view of the Pleistocene lacustrine San Lorenzo section in the Sant'Arcangelo basin (Matera).



Fig. 11.3.4 Foglia di *Ulmus* in depositi pleistocenici nell'area di Tursi (Matera). Scala = 1 cm (Foto E. Martinetto).

Leaf of *Ulmus* from the Tursi (Matera) Pleistocene deposits. scale bar = 1 cm (Photo E. Martinetto).

e forestale. Le associazioni di vegetazione aperta includono una grande quantità di taxa steppici, tra cui *Artemisia* ed *Ephedra*, talvolta anche taxa termofili, come *Cistus* e *Phlomis fruticosa*. Le associazioni di foresta caldo-temperata includono principalmente taxa decidui come *Quercus*, *Carya*, *Carpinus*, *Pterocarya*, *Ulmus* (Fig. 11.3.4); da tali associazioni i taxa più termofili come "Taxodiaceae", scompaiono progressivamente.

A Camerota, *Tsuga* e *Cedrus* sono ancora molto abbondanti nella foresta montana e *Carya* è uno degli elementi principali dell'associazione di foresta decidua umida. Nella sezione marina di Valle di Manche, secondo Capraro et al. (2005) l'intervallo glaciale MIS 20 (nonché il MIS 18, all'inizio del Pleistocene Medio) è caratterizzato da una foresta di tipo alpino (*Picea*, *Abies*, *Fagus*) mentre un paesaggio di steppa arborata si afferma successivamente durante la transizione tra Pleistocene Inferiore e Medio (cioè al limite tra Matuyama e Brunhes), all'inizio della deglaciazione dal MIS 20 al MIS 19. Le associazioni polliniche calabresi si impoveriscono progressivamente dei taxa più termofili. Combourieu-Nebout (1993, 1995) e Combourieu-Nebout & Vergnaud-Grazzini (1991), sulla base di studi palinologici nella sezione composta di Semaforo-Vrica, collocano la scomparsa degli ecosistemi subtropicali e la loro sostituzione con taxa della foresta di latifoglie a ca. 1,2 Ma, nel bacino del Mediterraneo. A Vrica, all'incirca dopo 1,47 Ma, le arboree montane raggiungono percentuali elevate, *Tsuga* sostituisce *Cathaya* nelle associazioni forestali, testimoniando la presenza di condizioni più fresche, ma ancora relativamente umide. A Sant'Agata de' Goti (Campania), un sito a mammiferi collocabile alla transizione tra il tardo Villafranchiano-inizio Galeriano (Russo Ermolli et al., 2010b), *Tsuga* è stata trovata in piccole quantità, mentre *Carya* è presente con alte percentuali alla base della successione.

misia and *Ephedra*, and sometimes also thermophilous taxa, such as *Cistus* and *Phlomis fruticosa*. Warm temperate forest assemblages include mainly deciduous taxa, such as *Quercus*, *Carya*, *Carpinus*, *Pterocarya*, *Ulmus* (Fig. 11.3.4); such assemblages become gradually depauperate in most thermophilous taxa which progressively disappear, e.g., "Taxodiaceae". At Camerota, *Tsuga* and *Cedrus* are still very abundant in the montane forest and *Carya* is one of the main elements of the humid deciduous forest association. In the marine Valle di Manche section, according to Capraro et al. (2005) the glacial interval MIS 20 (as well MIS 18, at the beginning of the Middle Pleistocene) is characterized by an alpine type forest (*Picea*, *Abies*, *Fagus*), whereas a wooded steppe landscape was established only later, during the Early-Middle Pleistocene climatic transition (i.e. at the Matuyama/Brunhes boundary) at the beginning of the deglaciation from MIS 20 to MIS 19, providing an unusual vegetational record in southern Italy. Calabrian pollen assemblages become progressively depauperate of most thermophilous taxa. Combourieu-Nebout (1993, 1995) and Combourieu-Nebout & Vergnaud-Grazzini (1991), on the basis of pollen studies on the Semaforo-Vrica composite section, placed the disappearance of the subtropical ecosystems and their replacement by deciduous forest taxa at ca. 1.2 Ma, in the Mediterranean area. At Vrica, roughly after 1.47 Ma (i.e. above laminite q), high-altitude trees reach their highest percentages, *Tsuga* replacing *Cathaya* in forest associations, suggesting cooler but relatively moist conditions. At Saticula (Campania), a mammal site referred to the late Villafranchian-early Galerian transition (Russo Ermolli et al., 2010b), *Tsuga* was found in small amounts whereas *Carya* was present with high percentages at the base of the succession.

■ IL PLEISTOCENE MEDIO MIDDLE-LATE PLEISTOCENE (0.78–0.011 MA)

NEL PLEISTOCENE MEDIO, l'alternanza dei cicli G/I, in accordo con lo schema generale riconosciuto nella maggior parte dei record, ha determinato lo sviluppo di foreste mesofile e di altitudine durante i periodi caldo-umidi e di paesaggi aperti dominati da essenze erbacee durante i periodi freddo-aridi. Tuttavia, variazioni nella dinamica vegetazionale nonché nella composizione floristica degli spettri sono state evidenziate in record coevi e provenienti da regioni limitrofe.

Durante i cicli G/I più recenti, i taxa steppici *Artemisia* ed *Ephedra* si alternano a quelli associati allo sviluppo delle foreste decidue temperate e caldo-temperate sempre dominate dalle querce decidue. Un calo generalizzato della temperatura in entrambe le fasi forestali e steppiche è indicato da cambiamenti nelle associazioni floristiche. Per esempio *Hippophae rhamnoides* si espande durante le fasi di steppa ("steppe fredde") mentre taxa termofili, come *Cistus* e *Phlomis fruticosa*, scompaiono. Il progressivo declino dei taxa arborei più termofili avviene secondo gradienti climatici. Nel sud, *Tsuga* è presente a Valle di Manche fino a ca. 0,73 Ma, (MIS 18) anche se con valori sempre inferiori al 5%; tipo *Taxodium/Glyptostrobus*, *Carya*, *Pterocarya*, *Liquidambar* e *Cedrus* sono analogamente presenti, anche se con bassi valori percentuale. A Valle di Manche l'ultima presenza di *Carya* è stata registrata tra il MIS 18 e l'espansione della steppa arborata successiva. A Vallo di Diano, dove le principali oscillazioni climatiche riconosciute sono state correlate con i cicli G/I MIS 16–13 (cioè tra 0,65 e 0,45 Ma; Fig. 11.3.5), *Tsuga* è praticamente assente (così come a Isernia la Pineta, Lebreton, 2002) mentre *Carya* è costantemente presente, e *Pterocarya* è sporadica (Russo Ermolli, 1994).

THE G/I CYCLICITY through the Middle Pleistocene, in agreement with the general trend recorded at most study sites, produced the development of mesophilous and montane forests during warm-humid periods and open landscapes dominated by herbs during cold-dry periods. Some differences in the vegetation dynamics and floral composition of pollen spectra have been highlighted in coeval records from nearby regions.

During the younger G/I cycles, *Artemisia* (plus *Ephedra*) steppes and temperate to warm-temperate deciduous forests alternate. A generalized drop in temperature in both steppe and forest phases is indicated by changes in the floristic assemblages. For example, *Hippophae rhamnoides* expanded during the steppe phases ("cold steppes"), whereas thermophilous taxa, such as *Cistus* and *P. fruticosa*, disappeared. The progressive decline of most thermophilous arboreal taxa continued, in accordance with climate gradients.

This is in agreement with the marine oxygen isotopic records, and the Mid-Pleistocene climate transition. In the South, *Tsuga* is present at Valle di Manche until the upper section (ca. 0.730 Ma, MIS 18) though with values always lower than 5%; *Taxodium/Glyptostrobus* type, *Carya*, *Pterocarya*, *Liquidambar* and *Cedrus* are also present, though in low percentage values. At Valle di Manche the last occurrence of *Carya* has been recorded between MIS 18 and the successive wooded steppe expansion. At Vallo di Diano, where two main climatic oscillations were recognized and correlated to the G/I cycles MIS 16 to 13 (i.e. 0.65–0.45 Ma; Fig. 11.24), *Tsuga* is virtually absent (as at Isernia la Pineta, Lebreton, 2002) whereas *Carya* is constantly present, and *Pterocarya* is sporadically present (Russo Ermolli, 1994). At Sessano in contrast, *Tsuga*, along with *Cedrus*, *Zelkova* as well as a few grains of *Ptero-*

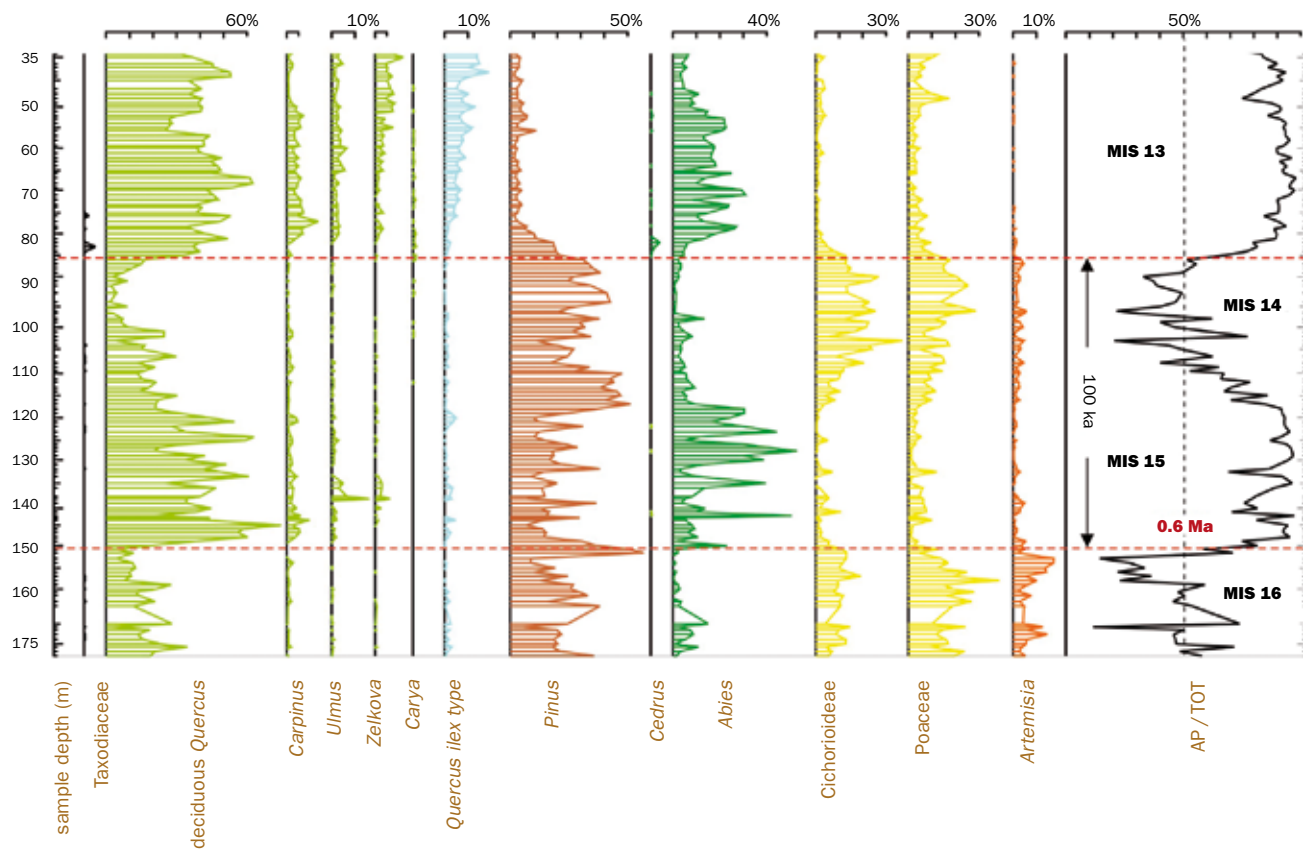


Fig. 11.3.5 Cicli climatici di 100 mila anni nella successione lacustre del Vallo di Diano. La datazione $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ di 0,6 Ma su un livello di tefra ha consentito la correlazione dei cicli con gli stadi isotopici da 16 a 13 (da Russo Ermolli, 1994; Karner et al., 1999).

100 ka climatic cycles from the lacustrine succession of Vallo di Diano. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of 0.6 Ma performed on a tephra layer allowed the recorded cycles to be correlated to the isotopic stages 16 to 13 (after Russo Ermolli et al., 1994; Karner et al., 1999).

A Sessano (Molise) al contrario, *Tsuga*, insieme a *Cedrus*, *Zelkova* e sporadici granuli di *Pterocarya* e tipo *Taxodium/Glyptostrobus* sono stati registrati tra 0,58 e 0,43 Ma (MIS 15–12; Russo Ermolli et al., 2010a). Sia *Tsuga* che *Carya* sono assenti nella successione lacustre di Acerno, dove analisi polliniche documentano un ciclo interglaciale-glaciale correlato con i MIS 13 e 12 (Petrosino et al., 2014). Al contrario, *Carya* è ancora presente durante il MIS 9 a Boiano, in Molise (Orain et al., 2012); quest'area probabilmente fu un rifugio ecologico nel quale questa essenza poté trovare ancora un'elevata umidità edafica (Orain et al., 2013). In accordo con i dati sopra ricordati, *Tsuga* sembrerebbe scomparire dall'Italia meridionale in ritardo rispetto al nord, sebbene abbia sempre mostrato, almeno a partire dal Messiniano (Suc & Bessais, 1990; Bertini et al., 1998), una più ridotta presenza rispetto alle aree centro-settentrionali.

carya and *Taxodium/Glyptostrobus* type have been recorded between 0.58 and 0.43 Ma (MIS 15–12) (Russo Ermolli et al., 2010a). Both *Tsuga* and *Carya* are absent in the lacustrine succession of Acerno, where pollen analyses documented an interglacial-glacial cycle correlated with MIS 13 and 12 (Petrosino et al., 2014). In contrast, *Carya* is still recorded during MIS 9 at Boiano, in Molise (Orain et al., 2012) where its presence was favored by the occurrence of an ecological refuge connected to high edaphic humidity (Orain et al., 2013). According to previous data, *Tsuga* apparently disappeared from southern Italy later than in the north, although its presence is generally subordinate within the southern assemblages, at least since the Messinian (Suc & Bessais, 1990; Bertini et al., 1998).

The physiographic complexity of the Italian peninsula has certainly favoured the persistence of some exotic taxa in refuge areas, so that in cen-

tral-southern Italy the main climatostratigraphic limit to the subsequent presence of exotic taxa seems to be MIS 12 and not MIS 22 as for northern Italy. After this glacial period, just a sporadic occurrence of a few exotic taxa is recorded in the pollen spectra of central-southern Italy.

Few pollen data are available in southern Italy for the late Pleistocene, probably also due to the closure of the Apennine lacustrine basins. Some incomplete data come from the analysis of sediments from alluvial-coastal plains of Campania (e.g., Santangelo et al., 2010) or from the infillings of karstic depressions on the carbonate massifs (e.g., Aiello et al., 2007). The only complete pollen record (of the last 130 ka) of the late Pleistocene comes from the deposits of the Monticchio lakes, on Vulture Mountain (e.g., Huntley et al., 1999; Allen et al., 2000). Here, the typical steppe vegetation which characterizes the penultimate glacial (MIS 6) is replaced by wooded steppes during the transition to the last interglacial period. The latter (MIS 5e) shows the development of a deciduous forest dominated by oaks and of a later fir forest (Allen & Huntley, 2009), in agreement with the vegetation dynamics highlighted in other Middle Pleistocene climatic cycles of southern Italy. No exotic taxon is recorded at Monticchio, because the altitude of the site could have played a limiting role to their expansion. It is, indeed, rather probable that *Zelkova*, as in central Italy (Follieri et al., 1986), was still present in southern Italy during the last interglacial, as shown by the data, though incomplete, from the Campania Plain (Santangelo et al., 2010). The last glacial period is very well represented in the Monticchio record, where it was possible to distinguish the stadial phases dominated by steppes, from the interstadials characterized by wooded-steppes, even with deciduous elements (Allen et al., 2000).

La complessità fisiografica della penisola italiana ha sicuramente favorito la persistenza di alcuni taxa esotici in zone di rifugio, tanto che in Italia centro-meridionale il principale limite climatostratigrafico per la presenza della maggior parte dei taxa esotici nella flora locale sembra essere stato non il MIS 22, come nell'Italia settentrionale, quanto piuttosto il MIS 12, oltre il quale solo sporadiche presenze di taxa esotici si rinvennero nelle successioni analizzate.

In Italia meridionale pochi dati pollinici sono disponibili per il Pleistocene superiore anche a causa della chiusura dei bacini lacustri dell'Appennino. Alcuni dati, purtroppo poco significativi, provengono dall'analisi di depositi di pianure alluvionali-costiere della Campania (Santangelo et al., 2010) o da riempimenti di depressioni carsiche sui massicci carbonatici (Aiello et al., 2007). L'unico record pollinico continuo (ultimi 130 mila anni) del Pleistocene superiore proviene dai depositi dei laghi di Monticchio, sul Monte Vulture (Huntley et al., 1999; Allen et al., 2000). Qui, la tipica vegetazione steppica che caratterizza l'ultima fase del penultimo glaciale (MIS 6) viene sostituita da una steppa forestata durante la transizione all'ultimo interglaciale. Questo (MIS 5e) mostra lo sviluppo di una foresta decidua dominata dalla quercia e di una più tardiva espansione dell'abetina (Allen & Huntley, 2009), in accordo con la dinamica vegetazionale messa in evidenza nei cicli del Pleistocene Medio in altri siti dell'Italia meridionale. Non si registra a Monticchio la presenza di taxa esotici, anche se l'altitudine del sito può aver agito quale fattore limitante al loro sviluppo. È infatti molto probabile che *Zelkova*, così come in Italia centrale (Follieri et al., 1986), fosse ancora presente durante l'ultimo interglaciale in Italia meridionale, come indicherebbero i dati seppur parziali della Piana Campana (Santangelo et al., 2010). L'ultimo periodo glaciale è molto ben rappresentato nel record di Monticchio, dove è stato possibile distinguere le fasi stadiali a vegetazione steppica da quelle interstadiali, caratterizzate da steppes arborate, anche con elementi decidui (Allen et al., 2000).

Bibliografia References

AIELLO, G., Ascione, A., Barra, D., Munno, R., Petrosino, P., Russo Ermolli, E., Villani, F., 2007. Evolution of the late Quaternary San Gregorio Magno tectono-karstic basin inferred from geomorphological, tephrostratigraphical and paleoecological analysis: tectonic implications. *Journal Quaternary Science* 22, 233–245.

ALLEN, J., 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., Watts, W.A., Huntley, B., 2000. Weichselian palynostratigraphy, palaeovegetation and palaeoenvironment: the record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary International* 73/74, 91–110.

BAGGIONI, M., Suc, J.P., Vernet, J.L., 1981. Le Plio-Pleistocène de Camerota (Italie méridionale): géomorphologie et paléoflores. *Geobios* 14, 229–237.

BERTINI, A., 2010. Pliocene to Pleistocene palynoflora and vegetation in Italy: state of the art. *Quaternary International* 225(1), 5–24.

BERTINI, A., Londeix, L., Maniscalco, R., di Stefano, A., Suc, J.-P., Clauzon, G., Gautier, F., Grasso, M., 1998. Paleobiological evidence of depositional conditions in the Salt Member, Gessoso-Solfifera Formation (Messinian, Upper Miocene) of Sicily. *Micropaleontology* 44(4), 413–433.

BERTOLDI, R., Rio, D., Thunell, R., 1989. Pliocene-Pleistocene vegetational and climatic evolution of the South-Central Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 72, 263–275.

BRENAC, P., 1983. Végétation et climat de la Campanie du Sud (Italie) au Pliocène final d'après l'analyse pollinique des dépôts de Camerota. *Ecologia Mediterranea* 10, 207–216.

CAIAZZO, C., Ascione, A., Cinque, A., 2006. Late Tertiary and Quaternary tectonics of the southern Apennines (Italy): new evidences from the Tyrrhenian slope. *Tectonophysics* 421, 23–51.

CAPRARO, L., Asioli, A., Backman, J., Bertoldi, R., Channell, J.E.T., Massari, F., Rio, D., 2005. Climatic patterns revealed by pollen and oxygen isotope records across Brunhes-Matuyama boundary in the central Mediterranean (southern Italy). In: Head, M.J., Gibbard, P.L. (Eds), *Early-Middle Pleistocene Transitions: The Land-Ocean Evidence*. Geological Society, London, Special Publications 247, 159–182.

COMBOURIEU-NEBOUT, N., 1993. Vegetation response to upper Pliocene Glacial/Interglacial cyclicity in the Central Mediterranean. *Quaternary Research* 40, 228–236.

COMBOURIEU-NEBOUT, N., 1995. Réponse de la végétation de l'Italie méridionale au seuil climatique de la fin du Pliocène d'après l'analyse pollinique haute résolution de la section de Semaforo (2.46 à 2.1 Ma). *Compte Rendus de l'Académie des Science Paris* 321, 659–665.

COMBOURIEU-NEBOUT, N., Semah, F., Djubiantono, T., 1990. La limite Pliocène-Pleistocène: précisions magnétostratigraphiques par l'étude sériée de la coupe-type de Vrica (Crotone, Italie). *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences, Paris, ser. II*, 311, 851–857.

COMBOURIEU-NEBOUT, N., Vergnaud-Grazzini, C., 1991. Late Pliocene Northern Hemisphere Glaciations: the continental and marine responses in the Central Mediterranean. *Quaternary Science Review* 10, 319–334.

DE LORENZO, G., 1898. Reliquie di grandi laghi pleistocenici nell'Italia meridionale. *Atti Accademia Scienze fisiche e matematiche, Napoli* 9, 1–74.

DUBOIS, J.M., 2001. Cycles climatiques et paramètres orbitaux vers 1 MA. Etude de la coupe de Monte San Giorgio (Caltagirone, Sicile): palynologie, isotope stables, calcimétrie. *Mémoire du DEA-Lyon (France)*.

FOLLIERI, M., 1962. Macro e microfossili vegetali in un deposito lacustre pleistocenico presso Acerno (Salerno). *Annali Botanica* 27(2), 361–367.

FOLLIERI, M., Magri, D., Sadori, L., 1986. Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytology* 103, 269–273.

HUNTLEY, B., Watts, W., Allen, J., Zolitschka, B., 1999. Paleoclimate, chronology and vegetation history of the Weichselian Lateglacial: comparative analysis of data from three cores at Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews* 18, 945–960.

JOANNIN, S., Ciaranfi, N., Stefanelli, S., 2008. Vegetation changes during the late Early Pleistocene at Montalbano Jonico (Province of Matera, southern Italy) based on pollen analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 270, 92–101.

JOANNIN, S., Quillévéré, F., Suc, J.-P., Lécuyer, C., Martineau, F., 2007. Early Pleistocene climate changes in the central Mediterranean region as inferred from integrated pollen and foraminiferal stable isotope analyse. *Quaternary Research* 67, 264–274.

KARNER, D., Juvigné, É., Brancaccio, L., Cinque, A., Russo Ermolli, E., Santangelo, N., Bernasconi, S., Lirer, L., 1999. A potential early middle Pleistocene tephrostratotype for the Mediterranean basin: The Vallo di Diano, Campania, Italy. *Global and Planetary Change* 21, 1–15.

KLOTZ, S., Fauquette, S., Comboureu-Nebout, N., Uhl, D., Suc, J.-P., Mosbrugger, V., 2006. Seasonality intensification and long-term winter cooling as a part of the Late Pliocene climate development. *Earth Planetary Science Letters* 241, 174–187.

LEBRETON, V., 2002. Végétation et climat au Pléistocène inférieur et moyen à La Pineta (Isernia, Italie). *Compte Rendu Palevol* 1, 11–17.

LONA, F., Ricciardi, E., 1961. Reperti pollinologici nei depositi pleistocenici del bacino lacustre del Mercure (Italia meridionale, regione Campano-Lucana). *Pollen et Spores* 3, 85–92.

LOURENS, L.J., Hilgen, F.J., Raffi, I., Vergnaud-Grazzini, C., 1996. Early Pleistocene chronology of the Vrica section (Calabria, Italy). *Paleoceanography* 11, 797–812.

MUNNO, R., Petrosino, P., Romano, P., Russo Ermolli, E., Juvigné, E., 2001. A late Middle Pleistocene climatic cycle in southern Italy inferred from pollen analysis and tephrostratigraphy of the Acerno lacustrine succession. *Géographie physique et Quaternaire* 55, 87–99.

ORAIN, R., Lebreton V., Russo Ermolli E., Comboureu-Nebout N., Sémah A.-M., 2013. *Carya* as marker for tree refuges in southern Italy (Boiano basin) at the Middle Pleistocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369, 295–302.

ORAIN, R., Lebreton, V., Russo Ermolli, E., Aucelli, P.P.C., Amato, V., 2012. Végétation et climat au Pléistocène moyen en Italie méridionale (Bassin de Boiano, Molise). *Quaternaire* 23(1), 35–46.

PETROSINO, P., Jicha, B.R., Mazzeo, F.C., Russo Ermolli, E., 2014. A high resolution tephrochronological record of MIS 14-12 in the Southern Apennines (Acerno Basin, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 274, 34-50.

PETROSINO P., Jicha B.R., Mazzeo F.C., Russo Ermolli E., 2014. A high resolution tephrochronological record of MIS 14-12 in the Southern Apennines (Acerno Basin, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 274, 34-50.

RUSSO ERMOLLI, E., 1994. Analyse pollinique de la succession lacustre pléistocène du Vallo di Diano (Campani, Italie). *Annales Société Géologique Belgique* 117, 333–354.

RUSSO ERMOLLI, E., 1999. Vegetation dynamics and climate changes at Camerota (Campania, Italy) at the Pliocene-Pleistocene boundary. *Il Quaternario* 12, 207–214.

RUSSO ERMOLLI, E., Aucelli, P., Di Rollo, A., Mattei, M., Petrosino, P., Porreca, M., Roskopf, C., 2010a. An integrated stratigraphical approach to the late Middle Pleistocene succession of the Sessano lacustrine basin (Molise, Italy). *Quaternary International* 225, 114–127.

RUSSO ERMOLLI, E., Sardella, R., Di Maio, G., Petronio, C., Santangelo, N., 2010b. The late Early Pleistocene record of Saticula (Sant'Agata De' Goti, Benevento, Italy). *Quaternary International* 225, 128–137.

SABATO, L., Bertini, A., Masini, F., Albianelli, A., Napoleone, G., Pieri, P., 2005. The lower and middle Pleistocene geological record of the San Lorenzo lacustrine sequence in Sant'Arcangelo Basin. (Southern Apennines, Italy). *Quaternary International* 131, 59–69.

SANTANGELO, N., Ciampo, G., Di Donato, V., Esposito, P., Petrosino, P., Romano, P., Russo Ermolli, E., Santo, A., Toscano, F., Villa, I., 2010. Late Quaternary buried lagoons in the northern Campania plain (southern Italy): evolution of a coastal system under the influence of volcano-tectonics and eustatism. *Italian Journal Geosciences* 129(1), 156–175.

SANTANGELO, N., Di Donato, V., Lebreton, V., Romano, P., Russo Ermolli, E., 2012. Palaeolandscapes of Southern Apennines during the Early and Middle Pleistocene. *Quaternary International* 267, 20–29.

SUC, J.-P., Bertini, A., Comboureu-Nebout, N., Diniz, F., Leroy, S., Russo-Ermolli, E., Zheng, Z., Bessais, E., Ferrier, J., 1995. Structure of West Mediterranean and climate since 5.3 Ma. *Acta Zoologica Cracoviensia* 38, 3–16.

SUC, J.-P., Bessais, E., 1990. Pérennité d'un climat thermoxérique en Sicile, avant, pendant et après la crise de salinité messinienne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 310 ser. II, 1701–1707.

SUC, J.-P., Comboureu-Nebout, N., Seret, G., Popescu, S.A., Klotz, S., Gautier, F., Clauzon, G., Westgate, J., Insinga, D., Sandhu, A.S., 2010. The Crotone series: a synthesis and new data. *Quaternary International* 219, 121–133.

11.4 La flora del Pleistocene della Sardegna

The Pleistocene flora of Sardinia

CARLA BUOSI, PAOLA PITTAU & GIOVANNI G. SCANU



Fig. 11.4.1 Carta con la località a piante del Pleistocene della Sardegna.

Map with the locality with plant fossil remains.

I DATI RELATIVI alla flora fossile pleistocenica della Sardegna sono esigui e limitati a studi di carattere biostratigrafico focalizzati all'analisi delle associazioni palinologiche.

Le associazioni microfloristiche del Pleistocene della Sardegna sono state investigate su un livello argilloso scuro intercalato alle formazioni sabbioso-arenacee delle dune (eolianiti) di Fontanamare (Fig. 11.4.1, Gonnese, Sardegna sud-occidentale, Del Rio & Pittau, 1974).

L'attribuzione cronostratigrafica di questi depositi rimane purtroppo ancora incerta, dal pre-Tirreniano (pre-MIS 5e) al tardo glaciale (Pleistocene finale), sebbene in analoghi depositi di Funtana Morimenta (Gonnese, Sardegna sud-occidentale) sia stata segnalata la presenza di *Mammuthus lamarmorai* (Palombo et al., 2012). L'associazione vegetale è costituita prevalentemente dal polline di piante arboree (60%). Tra queste domina *Pinus* seguito da *Tsuga*, *Fraxinus*, *Cedrus*, *Quercus*, *Salix*, *Olea* e *Ilex*. Tra le erbacee dominano le Asteracee (30%). Sono quasi del tutto assenti le spore, se si fa eccezione di qualcuna appartenente al genere *Polypodium*. La permanenza di polline di *Tsuga* depone per un Pleistocene antico, per analogia ai dati dell'Italia peninsulare dove subisce una drastica riduzione all'inizio del Brunhes (Bertini, 2010). Ciò comunque non esclude una presenza persistente di questo taxon in Sardegna, in un peculiare contesto climatico nonché di isolamento geografico. I confronti con la flora attuale mostrano la presenza di piante ora completamente scomparse dall'isola nel Pleistocene superiore, come *Cedrus* che nel Quaternario popolava le regioni circummediterranee e ora relegato nell'est del Mediterraneo e *Tsuga* che abita le regioni costiere dell'America del Nord e l'Asia centrale dall'Himalaya fino al Giappone.

THE PLEISTOCENE FLORAL records are scarce and limited to palynological evidence.

The Pleistocene microflora of Sardinia is represented by a palynological study on a dark clay layer intercalated between sandstones of the dunes (aeolianites) of the Fontanamare section near Gonnese (Fig. 11.4.1., southwestern Sardinia, Del Rio & Pittau, 1974). From the same deposits at Funtana Morimenta (Gonnese, southwestern Sardinia) remains of *Mammuthus lamarmorai* have been reported (Palombo et al., 2012). However, the chronostratigraphic age of both deposits is not well established and may range from the pre-Tyrrhenian (pre-MIS 5e) to the late glacial (late Pleistocene). Palynologically, the plant assemblage consists mainly of arboreal plants pollen (60%). *Pinus*, followed by *Tsuga*, *Fraxinus*, *Cedrus*, *Quercus*, *Salix*, *Olea* and *Ilex* are the dominant taxa. Asteraceae (30%) are dominant among herbaceous plants. Spores are almost entirely absent, with the exception of some belonging to *Polypodium*. The presence of *Tsuga* suggest a pre-Tyrrhenian age in agreement with the data from the Italian peninsula where the pollen abundance of these taxa drastically reduces in the early Brunhes (Bertini, 2010). However a persistence of such taxon in Sardinia under peculiar both geographical isolation context and climate cannot be excluded.

Comparison with the present flora of Sardinia shows that in the Pleistocene plants were present that have now completely disappeared from the island, such as *Cedrus*, which during the Quaternary had developed in the circummediterranean regions and is now relegated to the eastern Mediterranean; and also *Tsuga*, that today inhabits the coastal regions of North America and Central Asia from the Himalayas to Japan.

Bibliografia/References

- BERTINI, A., 2010. Pliocene to Pleistocene palynoflora and vegetation in Italy: State of the art. *Quaternary International* 225, 5–24.
- DEL RIO, M., PITTAU, P., 1974. Analisi palinologica di un livello argilloso delle Dune di Fontanamare. *Morisia* 4–18.
- PALOMBO, M.R., FERRETTI, M.P., PILLOLA, G.L., CHIAPPINI, L., 2012. A reappraisal of the dwarfed mammoth *Mammuthus lamarmorai* (Major, 1883) from Gonnese (south-western Sardinia, Italy). *Quaternary International* 255, 158–170.