

## Nuovi dati cronostratigrafici sul sottosuolo della piana deltizia del Fiume Ombrone (Toscana Meridionale)

Piero Bellotti <sup>1-6</sup>, Giorgio Belluomini <sup>2</sup>, Luisa Bergamin <sup>3</sup>, Maria Gabriella Carboni <sup>1-6</sup>, Letizia Di Bella <sup>1</sup>, Salvatore Improta <sup>4</sup>, Polina Pavlovna Letunova <sup>5</sup>, Luigia Mandra <sup>1</sup>, Tatyana Gavrilovna Potyomkina <sup>5</sup>, Publio Valeri <sup>1</sup>, Pierluigi Vesica <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università "La Sapienza", P.le A. Moro, 5 - 00185 Roma.

<sup>2</sup> Istituto Tecnologie Applicate ai Beni Culturali. CNR - Via Salaria - Roma.

<sup>3</sup> ICRAM - Via di Casalotti, 300 - 00166 - Roma.

<sup>4</sup> Dipartimento di Fisica, Università "La Sapienza", P.le A. Moro, 5 - 00185 Roma.

<sup>5</sup> Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Box 4199, 664033 - Irkutsk.

<sup>6</sup> CNR - Centro di Studio per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale, P.le A. Moro, 5 - 00185 Roma.

### Riassunto

Nella piana deltizia del Fiume Ombrone è stata effettuata una perforazione spinta fino a -50 m dal piano di campagna. Sui campioni prelevati sono state effettuate analisi tessiturali, microfaunistiche, palinologiche e alcune datazioni con radiocarbonio. I risultati delle analisi hanno messo in evidenza che la successione è caratterizzata da sedimenti costieri suddivisibili nei seguenti intervalli:

-50/-45 m - sedimenti pelitici di piana costiera con paludi salmastre in clima freddo umido con età superiore a 30 Ky BP;

-45/-39 - depositi prevalentemente ghiaiosi, ritenuti un corpo deltizio lagunare prodotto dal Fiume Ombrone;

-39/-10 m - sedimenti limoso-fangosi depositi, durante l'ultima fase di deglaciazione, in un bacino costiero i cui caratteri fisiografici variavano nel tempo. Sono riconoscibili ambienti palustri, di laguna ristretta, di laguna ben collegata con il mare e di foce fluviale. Il clima presenta diverse oscillazioni con un trend di generale riscaldamento;

-10/0 m - sedimenti sabbiosi e pelitici depositi, in clima caldo o temperato, dopo la stabilizzazione del livello marino. Questi sedimenti derivano dalla progradazione dell'attuale delta del Fiume Ombrone.

### Abstract

*A 50 m deep well was drilled in the delta plain of the Ombrone river. Samples have been investigated through grain size, microfaunistic and palinological analysis, and four radiocarbon ages have been calculated. Processed data pointed out that the sediments have settled in a coastal zone. It is possible to subdivide the sedimentary succession into four intervals:*

*-50/45m – coastal plain muddy sediments, presence of brackish marshes and ponds, damp and cold climate. Radiocarbon age > 30ky B.P.*

*-45/39m - mainly gravelly deposits ascribed to lagoon-delta body built by Ombrone river.*

*-39/-10m - muddy and silty sediments, settled during the last postglacial sea level rise, into a coastal basin with variable physiographic features. We have also recognised open and restricted lagoon phases, marshy environments and marine environment conditions strongly influenced by a river mouth. Climate is variable with a general trend towards a warmer climate.*

*-10/0m - Sandy, silty and muddy sediments settled after the postglacial sea level still stand (last 6Ky) in a temperate or warm climate. These deposits constitute the present delta body of the Ombrone river.*

*The sediments comprised between 0 and - 45 m represent the postglacial depositional sequence which can be subdivided in a trasgressive system tract (-45 / -10 m) and a high stand system tract (-10 / 0 m).*

## Introduzione

Il sottosuolo della pianura grossetana, compresa tra la costa e i rilievi che vanno da Poggio Ballone ai Monti dell'Uccellina, (Fig. 1) è conosciuto essenzialmente per una serie di perforazioni eseguite per lo più per captare acque a fini irrigui. Bravetti e Pranzini (1987) hanno fornito su tale base, corredata con alcuni dati microfaunistici, una visione d'insieme del sottosuolo di tale area. Secondo tali Autori, durante l'ultimo basso stazionamento glacioeustatico del livello marino, l'area in esame era caratterizzata dalle valli incise dal F. Bruna (nella parte settentrionale) e dal F. Ombrone (in quella meridionale). Le due paleovalle, separate da uno sperone ghiaioso-sabbioso di probabile età pleistocenica orientato circa NE-SW, sono state colmate durante il sollevamento postglaciale del livello marino. Il colmamento sarebbe avvenuto con sedimenti prevalentemente pelitici e pelitico-torbosi di ambiente lagunare (in cui risultano presenti diverse lenti ghiaiose) chiusi, verso mare da sedimenti sabbiosi di barriera costiera.

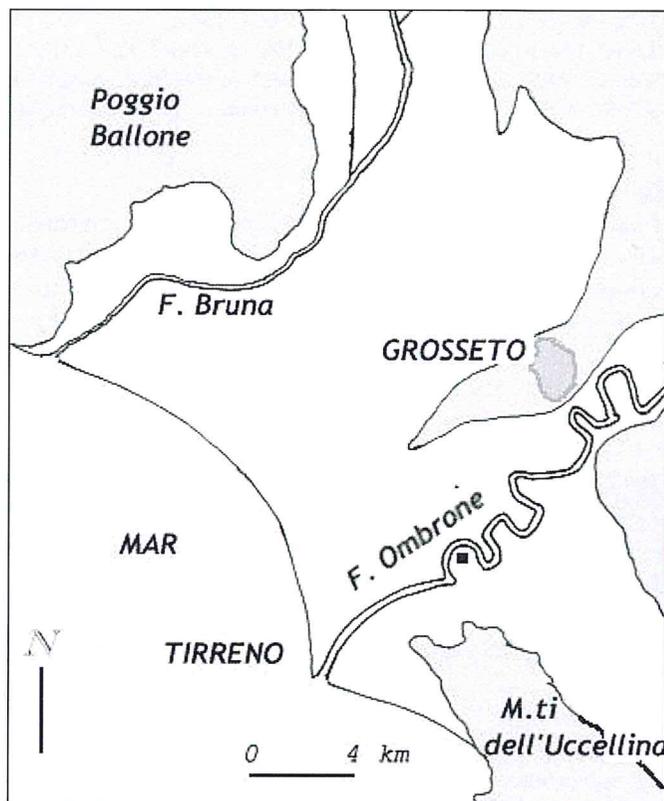


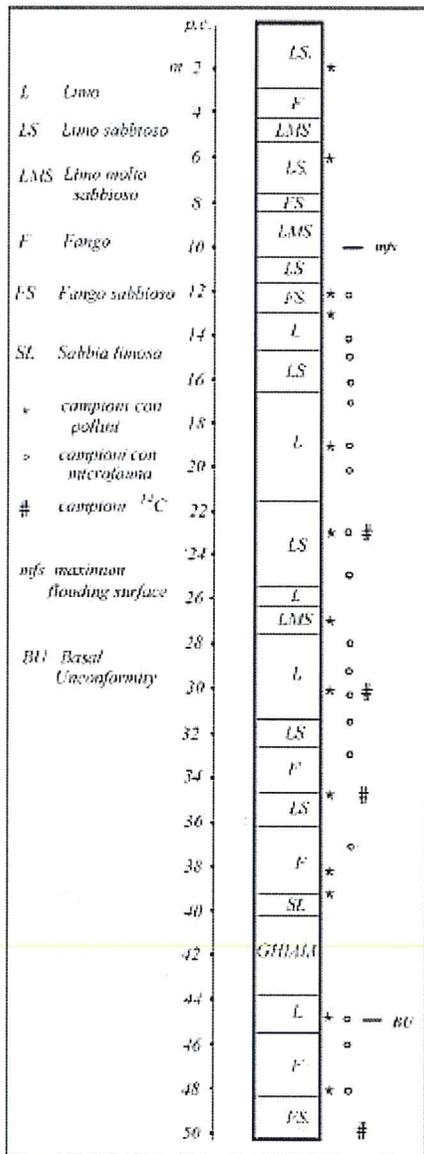
Figura 1 - Ubicazione del delta del Fiume Ombrone. Il quadrato nero nell'ultima ansa del fiume indica la posizione della perforazione di cui si riferisce nel testo.

Più recentemente, Bellotti et al. (2000), distinguono nella paleovalle del F. Ombrone quattro corpi ghiaioso-sabbiosi sovrapposti, intercalati alle peliti di laguna; questi vengono ritenuti corpi fluvio-deltizi lagunari costruiti dal F. Ombrone. La loro messa in posto sarebbe avvenuta durante il sollevamento postglaciale del livello marino che causò la migrazione verso terra del sistema barriera-laguna, in cui la foce era probabilmente confinata. All'interno della stessa laguna, gli autori individuano altresì corpi sabbiosi minori anch'essi ritenuti delta lagunari costruiti da più piccoli corsi d'acqua.

Al fine di migliorare la conoscenza del sottosuolo della piana deltizia del F. Ombrone è stato effettuato, presso l'ultimo meandro (N 42°41'55" - E 11°04'24") ad una quota di circa 2 m sul l.m., un sondaggio spinto fino alla profondità di 50 m dal piano di campagna. Sui materiali raccolti sono state effettuate analisi tessiturali, microfaunistiche, palinologiche e radiometriche con  $^{14}\text{C}$ .

**Aspetti sedimentologici**

L'esame tessiturale è stato condotto su 44 campioni prelevati lungo tutta la carota (Fig. 2); le sigle relative sono derivate dalla classificazione triangolare di Tortora (1999). Tutte le quote si intendono relative al piano di campagna. Risulta evidente che i sedimenti più rappresentati sono quelli limosi più o meno sabbiosi. Tali sedimenti si presentano talvolta compatti altre volte più incoerenti, più o meno plastici e di colore variabile dall'avana al verdastrò localmente scuri per concentrazioni di sostanza organica. Resti vegetali parzialmente carbonizzati sono stati rinvenuti tra 18 e 24 metri dal piano di campagna mentre diversi resti di bivalvi sono stati reperiti in vari campioni al di sotto di 12 metri dal p.c. Al di sotto di 44 m nell'argilla verdastra sono contenuti alcuni ciottoli carbonatici di dimensioni centimetriche. Tra 40 e 44 m dal p.c. sono presenti ghiaie sciolte con buon grado di arrotondamento e classazione e con diametri massimi di circa 10 centimetri. Litologicamente tali clasti sono attribuibili essenzialmente alle formazioni carbonatiche affioranti nel bacino del F. Ombrone. In questo orizzonte ghiaioso è presente una falda i cui valori di salinità risultano troppo alti per un uso irriguo.



**Micropaleontologia**

Ai fini dello studio paleontologico, 43 campioni del sondaggio sono stati tutti trattati con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e lavati con un setaccio di 0,125 mm di maglia. Il residuo è stato sottoposto ad analisi qualitativa per l'individuazione dei diversi gruppi di organismi presenti (foraminiferi, ostracodi, molluschi). L'analisi quantitativa sulle associazioni a foraminiferi ha fornito un esauriente quadro delle oscillazioni del livello marino. Tale indagine, che viene effettuata su almeno 300 individui bentonici, è stata possibile solamente su 18 campioni (Fig. 2) poiché i rimanenti erano sterili o presentavano una fauna insufficiente.

Lo studio dei molluschi e degli ostracodi, tuttora in corso, fornirà ulteriori indicazioni per quei sedimenti in cui i foraminiferi sono assenti o scarsi.

La ricostruzione paleoambientale è stata effettuata in base alle caratteristiche dell'associazione a foraminiferi bentonici e, in particolare alla composizione dell'associazione, alla sua diversità specifica e all'abbondanza faunistica. Questi dati hanno fornito rilevanti indicazioni riguardanti la salinità, la circolazione delle acque e il grado di connessione con il mare aperto.

Sono state individuate 34 specie e quattro associazioni principali, attribuibili ad ambienti a diversa salinità:

1) Associazione ad *Ammonia parkinsoniana* ed *Ammonia tepida* (campioni: 42-40; 31-30).

Questa associazione è caratterizzata da un indice di diversità  $\alpha$  (Fisher, 1943) < 1 e può quindi essere definita oligotipica; la fauna è sempre piuttosto scarsa e gli individui presentano spesso un guscio irregolare.

Figura 2 - Distribuzione delle litologie e dei campioni analizzati lungo la perforazione.

Dall'analisi quantitativa emerge la dominanza di *A. parkinsoniana* (max 71%) e *A. tepida* (max 36%), specie che tollerano bassa salinità e sono abbondanti in associazioni di ambiente estuarino e lagunare (Jorissen, 1988; Sgarrella & Moncharmont-Zei, 1993). In questi campioni inoltre si rinvennero oogoni di carofite, opercoli di *Bithynia* sp. ed abbondanti frustoli vegetali. Per questi sedimenti può essere identificato quindi un ambiente di laguna salmastra ben separata dal mare aperto e con elementi di spiccata continentalità;

2) Associazione ad *Ammonia parkinsoniana* ed *Haynesina depressula* (campioni: 20-17).

Le due specie che caratterizzano l'associazione risultano sempre molto abbondanti raggiungendo valori massimi pari a 47.50% (*Ammonia parkinsoniana*) e 45.21% (*Haynesina depressula*). Questa associazione risulta leggermente più differenziata rispetto a quella precedentemente descritta in quanto l'indice  $1 < \alpha < 1.5$  e la fauna a foraminiferi è piuttosto abbondante; anche in questo caso sono frequenti individui dal guscio irregolare. Le caratteristiche autoecologiche delle specie presenti indicano un ambiente di laguna salmastra; infatti, oltre ad *A. parkinsoniana*, anche *H. depressula* è tipica di laguna e palude salmastra (Murray, 1991). Associazioni analoghe, ma comprendenti anche alcuni taxa a guscio agglutinante, sono state segnalate da Murray (1968) e attribuite allo stesso ambiente deposizionale;

3) Associazione ad *Ammonia parkinsoniana*, *Haynesina depressula* e Miliolidae (campioni: 28-23; 16-15). Oltre alle due specie nettamente dominanti, che raggiungono rispettivamente valori massimi di 49% e 33%, si registra la significativa presenza di *Pseudotriloculina* spp. e *Quinqueloculina seminulum*. Per questi campioni è stato calcolato un indice di diversità  $1.2 < \alpha < 2$  ed una buona abbondanza faunistica. La presenza di foraminiferi a guscio porcellanaceo ben calcificato indica una salinità prossima ai valori medi marini (35‰). Infatti, la bassa salinità aumenta la solubilità del carbonato di calcio e rende difficile la formazione di questo tipo di guscio. Si individua quindi un ambiente lagunare caratterizzato da una buona connessione con il mare aperto;

4) Associazione ad *Ammonia* spp., *Elphidium granosum* e Miliolidae (Campioni: 14-12).

Oltre ad *Ammonia parkinsoniana* (max 33.11%), *Ammonia tepida* (max 18.21%) ed *Elphidium granosum* (max 11.92%), in questi campioni è sempre frequente *Haynesina depressula* (max 25.49%), specie generalmente abbondante in ambiente lagunare, ma con percentuali inferiori rispetto alle associazioni precedenti. I foraminiferi a guscio porcellanaceo (Miliolidae) presentano il massimo grado di diversificazione, pur non raggiungendo, nel complesso, frequenze molto elevate (max 7.28%). L'indice di diversità  $\alpha > 2$ , si avvicina ai valori riscontrabili in ambiente marino franco (Murray, 1991). Da ciò è possibile dedurre che, nonostante la barriera che isolava la laguna dal mare aperto potesse esser in parte stata sommersa, l'ambiente sedimentario era comunque influenzato dai contributi provenienti dalla vicina foce dell'Ombrone.

Analizzando il susseguirsi delle associazioni a foraminiferi bentonici dal basso verso l'alto del sondaggio, è stato possibile individuare tre episodi di innalzamento relativo del livello marino, diversi per entità e modalità.

Il primo episodio riconoscibile nella parte bassa del sondaggio (intorno ai 49 m di profondità) è di scarsa entità. Da un ambiente di piana alluvionale, si passa ad uno di laguna salmastra, scarsamente connessa con il mare aperto (Associazione ad *Ammonia parkinsoniana* ed *A. tepida*). L'isolamento della laguna è stato dedotto principalmente dai valori estremamente bassi dell'indice  $\alpha$  legati all'instabilità ambientale. Questa è dovuta alla presenza di una foce fluviale che determina forti fluttuazioni di parametri quali salinità, pH, temperatura, disponibilità di ossigeno in un ambiente realmente ristretto e di scarsa profondità. Successivamente, questa laguna viene in breve tempo parzialmente colmata dagli apporti dell'Ombrone.

Intorno ai -38 m, sopra a sedimenti torbosi depositi in una fase di stazionamento, si registra l'inizio del secondo episodio di innalzamento marino. In questo caso, si instaura una laguna caratterizzata

da una buona connessione con il mare, testimoniata dall'associazione *Ammonia parkinsoniana*, *Haynesina depressula* e Miliolidae. Segue un rapido interrimento della laguna corrispondente ad una fase di stazionamento o lieve abbassamento del livello marino.

Il terzo ed ultimo episodio di innalzamento del livello marino è riconoscibile nella parte centrale del sondaggio (inizia intorno ai -25 metri e si sviluppa in maniera graduale) risultando di maggiore entità rispetto ai due precedenti. Infatti, inizialmente si instaura un ambiente di laguna salmastra che, con il procedere della trasgressione, mostra una connessione sempre più marcata con il mare aperto (associazione ad *Ammonia parkinsoniana* ed *Haynesina depressula*; associazione *Ammonia parkinsoniana*, *Haynesina depressula* e Miliolidae; associazione ad *Ammonia* spp., *Elphidium granosum* e Miliolidae).

### Palinologia

L'esame palinologico è stato condotto su 13 campioni prelevati a varie profondità (Fig. 2) e il dettaglio delle specie rinvenute è riportato in Tabella 1 (Kupriyanova, 1965; Kupriyanova e Aleshina, 1978; Shumilova, 1979; Moore et al., 1991). I pollini rinvenuti appartengono tanto ad essenze arboree quanto a quelle erbacee e sono altresì presenti spore di felci ed equiseti. Gli spettri (SPS), relativi ai diversi campioni, evidenziano significative variazioni nei rapporti tra essenze erbacee e arboree e, nell'ambito di queste ultime, tra conifere e latifoglie. Tra le conifere risulta ovunque dominante *Pinus*, meno frequente è *Abies*. Le latifoglie sono ovunque rappresentate da *Quercus* mentre *Fagus*, *Ulmus*, *Tilia*, e *Populus* risultano subordinate. Tra le essenze erbacee sono frequenti *Poaceae*, *Chenopodiaceae* e *Cyperaceae*. In alcuni campioni assumono particolare rilevanza essenze acquatiche ed in particolare *Potamogeton*, *Alisma* e *Sparganium*.

A giudicare dalla composizione degli SPS dei singoli campioni del sondaggio si possono evidenziare le seguenti quattro zone polliniche, che riflettono il cambiamento vegetazionale e delle condizioni climatiche considerando in particolare che in ambiente subtropicale le variazioni vegetazionali sono principalmente una funzione della piovosità.

- 1) Associazioni *Poaceae* - *Cyperaceae*, pioppo, quercia. Associazioni a prati allagati con varie essenze erbacee e con partecipazione, nelle zone più elevate, di querce, olmi, noci, faggi ed altri elementi di boschi latifogli. Questa associazione è tipica della parte basale del sondaggio (45 – 48 metri dal p.c.);
- 2) Associazione con dominio assoluto del genere *Pinus*. Boschi a conifere di diversi tipi di pini con minima presenza di generi appartenenti a latifoglie. Nella parte superiore dell'intervallo cambia quantitativamente e qualitativamente il contenuto della flora, più povera in confronto con l'orizzonte precedente. Nella composizione dei boschi aumenta il ruolo degli alberi sempreverdi. Intervallo 45 – 39 metri dal p.c.;
- 3) Associazione *Quercus* - *Pinus*, *Corylus*. Boschi di querce misti a conifere e latifoglie. Clima umido, in alcuni periodi è possibile che il territorio si riscaldasse leggermente. Alla profondità di 27 m si è osservato un SPS molto impoverito che fa supporre una brusca e rapida diminuzione delle precipitazioni, particolarmente nei mesi estivi. Intervallo 38 -15 metri dal p.c.;
- 4) Associazione *Pinus* - *Abies*. Sono dominanti i boschi di conifere con diversi tipi di pino, abeti rossi e bianchi. Piccole impurezze di generi appartenenti a latifoglie. Alla profondità di 12 m si osserva un SPS molto povero, dopo il quale comincia l'incremento nell'SPS della percentuale dei generi di conifere.

I caratteri climatici dedotti per ciascun campione analizzato sono riportati in Tabella 2.

Tabella 1 - Con l'asterisco i pollini che mostrano segni di rimaneggiamenti.

Numero Campione \	3	6	12	14	17	19	22	25	29	32	33	39	42
Essenze													
Abies sp.	13	2	0	0	7	15	0	3	13	5	0	0	0
Picea sp.	11	0	0	0	2	19	0	4	2	4	2	13	0
Pinus cembra	9	2	2	7	28	43	8	40	34	47	8	47	8
Pinus Diploxylon	8	0	0	0	4	30	0	6	9	33	2	55	1
Tsuga	1	0	0	0	0	2	1	0	1	2	0	2	1
Larix sp.	4	1	0	0	0	0	1	0	0	10	0	0	0
Quercus	1	0	0	9	33	58	4	54	11	38	2	15	5
Fagaceae	1	0	0	1	1	15	1	9	3	3	0	1	1
Corylus	1	0	0	4	34	80	1	0	13	8	1	3	2
Carpinus	0	2	0	0	4	4	0	5	19	5	0	3	1
Ulmaceae	0	1	1	6	6	12	0	12	4	3	1	4	4
Carya	3	0	0	2	2	0	0	4	0	1	0	0	1
Platycarya*	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
Liquidambra	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0	1
Rhus	0	0	0	1	4	1	0	4	0	3	0	0	3
Acer	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Celtis	0	0	0	0	5	4	0	8	0	8	1	0	2
Magnolia	15	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Tilia	0	0	0	0	7	20	2	9	10	3	0	0	0
Betulaceae	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0
Alnus	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ilex	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	1
Nothofagus*	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Anacardiaceae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Araucaria	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Populus	0	0	0	0	0	0	0	5	0	15	0	4	42
Castaneae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Juglandaceae	9	1	0	1	2	1	1	12	3	4	0	6	3
Nyssa*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Podocarpus*	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Taxodiaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pinaceae*	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Abies *	5	0	0	2	3	1	0	2	1	0	0	1	0
Picea*	3	1	0	0	1	3	2	1	8	4	1	8	0
Pinus cembra*	20	21	6	0	8	22	4	9	48	4	1	118	1
Pinus Diploxylon*	3	13	6	4	5	0	1	4	15	0	1	50	0
Betulaceae*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
Corylus*	1	0	0	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0
Carpinus*	0	0	0	0	3	0	1	0	1	3	1	0	0
Tsuga*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Alnus*	1	0	0	1	0	2	0	0	0	2	1	0	0
Castaneae*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ulmaceae*	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1

Juglans*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0
Tilia*	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Quercus*	0	0	0	0	1	5	1	2	0	0	0	0	0
Cupressaceae	4	0	0	1	1	4	0	2	0	12	0	0	5
Salix	0	0	0	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0
Ericaceae	2	1	0	1	9	9	0	1	7	1	1	0	2
Duschekia	0	0	0	0	3	1	0	1	0	1	0	5	4
Artemisia	0	0	0	0	1	4	0	2	0	3	0	1	3
Chenopodiaceae	0	1	1	7	7	12	3	70	6	3	1	9	18
Compositae	15	0	1	2	6	1	0	17	0	10	0	12	4
Poaceae	5	1	0	4	14	8	0	11	3	44	2	19	62
Rosaceae	1	0	1	4	5	9	2	5	1	2	0	3	5
Umbelliferae	0	0	0	0	1	3	0	2	2	5	0	1	2
Ephedra	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1
Poligonaceae	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Fabaceae	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	8	3
Ranunculaceae	0	0	0	3	3	3	0	5	0	7	0	2	2
Papaveraceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Cruciferae	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1
Urticulariaceae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Pedicularis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Cyperaceae	3	0	0	0	1	3	0	6	5	103	2	2	64
Sparganiaceae	0	0	0	0	1	1	0	3	0	0	0	1	5
Potamogeton	0	0	0	0	5	3	0	3	1	321	4	0	3
Alismataceae	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
Typha	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0
Daphne	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Myriophyllum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Nuphar	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Hydrocharis	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nymphae alba	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Menispermaceae	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0
Frankeniaceae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Rubiaceae	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Liliaceae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Humulus	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Polypodiaceae	6	3	5	6	34	21	6	18	8	15	0	18	15
Cycadaceae	3	1	0	0	1	1	0	2	0	27	5	2	5
Lycopodiaceae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ophyoglossaceae	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
Equisetum	2	0	0	1	2	4	0	3	0	16	4	7	10
Osmunda	0	1	0	1	1	0	2	0	0	3	0	0	0
Sphagnum	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0
Adiantum	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Selaginella sp.	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0
Welvitschia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Polypodiaceae*	3	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	0

Tabella 2 - Caratteri climatici dedotti per ciascun campione analizzato.

Profondità dal p.c.	Essenze principali	Tipologia climatica
2 m	<i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus D</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> conifere 71%, latifoglie 29%	freddo
6 m	<i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus D</i> , <i>Abies</i> , <i>Picea</i> conifere 82%, latifoglie 18%	fresco
12 m	Pollini isolati di conifere e latifoglie arboree	freddo
15 m	<i>Quercus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Juglans</i> , <i>Tilia</i> Poaceae, Ericaceae, Chenopodiaceae latifoglie 51%, conifere 49%	asciutto moderato
19 m	<i>Quercus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Pinus cembra</i> conifere 34%, latifoglie 66%	umido moderato
23 m	<i>Quercus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmaceae</i> conifere 39%, latifoglie 61%	moderato
27 m	Pollini isolati di conifere e latifoglie arboree	freddo secco
30 m	<i>Quercus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Juglans</i> , <i>Chenopodiaceae</i> conifere 29%, latifoglie 71%	freddo secco
35 m	<i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus D</i> , <i>Abies</i> , <i>Carpinus</i> conifere 65%, latifoglie 35%	freddo umido
38 m	<i>Quercus</i> , <i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus D</i> , <i>Potamogeton</i> , <i>Cyperaceae</i>	umido moderato
39 m	Insignificanti quantità di essenze arboree conifere e latifoglie	secco
45 m	<i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus D</i> , <i>Picea</i> , <i>Quercus</i> conifere boschive con rare latifoglie	secco moderato
48 m	<i>Cyperaceae</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Chenopodiaceae</i> <i>Potamogeton</i> Fitocenosi costiere erbacee e prative fluvio-glaciali	freddo umido

### Datazioni Radiocarbonio.

Sono stati esaminati 4 campioni (Fig. 2) costituiti: uno da un frammento di legno prelevato alla profondità di -23 m dal p.c. e 3 da campioni di sedimento argilloso prelevati alle profondità di -30 m, -35 m e -50 m dal p.c., rispettivamente. Per avere una quantità di sedimento sufficiente per le analisi radiometriche sono state prelevate dalla carota porzioni di circa 450 gr (campione umido) corrispondenti a sezioni spesse circa 10 cm. Le analisi sono state eseguite sul legno e sulla frazione organica (piuttosto scarsa) dei limi, utilizzando sia il metodo di datazione con contatori proporzionali a gas che quello con contatori a scintillatore liquido. Del campione posto alla profondità di -35 m è stata analizzata anche la frazione carbonatica, che mostra una età molto più antica, per la contaminazione da carbonato continentale più vecchio e che quindi non può essere utilizzata per ricostruzioni cronologiche. Le età  $^{14}\text{C}$ , riportate in Tabella 3, sono state determinate per confronto con gli standard comunemente in uso nel nostro Laboratorio e cioè l' ANU Sucrose per lo standard moderno e il Carrara Marble (distribuito dalla IAEA nel 1991) per la taratura dei valori di fondo. L'età assoluta, quando possibile, è stata determinata mediante il programma INTCAL 98.

Tabella 3 - Valori temporali calibrati.

Profondità dal p.c.	Età <sup>14</sup> C calibrata
23 m	8537 - 8377 anni B.P.
30 m	15450 - 14319 anni B.P.
35 m	15987 - 15471 anni B.P.
50 m	>30000 anni B.P.

### Conclusioni

Sulla base dei dati su esposti la successione rinvenuta in sondaggio può essere suddivisa nei seguenti intervalli di profondità misurata dal piano di campagna:

a) -50 / -45 m - Intervallo caratterizzato da sedimenti pelitici di piana costiera con paludi salmastre e vegetazione di clima freddo umido. Si ritiene che i sedimenti si siano depositi durante una fase glaciale;

b) -45 / -39 m - Costituito da depositi in gran parte ghiaiosi ritenuti un corpo fluvio-deltizio lagunare del Fiume Ombrone (Bellotti et al., 2000). Il clima relativo a questo intervallo risulta moderatamente secco;

c) -39 / -10 m - I sedimenti di questo intervallo risultano essersi depositi, durante la fase di deglaciazione, in un bacino costiero i cui caratteri fisiografici dovevano modificarsi nel tempo in funzione del sollevamento del livello del mare e degli apporti solidi del F. Ombrone. In conseguenza di una fase di sollevamento, le acque marine penetravano più o meno facilmente nella piana costiera ampliando le paludi, aumentandone la salinità, fino a generare una vera laguna ben collegata con il mare. Terminata la fase di sollevamento i sedimenti fluviali colmavano parzialmente il bacino generando nuovamente una piana costiera in parte emersa in parte caratterizzata da paludi con acque quasi dolci. Questa successione di eventi genera due sequenze simili riscontrabili negli intervalli -38 / -29 m e -29 / -11 m. Il clima risulta freddo (più o meno umido) nella prima sequenza e generalmente più caldo nella seconda;

d) -10 / 0 m - Sabbie e peliti di questo intervallo, con clima caldo o temperato, testimoniano il definitivo riempimento della laguna seguito alla stabilizzazione del livello marino e allo sviluppo dell'apparato deltizio del F. Ombrone.

Sulla base della cronologia assoluta e del contenuto pollinico e microfaunistico l'intervallo basale può essere attribuito ad una fase precedente all'ultima oscillazione eustatica del livello marino (porzione del sondaggio al di sotto di BU in Figura 2). I sedimenti che sovrastano tale intervallo appartengono alla sequenza deposizionale relativa all'ultima oscillazione postglaciale del livello marino; più esattamente l'insieme dei sedimenti compresi tra -45 e -10 m ne costituiscono il *trasgressive system tract* (parte del sondaggio compreso tra BU e mfs in Figura 2) mentre l'*high stand system tract* è costituito dai sedimenti compresi tra -10 e 0 metri.

Allo stato attuale risulta tuttavia problematica la precisa attribuzione cronologica dei sedimenti compresi tra -45 e -30 m in quanto i valori rilevati con il radiocarbonio a -30 e -35 m (rispettivamente prossimi a 15000 e 16000 BP) sembrano eccessivamente alti. Infatti i sedimenti datati, che risultano lagunari, dovrebbero essersi depositi in prossimità del livello marino il quale, è noto dalla letteratura, era in quel periodo ad una quota ben inferiore di quelle suddette. Simili valori sarebbero compatibili solo con una fase di sollevamento dell'area di circa 30 m; di tale fase, ritenuta improbabile, non esistono nell'area altre evidenze.

**Bibliografia**

- Bellotti P., Caputo C., Davoli L., Evangelista S., Garzanti E., Moretti Foggia F. e Valeri P. (2000) - *La piana deltizia del Fiume Ombrone (Maremma toscana): morfologia, tessitura e composizione dei sedimenti - architettura del sottosuolo*. Atti del Convegno "Le Pianure" 8-11/11/1999 Ferrara. pp. 220-221.
- Bravetti L. e Pranzini G. (1987) - *L'evoluzione quaternaria della pianura di Grosseto (Toscana): prima interpretazione dei dati del sottosuolo*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 10: 85-92.
- Fisher R.A., Corbet A. S. e Williams C. B. (1943) - *The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population*. J. Anim. Ecol., 12: 42-58.
- Haa M. e Kaesler R. L. (1986) - *Temporal changes in Holocene lagoonal assemblages of foraminifera from Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico*. Journ. Foraminiferal Res., 16: 98-109.
- Jorissen F. J., (1988) - *Benthic foraminifera from the Adriatic Sea; principles of phenotypic variation*. Utrecht Micropaleontological Bull., 37, pp.174.
- Kupriyanova L.A. (1965) - *Palinologiya seregkožvetnyx*. Moskva - Leningrad, pp. 215.
- Kupriyanova L.A. e Aleshina L.A. (1978) - *Pyl'za dvidol'nyx rastenij flory Evropejskoj chasti CCCP*. Leningrad, pp.184.
- Moore P.D., Webb J.A. e Collinson M.E. (1991) - *Pollen analysis*. Oxford, pp. 216.
- Murray J. W. (1968) - *Living foraminifer of lagoons and estuaries*. Micropaleontology, 14: 435-455.
- Murray J. W. (1991) - *Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical Ed., New York. pp. 312.
- Sgarrella F. e Moncharmont-Zei M. (1993) - *Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): Systematics and autoecology*. Boll. Soc. Paleont. It., 32: 145-264.
- Shumilova L.V. (1979) - *Fitogeografija*. Tomsk, pp. 238.
- Tortora P. (1999) - *Una classificazione ternaria su base granulometrica per la descrizione del sedimento sui fondali marini*. Boll. Soc. Geol. It., 118: 65-74.

Manoscritto ricevuto il 17/7/2001, accettato il 18/11/2001.