

B.I. MENOZZI (*), A. FICHERA (*), M.A. GUIDO (*), M. MARIOTTI LIPPI (**), C. MONTANARI (*),
G. ZANCHETTA (***), F.P. BONADONNA (***), F. GARBARI (****)

LINEAMENTI PALEOAMBIENTALI DEL BACINO DEL LAGO DI MASSACIUCCOLI (TOSCANA NORD-OCCIDENTALE, ITALIA) ¹

Riassunto - Vengono illustrati i risultati di studi paleoambientali basati sull'analisi di una successione sedimentaria di 90 metri, relativa all'area del Lago di Massaciuccoli (Toscana nord-occidentale). Sono descritte le principali caratteristiche stratigrafiche, soprattutto per quanto riguarda l'alternarsi di sedimentazioni di ambiente marino e continentale. Come mezzo di indagine biostratigrafica è stata utilizzata l'analisi pollinica. Nonostante la discontinuità del contenuto pollinico, è stato possibile delineare alcune delle fasi vegetazionali che si sono susseguite a partire da almeno 130.000 anni B.P. Nel complesso, sembra che la copertura forestale non sia mai venuta meno e che l'area abbia svolto un ruolo di rifugio per specie montane o boreali durante fasi di peggioramento climatico. Ciò sarebbe in accordo con la presenza di specie microterme accantonate nelle aree umide nelle quali sono attualmente reperibili anche elementi atlantici e subtropicali, come si rileva dall'analisi di flora e vegetazione attuali. Viene evidenziata nei livelli più recenti (da 4000-3000 B.P.) la presenza rilevante di polline di *Vitis* che potrebbe essere traccia di coltivazione molto precoce.

Parole chiave - Massaciuccoli, Toscana, Stratigrafia, Analisi polliniche, Olocene, Tardo Pleistocene.

Abstract - *Palaeoenvironmental investigations in the Massaciuccoli basin (NW Tuscany, Italy)*. The authors present the results of pollen analysis carried out on a 90-meters sedimentary series drilled in the Lake Massaciuccoli basin (NW Tuscany). Stratigraphic and geobotanical remarks are also made. Despite the discontinuity of pollen contents, it was possible to profile some of the vegetational phases occurred from at least 130,000 years B.P. Overall, it is likely that forest cover had never been interrupted and that the area served as a refuge for montane or boreal species during periods of climate changes. This hypothesis accounts for the current presence of microthermic species, which could survive as relics in humid areas where also atlantic and subtropical elements can currently be found. The notable presence of *Vitis* pollen in more recent layers (4,000-3,000 B.P.) is also emphasised as a possible hint to the early cultivation of this crop plant.

Key words - Massaciuccoli, Tuscany, Stratigraphy, Palynology, Holocene, Late Pleistocene.

INTRODUZIONE

La pianura costiera tra le foci dei fiumi Arno e Magra, costituitasi prevalentemente dall'Olocene ad oggi (cfr. Mazzanti, 1994), presenta dal punto di vista geobotanico un'omogeneità fisionomica che è soltanto apparente. La vegetazione che la caratterizza è, in effetti, molto diversificata sia sotto il profilo strutturale sia per le sue componenti floristiche, rappresentate da elementi corologici molto diversi e da spettri biologici che variano considerevolmente a seconda degli ambiti territoriali in cui vengono definiti.

Per verificare se la situazione attuale è la conseguenza di una successione di eventi paleoclimatici, stratigrafici e geomorfologici che si sono succeduti nel tempo e dei quali oggi rappresenta l'apice o se le fitocenosi proprie di ambienti altomontani e di domini boreali sono oggi presenti nella pianura pisana-versiliese per traslazioni ecologiche episodiche recenti, senza connessioni con quelle pregresse, è stato affrontato lo studio di un campionamento effettuato su una carota estratta a sud del Lago di Massaciuccoli (Fig. 1).

CENNI GEOLOGICI E VEGETAZIONALI

Il Lago s'inserisce in una depressione compresa tra il fiume Magra e il Terrazzo di Livorno. In questa area, gli affioramenti di sedimenti quaternari appartengono nella maggior parte dei casi all'Olocene; i sedimenti del Pleistocene superiore sono in facies continentale e sono rappresentati dai coni di deiezione pedemontani (Federici, 1993). Non si conoscono tracce di sedimenti marini di questa età sul bordo occidentale di tale depressione, costituito dalle Alpi Apuane e dai Monti d'Oltre Serchio. Solo Sestini (1950) considera l'incisione su coni di deiezioni di alcuni torrenti apuani, in modo particolare del Torrente Frigido, ad una quota compresa tra 5 e 10 metri sul livello del mare, come testimonianza di un'antica linea di riva, dall'autore riferita al massimo della trasgressione versiliana.

(*) Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse (Dip.Te.Ris), Università di Genova.

(**) Dipartimento di Biologia Vegetale, Università di Firenze.

(***) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

(****) Dipartimento di Scienze Botaniche, Università di Pisa.

¹ Il presente studio rientra nel quadro delle ricerche stratigrafiche, paleoambientali, floristico-vegetazionali delle pianure costiere che da anni si svolgono presso i Dipartimenti di Scienze Botaniche e di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, il Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università di Firenze, il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova, ed è il frutto di una convenzione stipulata tra l'Ente Parco Migliarino, S. Rossore, Massaciuccoli ed il Dipartimento di Scienze Botaniche dell'Università di Pisa.

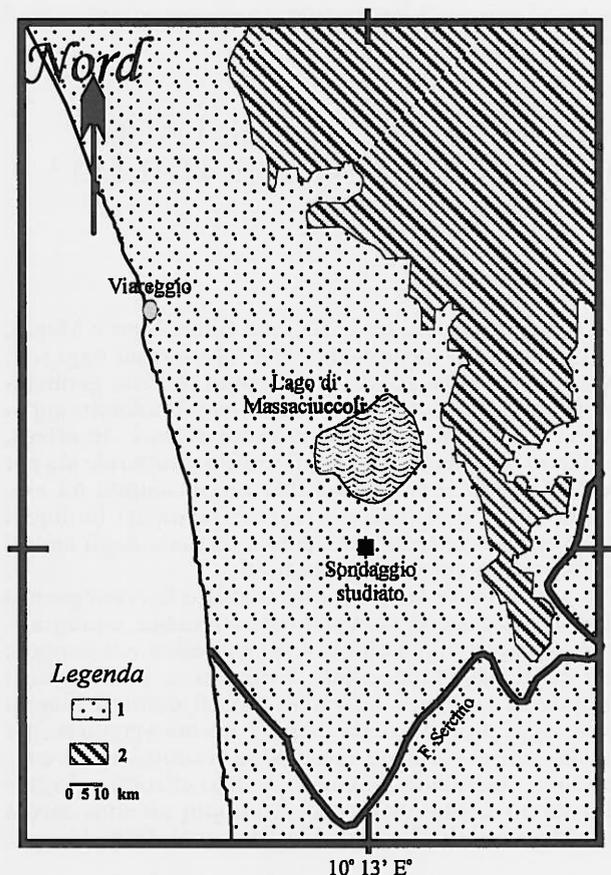


Fig. 1 - Area del bacino del Lago di Massaciuccoli, con la localizzazione del sondaggio ENEA (MaSE). 1: sedimenti quaternari; 2: sedimenti pre-neogenici.

Il bacino del Lago di Massaciuccoli è costituito da una pianura formata da una fascia litoranea sabbiosa e da una parte più interna costituita da paludi o paludi bonificate. La struttura della pianura della Versilia, prima dell'antropizzazione spinta alla quale è stata sottoposta, era costituita da successioni di coni di deiezione che si spegnevano contro cordoni dunari, paralleli alla linea di costa, alternati a «lame» d'acqua.

Questa area si è formata in tempi molto recenti a causa di fattori geologici e paleoclimatici che hanno provocato l'emersione della pianura della Versilia. In essa si è realizzato un equilibrio tra subsidenza ed apporto di materiale detritico dal continente dovuto al contributo del sistema fluviale Arno-Serchio. Per questa area – su una successione di sedimenti marini olocenici rinvenuti in alcuni sondaggi – Blanc (1942) istituiva il Piano Versiliano che rappresentava – e rappresenta per il Bacino Mediterraneo – l'ultimo ciclo trasgressivo (OIS 1) seguente all'ultima fase glaciale (OIS 2).

Nell'area di Massaciuccoli sono state eseguite ricerche stratigrafiche e biostratigrafiche, a partire dagli anni '30 (Federici, 1993 e bibl. rif.), basate fondamentalmente su sondaggi eseguiti per scopi diversi (es. idrici, di bonifica, di cava) ma, più recentemente, con pre-

cise finalità di studio. Bianciardi (1999) elenca 7 sondaggi dei quali esistono dati pubblicati e 14 di cui non esistono dati in letteratura.

Uno di questi sondaggi è stato eseguito dall'ENEA nel 1998 (43°49' N, 10°13' E), in un'area a sud del Lago di Massaciuccoli compresa tra Torre del Lago e Migliarino Pisano, nell'ambito di un progetto ENEA-MURST (Fig. 1). Si tratta di una successione profonda 90 metri che presenta le alternanze stratigrafiche tipiche di quest'area. Il sondaggio, a carotaggio continuo, è stato realizzato per i primi 16 metri con carotiere a rotazione mentre per i restanti 74 m con carotiere a percussione. I risultati dello studio di questo sondaggio (Antonoli *et al.*, 2000) hanno mostrato una successione che parte da livelli marini (tra 90 e 70 m dal piano campagna) assegnati allo stadio isotopico 5e (OIS 5e; Jansen, 1989) con misure di età ottenute con il metodo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ su esemplari di *Cladocora caespitosa* ($129,200 \pm 15,000$ ka e $132,800 \pm 15,000$ ka). Ad essi seguono depositi continentali fino a -34 metri dal piano campagna. Una superficie erosiva chiude questi depositi sui quali si incontrano sedimenti di ambiente palustre-salmastro che le misure di età (^{14}C in AMS) ci danno come appartenenti all'Olocene. In continuità di sedimentazione con essi, si incontrano quindi sedimenti marini che, insieme con i sedimenti salmastri precedenti, rappresentano la trasgressione versiliana. Quanto messo in evidenza da questo sondaggio rappresenta bene la successione sedimentaria del sottosuolo del bacino del Lago di Massaciuccoli.

Aver attribuito i sedimenti marini di fondo pozzo (70/90 m sotto il livello del mare) allo stadio isotopico 5e è sicuramente un buon punto di partenza per conoscere l'entità del tasso di subsidenza della zona. Sedimenti attribuiti allo stadio isotopico 5e si trovano nel Terrazzo di Livorno e, poco più a sud, nelle falesie di Quercianella e Castiglioncello, a quote comprese tra 5 e 10 m sul livello del mare attuale. Inoltre, sul Terrazzo di Livorno non è stata mai segnalata traccia di ingressioni attribuibili al Versiliano. Questo fatto, unito alla coincidenza di quote, potrebbe far ipotizzare un'età analoga per la linea di riva segnalata da Sestini (1950) che comporterebbe, quindi, un abbassamento della pianura della Versilia di 70-80 m in centomila anni.

Per quanto riguarda la flora e la vegetazione (Arrigoni, 1990; Corti, 1955; Ferrarini, 1977; Gellini *et al.*, 1986; Montelucci, 1964; Vagge & Biondi, 1999), recenti studi hanno evidenziato un alto numero di unità specifiche che, pur tendendo a rimanere costante, evidenzia sostanziali mutamenti qualitativi, a favore di unità ecologicamente e fitogeograficamente meno significative rispetto ad una cinquantina di anni fa, almeno per quanto riguarda l'area di S. Rossore (Garbari, 2000). Restano peraltro presenze di popolamenti di elevato significato bioecologico, probabile risultato sia di pregresse distribuzioni legate alle ultime fasi del glacialismo quaternario, sia di fenomeni recenti di endemizzazione, collegata alla genesi delle cimose costiere degli ultimi millenni (Garbari & Cecchi, 2000). Persistono, perfino in ambiti sinantropici legati alle bonifiche e alla canalizzazione della pianura pisana, entità rare e in pericolo di estinzione (Pedullà & Garbari, 2001).

Sono i biotopi palustri, o legati comunque all'acqua di falda superficiale, quelli dove la diversità vegetale meglio si esprime in termini bioecologici nelle aree planiziali della Toscana centro-settentrionale; le sponde del Lago di Massaciuccoli sono senza dubbio le più rilevanti al proposito. Anche recentemente, è stato qui possibile reperire una specie (Peruzzi *et al.* 2001) che, con quelle boreo-alpine già censite (Tomei *et al.*, 1986, 1995), testimonia quanto le zone umide possano contribuire a mantenere testimonianze di flore microterme a livelli altitudinali inconsueti, propri delle fitocenosi mediterranee o atlantiche.

Indagini paleobotaniche nel bacino di Massaciuccoli (Marchetti, 1935; Marchetti & Tongiorgi, 1936; Tongiorgi, 1936) sono state condotte su blocchi di torba cronologicamente riferibili alla seconda oscillazione dell'ultimo glaciale (18-20 ka; Alessio *et al.*, 1964, 1965; Broecker *et al.*, 1956). Durante questo periodo la pianura fu interessata da un clima continentale freddo che determinò lo sviluppo di una copertura forestale caratterizzata dalla dominanza di *Abies* e di specie di *Pinus*, quali *P. mugo* Turra e *P. sylvestris* L. Nel contempo, dovevano formarsi colonie microterme nelle aree paludose, come è testimoniato dal rinvenimento di semi di *Menyanthes trifoliata* L. All'interno di questa vegetazione di tipo subalpino dovevano sopravvivere elementi della vegetazione montana, elementi mesofili ed anche piante mediterranee. Tale permanenza avrebbe permesso la loro ripetuta espansione durante le oscillazioni climatiche più temperate.

Indagini preliminari sono state svolte anche sui depositi degli ultimi 5000 anni dello stesso bacino (Grassi *et al.*, 2000); esse hanno posto l'accento sullo sviluppo della vegetazione legata agli habitat acquatici e sull'impatto che l'uomo ha avuto sull'ambiente.

Altre indagini condotte su sedimenti quaternari della pianura costiera tra Pisa e Livorno (Galletti Fancelli, 1979) mostrano il succedersi di fasi più fredde, durante le quali la vegetazione subalpina doveva scendere a bassa quota, e di fasi più miti, nelle quali dominava il bosco montano, mentre nei sedimenti più recenti si registrano fasi di espansione di *Quercus decid.* (= specie decidue del genere *Quercus*) ed in generale del querceto.

Anche nella pianura costiera apuana sono stati trovati resti di *Fagus* ed *Abies* insieme a quelli di piante di acquitrini, a confermare l'insediarsi di queste piante a basso livello altitudinale (Ferrarini, 1969). Indagini palinologiche condotte in Versilia pongono l'accento sull'indigenato di *Castanea* in Italia (Ferrarini & Covella, 1985).

Per quanto riguarda l'entroterra pisano, in sondaggi eseguiti nel sottosuolo della città di Pisa e nella zona di Pontedera (Galletti Fancelli, 1971) sono stati trovati numerosi macroresti e microresti attribuibili a specie montane, come *Fagus* ed *Abies*, e ad elementi del querceto misto. Sono queste le formazioni forestali che risultano alternativamente dominanti durante l'Olocene.

I pochi dati disponibili dalle indagini palinologiche su carotaggi eseguiti nel padule di Fucecchio (Paoli & Cellai Ciuffi, 1980) e nel laghetto di Sibolla (Paoli &

Cellai Ciuffi, 1983) concordano sostanzialmente con gli altri dati bibliografici.

ANALISI POLLINICA

Metodi

Il materiale esaminato riguarda i circa 90 metri di sedimenti recuperati nell'ambito del sondaggio eseguito nel 1998 dall'ENEA descritto in precedenza. Una prima selezione dei campioni era già avvenuta al momento del loro prelievo (effettuato da R. Grassi), privilegiando i sedimenti a granulometria più fine, che con maggior probabilità conservano resti organici, fra cui polline e spore. Per questa fase di studio, su un totale di 290 campioni ne sono stati preparati per l'analisi pollinica complessivamente 44 (Fig. 3), scelti in funzione della disponibilità di radiodazioni, del tipo di sedimento, della distribuzione lungo la colonna stratigrafica. In particolare, dei primi 2,5 m sono stati preparati campioni ogni 50 cm circa, per un totale di 6, mentre nella restante porzione i campioni analizzati sono distanziati generalmente di 1,5 m. Tra 8,30 e 27,34 m è stato esaminato l'unico campione disponibile, presente a quota 15,73 m, nell'ambito di un potente pacco di sedimenti sabbiosi.

Di ogni campione è stato misurato il peso secco di un volume noto (2 cm³) di sedimento per poterne calcolare la concentrazione pollinica cioè il numero di granuli per grammo di sedimento [FPA = frequenza pollinica assoluta], secondo Accorsi & Rodolfi (1975). Per la preparazione dei campioni è stato utilizzato il metodo standard (HCl, HF, NaOH, esametafosfato di sodio). I campioni poveri in polline sono stati sottoposti a flottazione in liquido denso (soluzione di Thoulet di densità 1,88).

Il materiale preparato è stato esaminato al microscopio ottico a luce trasmessa a 400x oppure ad immersione in anisolo a 1000x; per l'identificazione ci si è avvalsi di atlanti e lavori monografici (Punt, 1976; Punt & Clarke 1980, 1981, 1984; Punt *et al.* 1988, 1995; Punt & Blackmore, 1989; Faegri & Iversen, 1989; Moore *et al.*, 1991; Reille, 1992, 1995, 1998) e del materiale di riferimento della palinoteca del Laboratorio di Palinologia e Archeobotanica del Dip. Te. Ris (Genova). Ove possibile, per ogni campione sono stati identificati almeno 300 granuli pollinici tra taxa arborei, arbustivi ed erbacei terrestri.

I diagrammi pollinici sono stati realizzati con il programma GpalWin (Goeury, 1997). Nella Figura 3 è rappresentato il diagramma di concentrazione che esprime il numero di granuli per grammo di sedimento essiccato; accanto a questo, le percentuali di taxa arborei permettono di valutare la copertura forestale. Nel diagramma pollinico percentuale (Figg. 4-6), i valori sono calcolati su una somma pollinica che include alberi, arbusti ed erbe di ambienti asciutti (*Total Land Pollen* = TLP) dalla quale sono escluse le erbee igrofile ed acquatiche (Cyperaceae, Juncaceae, *Filipendula ulmaria*, *Lythrum*, *Sparganium/Typha angustifolia*, *T. latifolia*, *Butomus*, *Callitriche*, *Potamogeton*, *Hydrocotyle*, *Myriophyllum*) e le spore

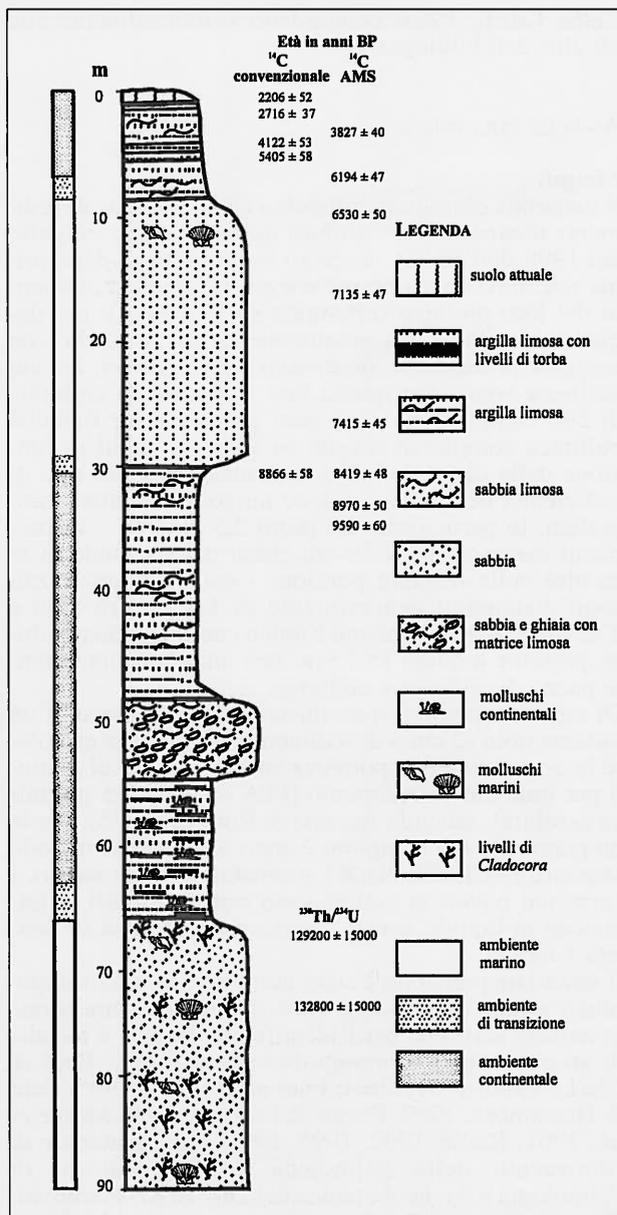


Fig. 2 - Schema stratigrafico dei sedimenti messi in luce dal sondaggio ENEA; sono indicate le principali tipologie sedimentarie e le datazioni radioisotopiche (modificata da Bianciardi, 1999).

di Felci. Alcune curve comprendono sinteticamente più taxa identificati, es. Asteroideae = t. *Cirsium*, t. *Senecio*, t. *Bellis* e altre *Asteroideae* non ulteriormente identificabili. Gli spettri pollinici dei campioni a contenuto pollinico insufficiente non compaiono nel diagramma, ma sono segnalati con un tratto nella colonna delle profondità (Fig. 3).

Risultati e discussione

Il diagramma di concentrazione (Fig. 3) relativo ai campioni osservati mostra una grande variabilità del contenuto pollinico.

La diversità floristica negli spettri pollinici è valutabile come numero di taxa identificati, pur con la limitazione dovuta all'impossibilità di determinare i granuli fino al livello specifico; nei campioni riportati nel diagramma pollinico, il numero di taxa identificati è mediamente di 34, con un massimo di 49 nel livello più superficiale (39 cm) (Fig. 3).

Sulla base della distribuzione dei campioni e della concentrazione pollinica di quelli esaminati, si può suddividere il sondaggio in tre sequenze sedimentarie più o meno omogenee (MaSE-I, MaSE-II e MaSE-III); al loro interno, tuttavia, si riconoscono fasi polliniche distinte (Fig. 3).

MaSE-I

I sedimenti tra 90 e 55 m corrispondono alla prima sequenza, suddivisibile in due sottofasi nettamente distinte:

1. Tra 90 e 68 m circa, i sedimenti sono costituiti da sabbie marine, talvolta limose. I campioni a 68 e 72 m di profondità, in base alle datazioni radiometriche (129200 ± 15000 e 132800 ± 15000 anni B.P.), sono stati riferiti all'ingressione marina eutirreniana (Antonioli *et al.*, 2000) e dovrebbero quindi corrispondere allo stadio isotopico 5e. Lo spettro pollinico non presenta caratteristiche tali da poter essere attribuito ad una fase di clima caldo; durante l'Eemiano (OIS 5e), infatti, doveva essersi sviluppata una copertura forestale particolarmente ricca di elementi termofili (Follieri *et al.*, 1988).

I taxa più rappresentati sono, tra le conifere, *Pinus*, in gran parte del tipo pollinico *P. sylvestris/mugo*; tra le latifoglie *Ulmus*, *Alnus*, *Corylus*, *Quercus* ed altre essenze decidue (Fig. 4); tra le erbacee (in totale poco meno del 40%), le più abbondanti sono Poaceae e Chenopodiaceae; tra le specie di acqua dolce è presente *Potamogeton* che supera il 2%. Infine, le felci sono ben rappresentate (oltre 7%). Doveva trattarsi di un paesaggio dominato da boschi di latifoglie meso-termofile, con formazioni a *Pinus*. In prossimità della costa, presso il punto di campionamento, la falda doveva emergere creando habitat idonei allo sviluppo di una flora idrofila. La contemporanea presenza di Chenopodiaceae nel diagramma pollinico suggerisce formazioni erbacee proprie di terreni aridi e/o salsi.

2. Subito al di sopra dei precedenti (68-55 m circa), si trovano sedimenti di ambienti di transizione sovrastati da depositi a carattere nettamente continentale (Fig. 2). Questa è la parte del «Sondaggio ENEA» più promettente per una ricostruzione delle dinamiche paleoambientali di lungo periodo. La mancanza di datazioni non permette tuttavia di collocare cronologicamente con sicurezza questi sedimenti continentali che sono stati attribuiti alla fase isotopica 4 e/o alla 2 (Antonioli *et al.*, 2000).

Il rapporto arboree/non arboree (AP/NAP) supera il 67% (Fig. 3) in tutti i campioni, eccezion fatta per quello a 55 m in cui le AP non raggiungono il 40%. Ciò suggerisce un paesaggio prevalentemente forestale che si impoverisce nel livello più recente.

I taxa forestali più rappresentati in questa fase sono

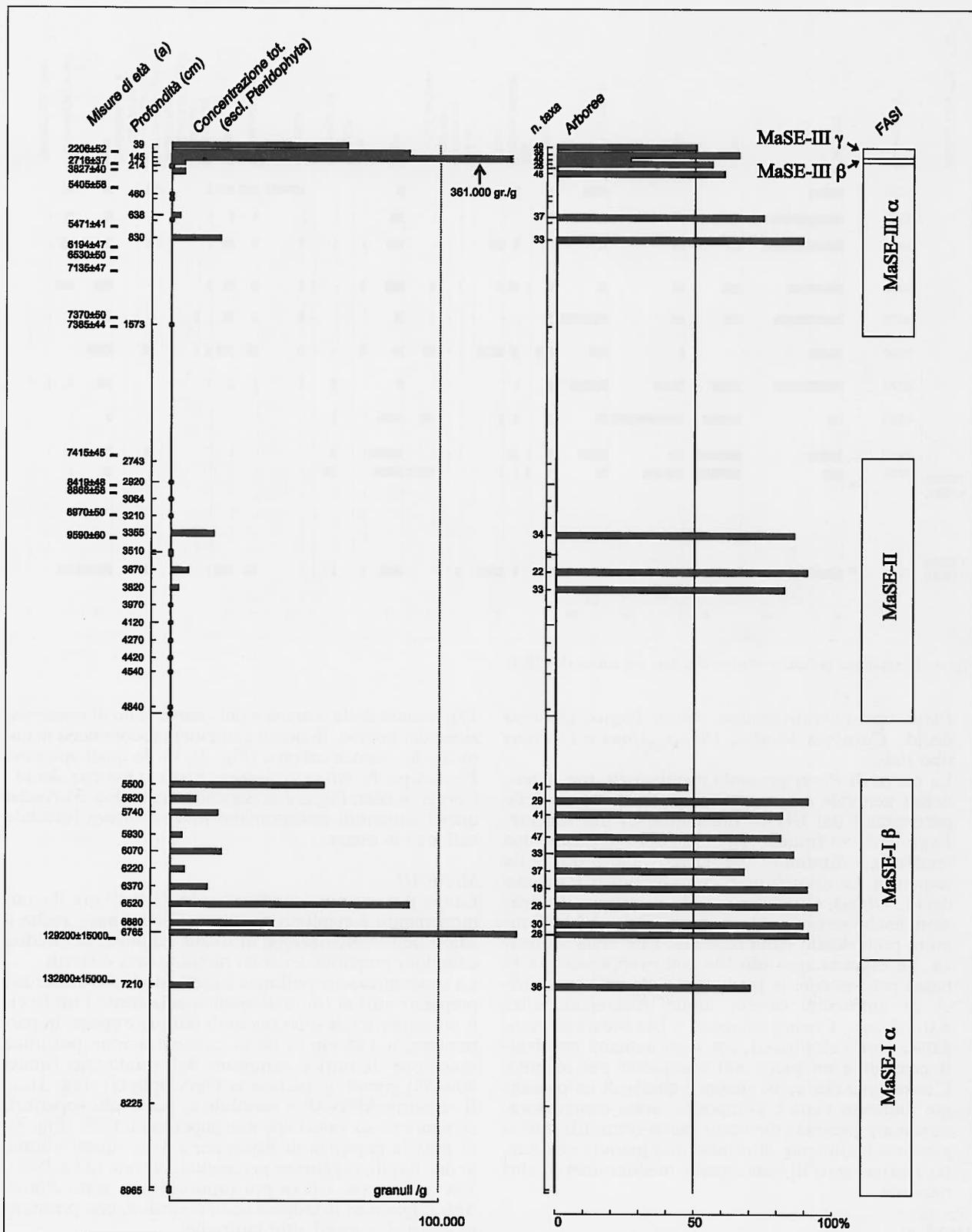


Fig. 3 - Diagrammi della concentrazione pollinica (FPA) e del tasso di afforestamento (AP/NAP); compaiono i livelli di cui è stata eseguita l'analisi pollinica e la suddivisione in fasi adottata.

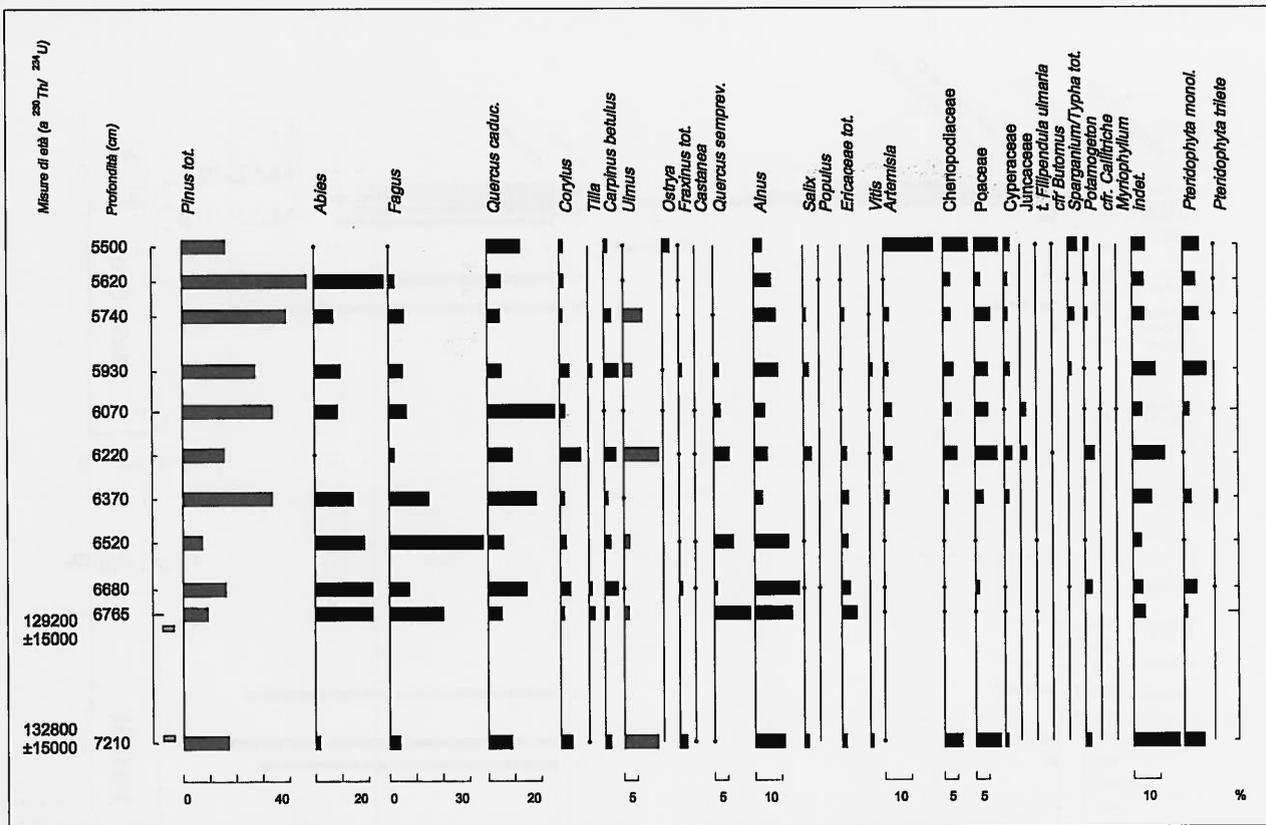


Fig. 4 - Diagramma pollinico relativo alla fase più antica (MaSE-I).

Pinus tipo *sylvestris/mugo*, *Abies*, *Fagus*, *Quercus* decid., *Carpinus betulus*, *Ulmus*, *Alnus* e *Quercus* tipo *ilex*.

La curva di *Pinus* presenta oscillazioni, ma la tendenza generale è verso un graduale aumento delle percentuali dal livello più antico al più recente. *Fagus* e *Abies* (tranne che a 56,20 m) mostrano una tendenza a diminuire dal basso verso l'alto della sequenza. Le caducifoglie meso-termofile (*Quercus* decid., *Ulmus*, *Carpinus*, *Corylus*) mostrano fluttuazioni anche sensibili. *Quercus* tipo *ilex* tende a diminuire procedendo dalla base alla fine della sequenza. Le erbacee igro-idrofile sono rappresentate in bassa percentuale; le piante generalmente indicatrici di ambiente xerico, come *Artemisia*, altre Asteroideae, Chenopodiaceae e Brassicaceae compaiono con valori bassi, con lievi aumenti nei livelli centrali e un picco nel campione più recente. L'immagine che se ne ricava è quella di un paesaggio piuttosto vario e composito: sono contemporaneamente presenti elementi meso-termofili che si possono facilmente attribuire alla pianura costiera, taxa termo-xerofili francamente mediterranei ed altri montani.

MaSE-II

Tra 49 e 27 m, solo pochi dei campioni preparati hanno permesso di effettuare un conteggio significativo (3 su

17), a causa della scarsità e del cattivo stato di conservazione del polline. In questi campioni predominano nettamente le essenze arboree (Fig. 3), tra le quali spiccano *Pinus* tipo *P. sylvestris/mugo*, *Abies*, *Quercus* decid., *Corylus* e *Tilia*; *Fagus* è pressoché assente (Fig. 5). Anche questi campioni testimoniano una copertura forestale nell'area in esame.

MaSE-III

Lungo il tratto più superficiale (15,73-0,39 m), il campionamento è risultato piuttosto discontinuo, anche a causa dell'intercalazione di livelli sabbiosi; dei tredici campioni preparati sei sono molto poveri o sterili.

La concentrazione pollinica è piuttosto bassa anche nei preparati utili ai fini dell'analisi; solamente i tre livelli più superficiali sono ricchi di polline e spore; in particolare, a 145 cm si ha la concentrazione pollinica maggiore di tutti i campioni del sondaggio (quasi 400.000 granuli/g, incluse le Pteridophyta) (Fig. 3).

Il rapporto AP/NAP è variabile e, nei livelli superiori, si mantiene su valori che non superano il 67% (Fig. 3). Si nota la presenza di Ericaceae e *Vitis*; quest'ultima, in due livelli, raggiunge percentuali elevate (27 e 39%). Tra le arboree, i taxa più rappresentati sono *Pinus*, *Abies*, *Quercus* decidue e sempreverdi e, con presenze inferiori, *Fagus* ed altre latifoglie.

Da segnalare l'abbondanza delle Chenopodiaceae a 145 cm di profondità, con oltre il 45% e una concen-

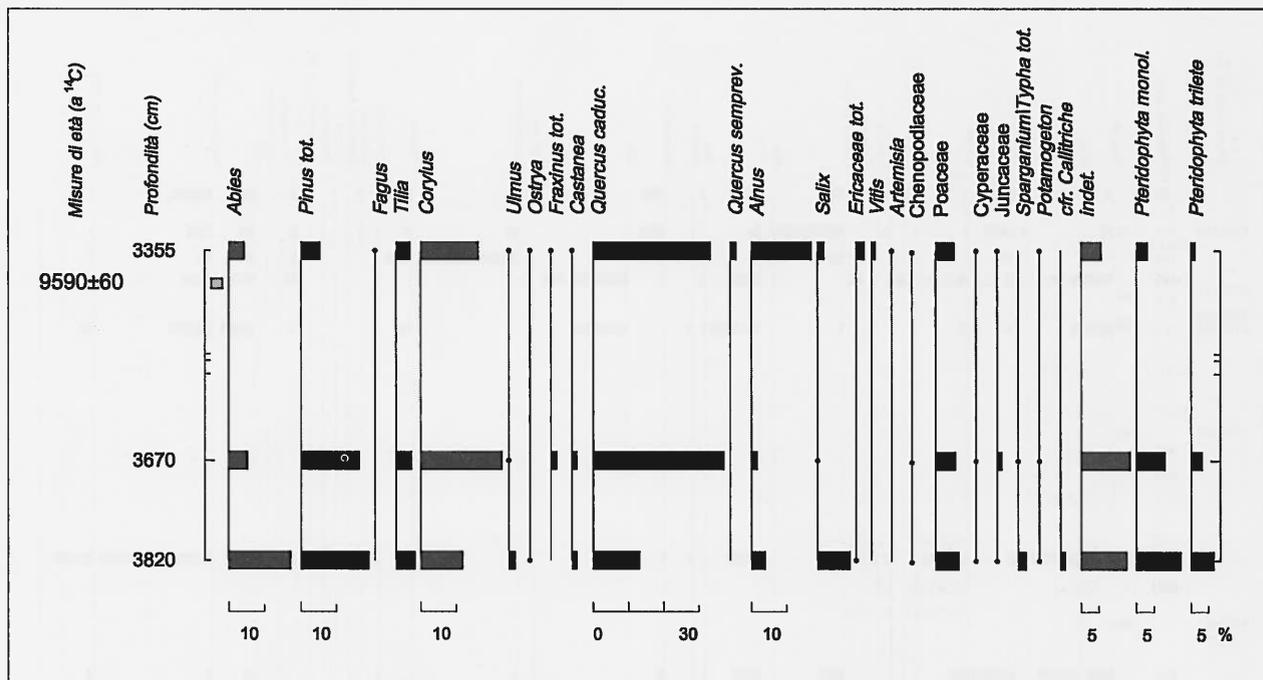


Fig. 5 - Diagramma pollinico relativo alla fase intermedia (MaSE-II).

trazione pollinica assoluta di 152.000 granuli/g; questo picco isolato non ha alcun riscontro in altri diagrammi pollinici della regione tirrenica e fa pensare ad un fenomeno locale; purtroppo, non è stato possibile individuare quali specie possano aver dato luogo a questo episodio.

Castanea è presente qua e là in tutto il sondaggio, ma sempre in quantità molto basse: solamente a 1,80 m supera la soglia del 7%; ciò sembra, comunque, confermare l'indigenato di questa specie – come suggerito da diversi autori (Ferrarini & Covella, 1985; Paganelli & Miola, 1991) – nell'Italia centrale e settentrionale e lo stesso si potrebbe osservare per *Juglans*. *Olea* compare nello spettro in modo discontinuo.

I campioni con i maggiori valori percentuali di *Vitis* sono quelli corrispondenti a 2,61 e 1,80 m (Fig. 6). Anche i diagrammi pollinici di due sondaggi effettuati nei dintorni del Lago di Massaciuccoli (Bianciardi, 1999; Grassi *et al.*, 2000) presentano curve continue di *Vitis* nei livelli più superficiali. È quindi ipotizzabile che la vite fosse coltivata nella regione, probabilmente anche intorno all'area del sondaggio ENEA, come suggerito dalle percentuali elevate. In base alle datazioni, risulta che la coltivazione della vite sarebbe quindi iniziata molto precocemente: il picco più antico è collocato a 2,61 m dal piano di campagna, in posizione cronologicamente anteriore alla data di 4122 ± 53 B.P., attribuita al campione prelevato a 260 cm di profondità (Fig. 6). Questi dati, se confermati da ulteriori approfondimenti, sposterebbero l'inizio della coltivazione della vite in Italia ad un periodo antecedente rispetto a quanto fino ad ora noto (Zohary & Hopf, 2000; Paganelli, 2000).

In sintesi, da un punto di vista stratigrafico, i risultati ottenuti ci permettono di precisare meglio la successione riscontrata nel sondaggio. Da 70 a 55 m, la successione delle litologie e del contenuto fossilifero dei sedimenti può far ipotizzare una classica chiusura di ciclo. Si passa, infatti, da sedimenti francamente marini a sedimenti che gradatamente passano a sedimenti salmastri (da 69 a 67 m), testimoniati dal ritrovamento di fossili di ambiente ipolino (*i.e.* *Cerithium*) fino a sabbie e limi con fossili d'acqua dolce (da 67 m). Questa successione è sormontata da una formazione a ciottoli di almeno 4 m di spessore, alla quale seguono sabbie ed argille contenenti ancora ciottoli per altri 6 m. I risultati dello studio palinologico indicano che da 68 a 55 m si ha un rapporto AP/NAP elevato ($> 67\%$) che diminuisce bruscamente a valori inferiori a 40% a 55 m, quando inizia la successione ciottolosa. Inoltre, a 69 m p.c. si ha una misura ^{14}C maggiore di 53,500 ka. Questo induce a pensare che tutta questa porzione del sondaggio rappresenti lo stadio isotopico 5 (OIS 5), di mare alto (OIS 5e) con la naturale chiusura del ciclo stesso (vedi schema stratigrafico di Fig. 7); i sedimenti passano gradualmente da marini a salmastri fino ad ambiente di acqua dolce. Il brusco abbassarsi della percentuale AP/NAP a 55 m ed i contemporanei picchi di *Artemisia* e *Chenopodiaceae* ci possono indicare l'inizio di un periodo più arido e quindi «freddo», attribuibile allo stadio isotopico 4. La deposizione di ciottoli indica, inoltre, un momento di forte erosione, quindi di mare basso, che potrebbe essere attribuito agli stadi isotopici 4 o 2.

I risultati dello studio palinologico indicano, però, che i sedimenti successivi alla sedimentazione a ciottoli

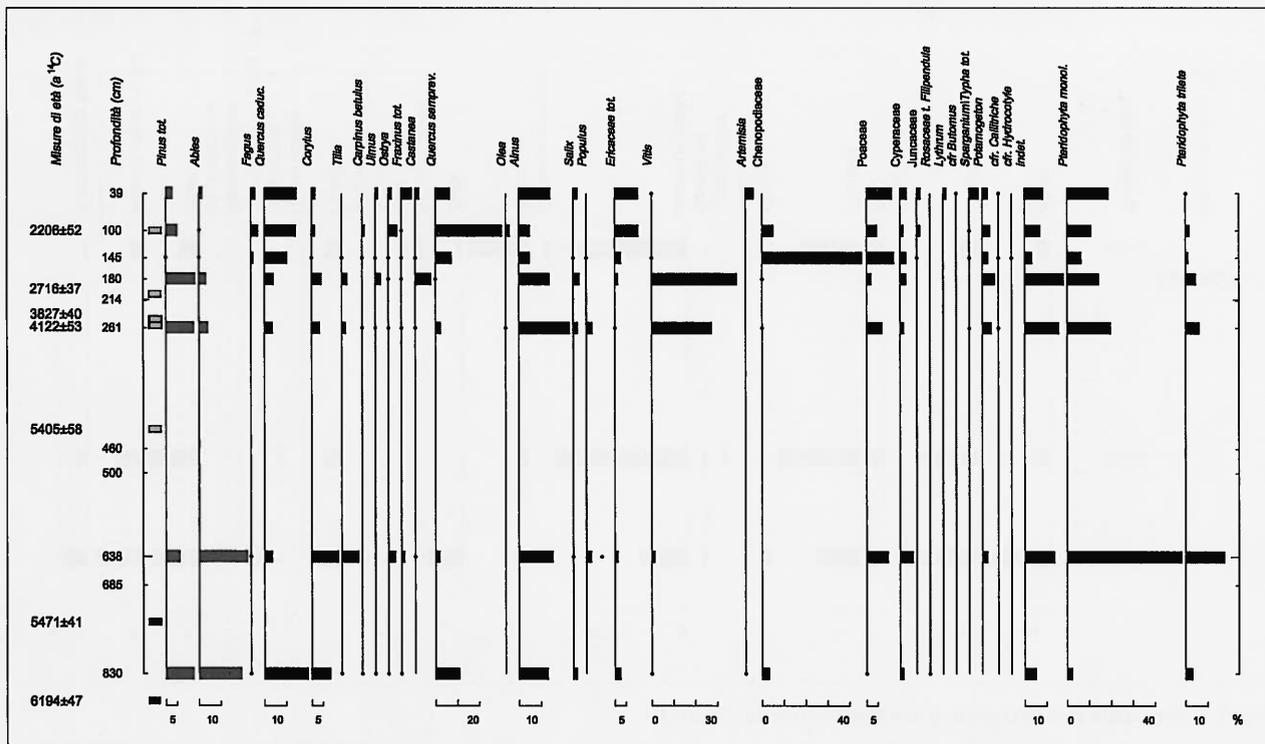


Fig. 6 - Diagramma pollinico relativo alla fase più recente (MaSE-III).

hanno una prevalenza di arboree e la mancanza di *Fagus*. Le misure di età con il metodo ^{14}C indicano come a 34 m si sia già nell'Olocene, in pratica nell'ultimo ciclo della storia della Terra: la trasgressione versiliana. È molto probabile, quindi, che tutta la sedimentazione compresa tra 48 e 30 m p.c. sia da attribuire all'inizio della trasgressione versiliana, durante la quale il mare ha raggiunto la pianura della Versilia solo circa 9000 anni fa. Il livello a ciottoli rappresenterebbe, secondo questa ipotesi, il livello isotopico 2 (OIS 2; vedi Fig. 7).

Da una lettura globale del diagramma pollinico risulta che in generale le piante arboree prevalgono sulle erbacee che assumono maggiore importanza solo nei livelli superiori. Il genere *Pinus* è costantemente ben rappresentato (Figg. 4-6), anche se da specie con caratteristiche ecologiche diverse: nei livelli inferiori, dove raggiunge le percentuali più alte, dominano i pini di clima continentale o microtermi; nei livelli più recenti coesistono un maggior numero di morfotipi pollinici e quindi, probabilmente, più specie diverse. Tra le specie arboree mesofile, la più rappresentata è *Abies* che compare in percentuali variabili lungo tutto il diagramma (Figg. 4-6); meno costante è *Fagus* che, tuttavia, negli otto metri più superficiali mostra un lieve incremento proprio in corrispondenza del declino di *Abies*. *Quercus* (con specie decidue) raggiunge percentuali elevate, soprattutto nella parte centrale del diagramma, laddove le sempreverdi subiscono un declino. *Alnus* è presente in tutti i livelli del sondaggio

(Figg. 4-6). Da notare la presenza, anche se sporadica, di *Castanea* lungo tutto il sondaggio (Figg. 4-6).

Tra le piante erbacee, accanto alle Poaceae compaiono sempre le Cyperaceae e, in bassa percentuale, altre igrofite ed idrofite (Figg. 4-6). Le piante di ambienti aridi e/o salmastri presentano picchi isolati nel diagramma (Figg. 4, 6).

Se tentiamo di ripercorrere la storia della vegetazione dell'area di Massaciuccoli, i risultati ottenuti suggeriscono che circa 130.000 anni fa la pianura costiera ed i rilievi ad essa contermini dovevano essere interessata da formazioni boschive in buona parte costituite da *Pinus mugo* e/o *P. sylvestris*. Non mancavano tuttavia, in stazioni climaticamente più favorevoli, lembi di foreste di latifoglie decidue, mentre le concentrazioni polliniche di igrofite, sia arboree che erbacee, e di idrofite testimoniano la presenza di specchi di acque dolci o debolmente salmastre.

Dopo un notevole salto temporale, troviamo una situazione nel complesso abbastanza simile alla precedente, dove tuttavia vanno alternativamente acquistando importanza *Abies*, *Fagus* e altre latifoglie decidue, prima tra tutte *Quercus*. L'espansione di formazioni forestali di tipo montano mesofilo e collinare-planiziaro induce a pensare ad un miglioramento climatico accompagnato da una maggiore umidità.

Il livello più recente della parte inferiore della carota (55 m) suggerisce che le condizioni ambientali dovettero mutare: dallo spettro, infatti, le formazioni forestali risultano in regressione e così pure diminuiscono

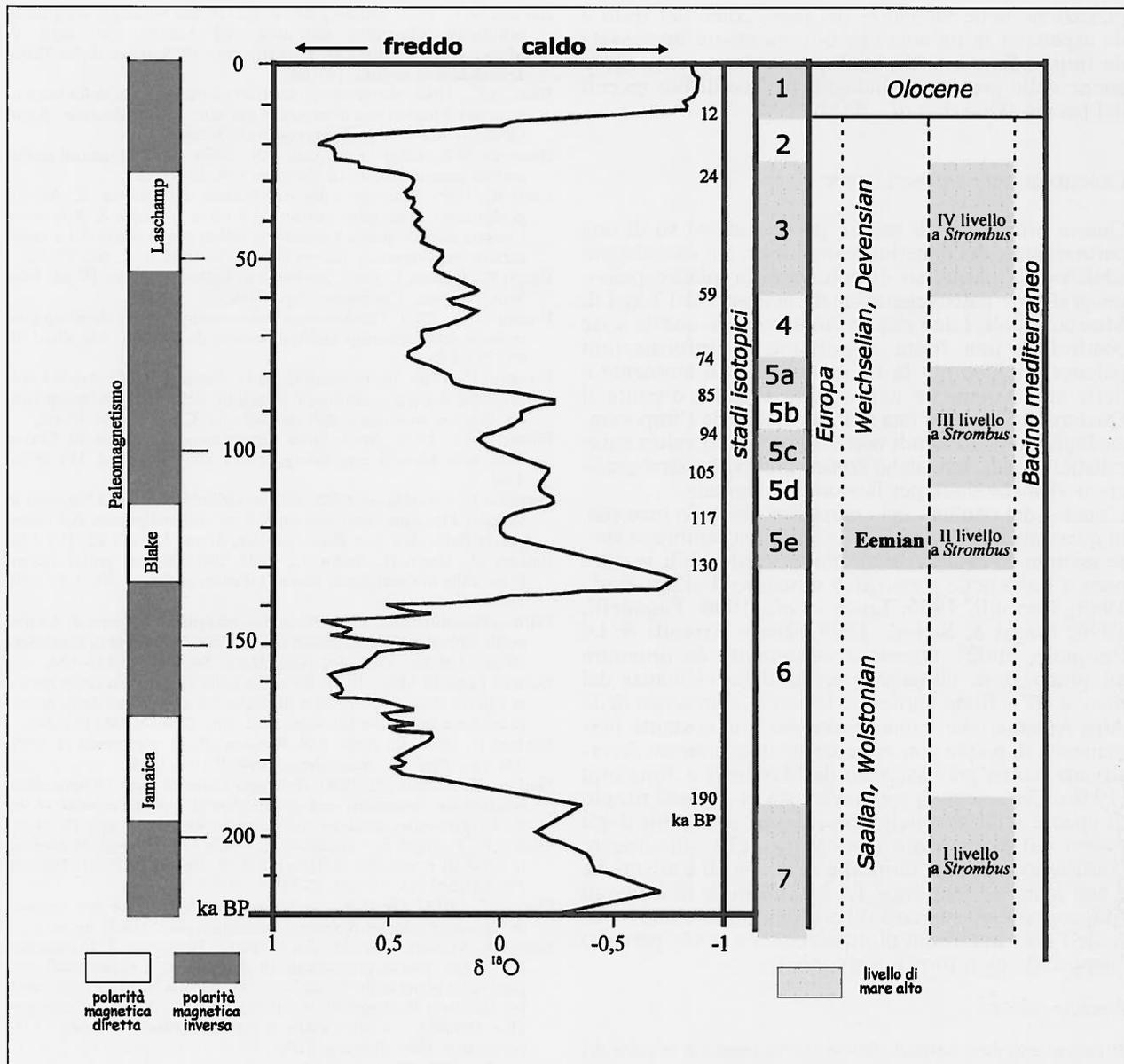


Fig. 7 - Relazioni tra stadi isotopici, livelli di mare alto, paleoclima e polarità magnetica [i dati del paleomagnetismo sono tratti da Pouliquen et al., 2001; i dati sugli stages isotopici (OIS) sono tratti da Tiedemann et al., 1994].

le piante legate ad habitat di acqua dolce; contemporaneamente si assiste all'espansione di *Artemisia*, Poaceae e Chenopodiaceae. L'area doveva perciò risultare più aperta e dovevano aver assunto maggior estensione i substrati aridi e/o salmastri.

Attorno a 9500 anni fa, i pochi dati disponibili indicano una progressiva espansione delle formazioni vegetali collinari e planiziarie, mentre il bosco montano risulta in regressione. Le igrofite arboree sono abbondanti, mentre le piante acquatiche sono più rare, forse per la presenza di una falda superficiale, ma raramente emergente.

La parte superiore della carota mostra curve polliniche irregolari ad indicare un succedersi di condizioni diver-

se. Queste dovettero agire, comunque, su un contesto di pianura mediamente forestata, con estesi ambienti di acqua dolce e/o debolmente salmastra. In questo contesto generale risalta, tra 2700 e 2200 anni fa, la notevole espansione delle Chenopodiaceae, in corrispondenza di un declino generale delle piante arboree.

In base alla presenza del polline di piante coltivate, si è potuto valutare quale sia stato l'impatto dell'uomo sul territorio. Dai risultati ottenuti emerge, nella parte superiore della carota, la comparsa di polline di *Olea* e un incremento delle percentuali di *Vitis* e *Castanea*, tutte piante che l'uomo con molta probabilità coltivava. Tuttavia, non si hanno segnali di una pesante antro-

pizzazione nelle vicinanze del lago, come del resto è da aspettarsi in un'area che doveva essere interessata da impaludamenti. Un analogo risultato era emerso anche dalle precedenti indagini nei livelli più recenti del bacino (Grassi *et al.*, 2000).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Questa prima fase di studio, pur basandosi su di una parte soltanto del materiale campionato dal «Sondaggio ENEA», ha permesso di delineare un quadro paleogeografico e paleovegetazionale nell'area del Lago di Massaciuccoli. I dati ricavati indicano che questa serie costituisce una fonte importante di informazioni paleoecologiche per la ricostruzione dell'ambiente e delle sue dinamiche nell'attuale Versilia durante il Quaternario. Ancora una volta si evidenzia l'importanza degli ambienti umidi non solo per i loro valori naturalistici attuali, ma anche come «archivi biostratigrafici» o «banche dati» per la storia ambientale.

L'analisi dei risultati, nel complesso, mette in luce che, in quest'area, i mutamenti climatici non sembrano avere assunto le caratteristiche marcate rilevabili in altre parti d'Italia nello stesso arco di tempo (Follieri *et al.*, 1988; Bertoldi, 1996; Lowe *et al.*, 1996; Paganelli, 1996; Magri & Sadori, 1999; Russo Ermolli & Di Pasquale, 2002). Questo è certamente da imputare all'attenuazione climatica operata dalla vicinanza del mare e all'«effetto barriera», legato alla presenza delle Alpi Apuane, che hanno permesso una costante permanenza di piante con esigenze ecologicamente diversificate, come già osservato da Marchetti e Tongiorgi (1936). Ciò spiega la sopravvivenza in stazioni rifugio di specie microtermiche, insediatesi a seguito degli eventi del glacialismo quaternario, che attualmente coesistono con unità termofile subtropicali e atlantiche e con unità mediterranee. La commistione di elementi fitogeograficamente così diversi determina l'alto valore dell'area in termini di biodiversità e rende pertanto auspicabile ogni forma di sua tutela.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la dott. Raffaella Grassi che ha curato la raccolta dei campioni da sottoporre all'analisi palinologica.

BIBLIOGRAFIA

- Accorsi C.A., Rodolfi G., 1975. Primi risultati sullo studio di un suolo calcimorfo delle Alpi Apuane in relazione ad analisi palinologiche e microbiologiche. *Boll. Soc. Ital. Scienze Suolo* 9: 35-51.
- Alessio M., Bella F., Bachechi F., Cortesi C., 1965. University of Rome Carbon-14 Date. III. *Radiocarbon* 8: 213-222.
- Alessio M., Bella F., Cortesi C., 1964. University of Rome Carbon-14 Date. II. *Radiocarbon* 6: 72-90.
- Antonoli F., Girotti O., Improta S., Nisi M.F., Puglisi C., Verrubbi V., 2000. Nuovi dati sulla trasgressione marina olocenica nella pianura versiliese. In: Barchesi P., Angelelli A., Forni S. (eds). Atti del Convegno «Le Pianure - Conoscenza e salvaguardia», Ferrara, 8-11 Novembre 1999. Ferrara: 214-218.
- Arrigoni P.V., 1990. Flora e vegetazione della Macchia lucchese di Viareggio (Toscana). *Webbia* 44 (1): 1-62.
- Bertoldi R., 1996. Pre-holocene and holocene palynological outlines of Western Padania. *Allionia* 34: 137-147.
- Bianciardi T., 1999. Studio palinologico di due sondaggi eseguiti in sedimenti olocenici nell'area del bacino del lago di Massaciuccoli (Lucca). Dipartimento di Scienze della Terra, Tesi di laurea inedita, 147 pp.
- Blanc A.C., 1942. Variazioni climatiche ed oscillazioni della linea di riva nel Mediterraneo centrale durante l'Era Glaciale. *Sond. Geologie Meere Binnenengwasser* 5, 50-90.
- Broecker W.S., Kulp J.L., Tucek C.S., 1956. Lamont natural radio-carbon measurements III. *Science* 124: 154-165.
- Corti R., 1955. Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria. X. Aspetti geobotanici della selva costiera. La selva pisana a S. Rossore e l'importanza di questa formazione relitta per la storia della vegetazione mediterranea. *Nuovo Giorn. Bot. Ital.* n. s., 62: 75-262.
- Faegri K., Iversen J., 1989. Textbook of Pollen Analysis. IV ed. John Wiley & sons, Chichester, New York.
- Federici P.R., 1993. The Versilian transgression of the Versilian area in the light of drillings and radiometric data. *Mem. Soc. Geol. It.* 49: 217-225.
- Ferrarini E., 1969. In: Francini Corti E., Reperti fossili. Analisi polliniche e dei legni subfossili. Quaderni della Ricerca scientifica, 60, Scienze sussidiarie dell'archeologia. CNR, Roma: 65-66.
- Ferrarini E., 1977. Studi sulla vegetazione litoranea di Massa (Toscana). *Mem. Accad. Lunig. Sc. «G. Capellini»* Vol. 41 (1971): 3-44.
- Ferrarini E., Covella G., 1985. Analisi pollinica di fanghi lagunari in Versilia (Toscana) con considerazioni sull'indigenato del castagno in Italia. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie B* 92: 167-176.
- Follieri M., Magri D., Sadori L., 1988. 250,000-year pollen record from Valle di Castiglione (Roma). *Pollen et Spores* 30 (3-4): 329-356.
- Galletti Fancelli M.L., 1971. Ricerche sulla pianura pisana. I. Analisi polliniche di sedimenti quaternari lacustri della zona di Pontedera (Pisa). *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A* 78: 118-134.
- Galletti Fancelli M.L., 1979. Ricerche sulla subsidenza della pianura pisana. Analisi polliniche di sedimenti quaternari della pianura costiera tra Pisa e Livorno. *Boll. Soc. Geol. It.* 98: 197-245.
- Garbari F., 2000. La flora di S. Rossore (Pisa) aggiornata al 1999. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B* 107: 11-42.
- Garbari F., Cecchi O., 2000. *Solidago litoralis* Savi (Asteraceae): typification, taxonomy and distribution of a plant endemic of the N-W Tyrrhenian seashores of Tuscany. *Webbia* 54 (2): 183-192.
- Gellini R., Pedrotti F., Venanzoni R., 1986. Le associazioni forestali ripariali e palustri della selva di S. Rossore (Pisa). *Docum. Phytosociol.* n.s. 10 (2): 27-41.
- Goeury C., 1997. Gestion, traitement et représentation des données de la paléocologie. XVème Symposium de l'APLF, Lyon: 31.
- Grassi R., Mariotti Lippi M., Zanchetta G., Bianciardi T., Bonadonna F.P., 2000. Studio preliminare di due sondaggi superficiali eseguiti nella piana della Bassa Versilia (Toscana Nord-Occidentale). In: Barchesi P., Angelelli A., Forni S. (eds). Atti del Convegno «Le Pianure - Conoscenza e salvaguardia», Ferrara, 8-11 Novembre 1999. Ferrara: 219.
- Jansen E., 1989. The use of stable oxygen and carbon isotopes stratigraphy as a dating tool. *Quaternary International* 1: 151-166.
- Lowe J.J., Accorsi C.A., Bandini Mazzanti M., Bishop A., Van der Kaars S., Forlani L., Mercuri A.M., Rivalenti C., Torri P., Watson C., 1996. Pollen stratigraphy of sediment sequence from lakes Albano and Nemi (near Rome) and from the central Adriatic, spanning the interval from oxygen isotope Stage 2 to the present day. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 55: 71-98.
- Magri D., Sadori L., 1999. Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico, central Italy. *Veget. Hist. Archaeobot.* 8: 247-260.
- Marchetti M., 1935. Una torba glaciale del Lago di Massaciuccoli. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Proc. Verb.* 43-44: 143-150.
- Marchetti M., Tongiorgi E., 1936. Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria Marittima. VII. Una torba glaciale del Lago di Massaciuccoli (Versilia). *Nuovo Giorn. Bot. Ital.* 43 (4): 872-884.
- Mazzanti R. (a cura di), 1994. La Pianura di Pisa e i rilievi contermini. Società Geografica Italiana, 491 pp.
- Montelucci G., 1964. Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria marittima. XIII. Materiali per la flora e la vegetazione di Viareggio. *Webbia* 19: 73-347.

- Moore P.D., Webb J.A., Collison M.E., 1991. Pollen analysis. II. Ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 216 pp.
- Paganelli A., 1996. Evolution of vegetation and climate in the Veneto-Po plain during the Late-glacial and the early Holocene using pollen-stratigraphic data. *Il Quaternario* 9: 581-590.
- Paganelli A., 2000. Alcuni dati sulla storia della coltura dell'olivo e della vite nel Bacino Benacense (Nord Italia) attraverso l'analisi pollinica. Agricoltura, Musei, Trasmissione dei saperi. Atti II Conv. Naz. Musei Agricoli ed Etnografici, Verona 13-14/2/1998. A cura di G. Volpato: 33-44.
- Paganelli A., Miola A., 1991. Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) as an indigenous species in Northern Italy. *Il Quaternario* 4: 99-106.
- Paoli P., Cellai Ciuffi G., 1980. Ricerche palinologiche nel Padule di Fucecchio. Min. Agr. e Foreste. Progetto Pilota per la salvaguardia e valorizzazione del padule di Fucecchio: 265-280.
- Paoli P., Cellai Ciuffi G., 1983. Contributo palinologico allo studio dei sedimenti stratigrafici del laghetto di Sibolla. Min. Agr. e Foreste. Progetti di studi per la salvaguardia del laghetto di Sibolla: 81-88.
- Pedullà M.L., Garbari F., 2001. Piante d'interesse biogeografico-ecologico nei canali di bonifica della pianura pisana. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B* 108: 113-117.
- Peruzzi L., Garbari F., Bottega S., 2001. *Symphytum tanaicense* (Boraginaceae) new for the Italian flora. *Willdenowia* 31: 33-41.
- Pouliquen G., Gallet Y., Patriat P., 2001. A geomagnetic record over the last 3.5 million years from deep-sea magnetic anomaly profiles across the Central Indian Ridge. *Journal of Geophysical Research* 106 B6: 10.941-10.960.
- Punt W. (ed.), 1976. The Northwest European Pollen Flora, I. Elsevier, Amsterdam, 145 pp.
- Punt W., Blackmore S. (eds), 1989. The Northwest European Pollen Flora, VI. Elsevier, Amsterdam, 275 pp.
- Punt W., Blackmore S., Clarke G.C.S. (eds), 1988. The Northwest European Pollen Flora, V. Elsevier, Amsterdam, 154 pp.
- Punt W., Blackmore S., Hoen P.P. (eds), 1995. The Northwest European Pollen Flora, VII. Elsevier, Amsterdam, 275 pp.
- Punt W., Clarke G.C.S. (eds), 1980. The Northwest European Pollen Flora, II. Elsevier, Amsterdam, 265 pp.
- Punt W., Clarke G.C.S. (eds), 1981. The Northwest European Pollen Flora, III. Elsevier, Amsterdam, 138 pp.
- Punt W., Clarke G.C.S. (eds), 1984. The Northwest European Pollen Flora, IV. Elsevier, Amsterdam, 369 pp.
- Reille M., 1992. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. URA CNRS, Marseille.
- Reille M., 1995. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord - Supplement 1. URA CNRS, Marseille.
- Reille M., 1998. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord - Supplement 2. URA CNRS, Marseille.
- Russo Ermolli E., Di Pasquale G., 2002. Vegetation dynamics of south-western Italy in the last 28 Kyr inferred from pollen analysis of a Tyrrhenian Sea core. *Veget. Hist. Archaeobot.* 11: 211-219.
- Sestini A., 1950. Un'antica ripa marina nella pianura costiera apuana. *Atti Soc. Tosc. Nat., Serie A* 57: 5 pp.
- Tiedemann R., Sarnthein M., Shackleton N.J., 1994. Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic (^{18}O and dust flux record of Ocean Drilling Program site 659). *Paleoceanography* 9 (4): 619-638.
- Tomei P.E., Amadei L., Garbari F., 1986. Données distributives des quelques angiospermes rares de la région méditerranéenne d'Italie. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B* 92: 207-240.
- Tomei P.E., Guazzi E., Barsanti A., 1995. Contributo alla conoscenza floristica delle paludi e del Lago di Massaciuccoli. In: Tomei P.E., Guazzi E. (a cura di), *Il Bacino del Massaciuccoli. Collana di indagini tecniche e scientifiche per una migliore conoscenza del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio*: 43-78. Pisa.
- Tongiorgi E., 1936. La variazioni climatiche testimoniate dallo studio paleobotanico della serie Fiandriana nella pianura della Bassa Versilia presso il Lago di Massaciuccoli. *Nuovo Giorn. Bot. Ital.* 43: 762-764.
- Vagge I., Biondi E., 1999. La vegetazione delle coste sabbiose del Tirreno settentrionale italiano. *Fitosociologia* 36 (2): 61-95
- Zohary D., Hopf M., 2000. Domestication of plants in the old world. 3rd ed., Oxford University Press, Oxford.

(ms. pres. il 15 dicembre 2002; ult. bozze il 26 giugno 2003)

