

ALBERTO LEZZIERO (\*), SANDRA DONNICI (\*\*), & ROSSANA SERANDREI BARBERO (\*\*)

## EVOLUZIONE PALEOAMBIENTALE DELL'AREA ARCHEOLOGICA SOMMERSA DI S. LEONARDO IN FOSSA MALA (LAGUNA DI VENEZIA)

**ABSTRACT:** LEZZIERO A., DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R., *Palaeoenvironmental evolution of the Venice Lagoon: the submerged archaeological area of S. Leonardo in Fossa Mala*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

Palaeoenvironmental investigation has been carried out in the sub bottom of the submerged medieval archaeological area called S. Leonardo in Fossa Mala in the Venice Lagoon (Italy). Ten 6 m long continuous cores were obtained in the site and sedimentological, micropalaeontological and radiochronological analyses were performed in order to reconstruct the Olocene depositional history of the site.

The alluvial sediments at the base of the sequence took place first as levee and crevasse splay sand, interested by a soil on the top, followed by overbank fines and crevasse splay deposits. The following lagoon beach deposits, subsequent to a sedimentary gap phase, are linked to the last marine ingression.

Lagoon deposition was interrupted by a fluvial event, followed by high energy beach environment, dated back to the last phases of II millennium B.C. (2910 ± 50 years BP), and by a low energy intertidal plane. The upper part of the sequence is characterized by salt marsh environment, starting from III-IV century A.D. (1750 ± 50 years BP), an emerged area, where a Monastery was founded and inhabited from the XI century to the XIII-XIV century A.D.

The age of the salt marsh of the site is linked to a regional scale phase of low marine level and lagoon areas emersion, confirmed in Venice basin by geoarchaeological and historical data. The site, located near the bank of the important artificial channel Malamocco-Marghera, is nowadays submerged and subjected to significant erosional processes.

**KEY WORDS:** Lagoon of Venice, Archaeological area, Benthic foraminifera, <sup>14</sup>C dating, Palaeoenvironments.

**RIASSUNTO:** LEZZIERO A., DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R., *Evoluzione paleoambientale dell'area archeologica sommersa di S. Leonardo in Fossa Mala (Laguna di Venezia)*. (IT ISSN 1724-4757, 2005).

(\*) Nucleo Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico (NAUSICAA), Cannaregio 5031 - 30131 Venezia.

(\*\*) CNR - Istituto di Scienze Marine (ISMAR), San Polo 1364 - 30125 Venezia.

Gli autori desiderano ringraziare il dott. L. Fozzati, direttore del Nucleo di Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico, responsabile scientifico del cantiere archeologico sommerso di S. Leonardo in Fossa Mala, il dott. M. D'Agostino, archeologo del Consorzio Venezia Nuova, il dott. G. Taroni del CNR - Istituto di Scienze Marine, e il prof. G. Caldearoni del Laboratorio Radiocarbonio dell'Università La Sapienza, Roma.

All'interno dell'area archeologica medievale, oggi sommersa, di S. Leonardo in Fossa Mala in Laguna di Venezia sono state condotte indagini paleoambientali nel sottofondo lagunare. Allo scopo di ricostruire la storia deposizionale del sito sono stati realizzati dieci sondaggi a carotaggio continuo di profondità 6 m ed effettuate analisi sedimentologiche, micropaleontologiche e radiocronologiche.

I sedimenti alluvionali presenti alla base della sequenza sono caratterizzati da sabbie di argine e di ventaglio di rotta, al tetto delle quali evolve un suolo, seguite da sedimenti fini di tracimazione e depositi di ventaglio di rotta. I depositi di spiaggia lagunare che seguono nella successione, preceduti da una fase di gap sedimentario, sono legati al verificarsi dell'ultima ingressione marina.

La deposizione in ambiente salmastro viene interrotta da un evento alluvionale seguito dall'ambiente di alta energia che caratterizza le spiagge lagunari, risalente alle fasi finali del II millennio B.C. (2910 ± 50 anni BP) e da una piana intertidale a bassa energia.

La parte superiore della sequenza è caratterizzata da ambienti di apparato intertidale, a partire dal III-IV secolo A.D. (1750 ± 50 anni BP), che rappresentano le aree emerse dove fu fondato e abitato un monastero dal XI al XIII-XIV secolo A.D.

L'età degli apparati intertidali è correlabile ad una fase di basso livello marino ed emersione di aree lagunari confermata nell'area veneziana da dati geoarcheologici e storici. Il sito, ubicato nelle vicinanze dell'importante canale artificiale Malamocco-Marghera è attualmente sommerso e soggetto a significativi processi erosivi.

**TERMINI CHIAVE:** Laguna di Venezia, Area archeologica, Foraminiferi bentonici, Datazioni <sup>14</sup>C, Paleoambienti.

### INTRODUZIONE

Gli interventi di sistemazione ambientale, sistematicamente eseguiti nella Laguna di Venezia, vengono realizzati in un territorio ricco di testimonianze archeologiche sepolte nel sottofondo del bacino e nel sottosuolo delle isole, o sommerse al di sotto della superficie acquea. Tale situazione richiede frequenti interventi di tutela archeologica, eseguiti sotto la direzione scientifica del Nucleo di Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico (NAUSICAA), ufficio competente per l'area lagunare, che spesso prevedono anche la raccolta di dati paleoambientali.

I primi dati sui paleoambienti lagunari risalgono agli anni 60-70 e hanno permesso di definire i principali eventi e la loro cronologia (Bonatti, 1968; Alberotanza & *alii*, 1977). Nel bacino centrale della laguna, l'evoluzione generale ricostruita attraverso alcuni sondaggi, indica la formazione di una linea di costa alla fine del periodo Atlantico con l'evolversi dell'ambiente retrostante da fluviopalustre a lagunare; una regressione marina all'inizio del Subatlantico, con il migrare della linea di costa nella posizione attuale; e, infine, l'inversione di questa tendenza, legata agli interventi antropici realizzati in epoca storica (Favero & Serandrei Barbero, 1980).

Il bacino centrale della laguna è tuttavia piuttosto carente di informazioni relative al sottosuolo. Recentemente, alcuni sondaggi effettuati sul suo margine continentale (Mozzi & *alii*, 2003) hanno confermato la presenza di depositi palustri alla base del lagunare e attribuito all'ingresso lagunare un'età post-romana, in accordo con quanto messo in luce da un recente sondaggio effettuato a Marghera, dove la presenza di acque salmastre risale a soli  $580 \pm 40$  anni dal presente e, nel sottostante intervallo continentale, tra  $-5,84$  m e  $-4,43$  m dal livello medio mare, sono evidenti tracce di pedogenesi (Donnici, 2004).

Oggi, i frequenti interventi di tutela archeologica del sottosuolo, che prevedono anche la raccolta di dati relativi ai paleoambienti, permettono un riesame dei dati pregressi alla luce dei dati di recente acquisizione. Nell'ambito del progetto «Intervento di sistemazione ambientale della Cassa di Colmata D-E e del canale Fossetta dei Barambani» del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque, eseguito dal Consorzio Venezia Nuova, sono stati effettuati controlli archeologici preventivi in un'area sommersa situata lungo le rive del Canale Malamocco-Marghera, in cui mancano dati relativi al sottosuolo.

Il sito (fig. 1) era già conosciuto per l'esistenza di un monastero, San Leonardo in Fossa Mala, nei secoli che vanno dal XI al XIII-XIV, grazie alle indagini archeologiche e archivistiche condotte da Ernesto Canal e Lidia Fersuoch ed eseguite a partire dal 1982 (Fersuoch, 1995).

Le prospezioni recentemente eseguite sulle strutture sommerse, oltre allo scavo archeologico, hanno anche previsto l'esecuzione di 10 sondaggi a carotaggio continuo di profondità 6 m, allo scopo di verificare la presenza di ulteriori strutture sepolte nel sottosuolo delle aree interessate dai lavori e di ricostruire l'evoluzione paleoambientale del sito, ubicato in un'area lagunare scarsamente indagata.

## MATERIALI E METODI

I carotaggi denominati SL1 - SL5 sono stati eseguiti in un tratto di fondale lagunare (di profondità compresa tra  $-0,80$  e  $-1,40$  m rispetto al l.m.m.) situato tra il Canale Malamocco-Marghera e la Cassa di Colmata E, nei pressi del sito archeologico di San Marco in Fossa Mala. I carotaggi da SL6 a SL10 sono stati invece eseguiti sulla cassa di colmata (il cui piano campagna è situato tra m 1,10 e m

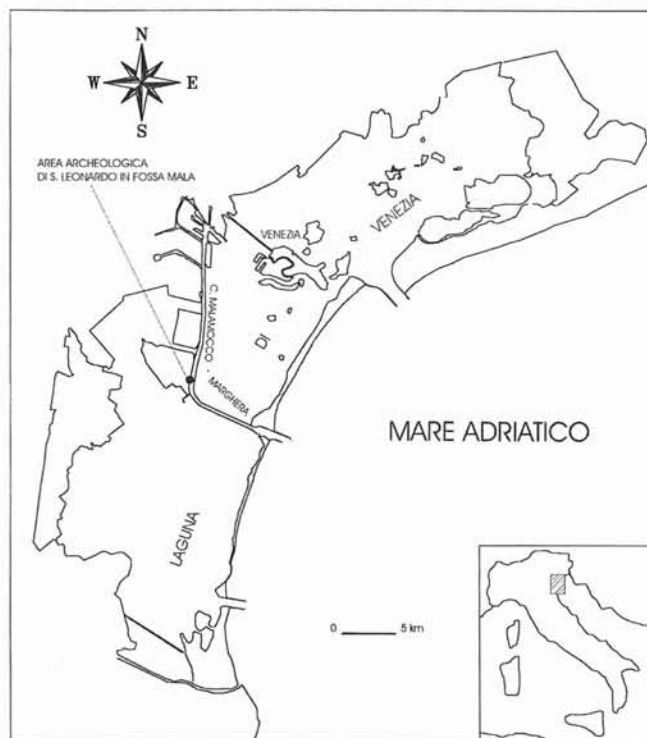


FIG. 1 - Ubicazione dell'area archeologica sommersa di S. Leonardo in Fossa Mala nella Laguna di Venezia.

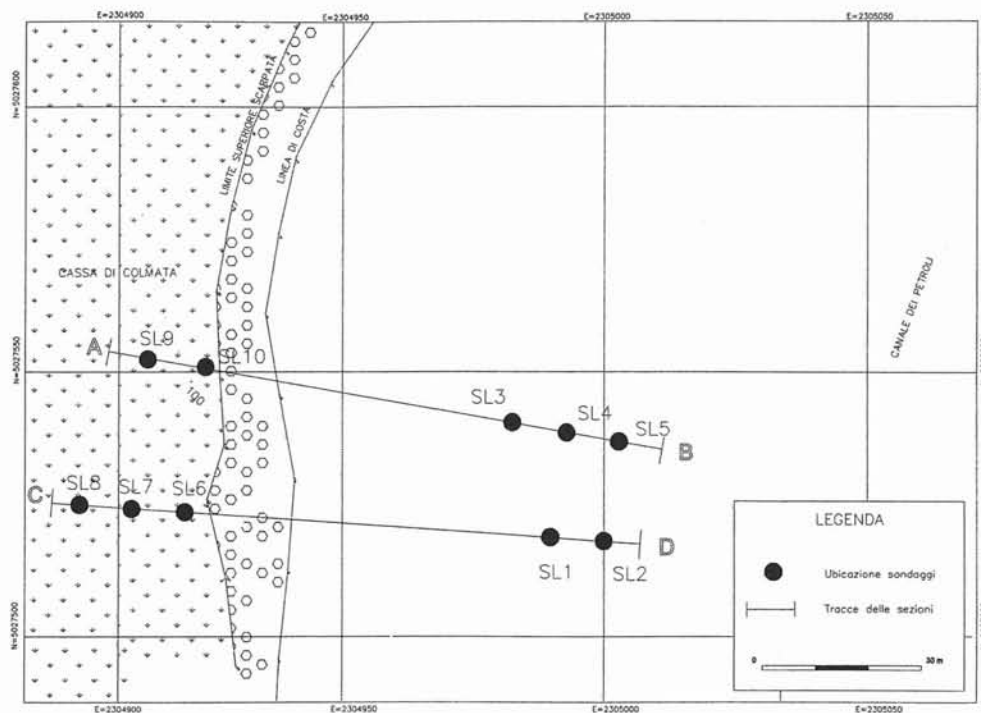
1,30 rispetto al l.m.m.), nella zona antistante l'area archeologica. Le ubicazioni dei singoli sondaggi sono riportate in fig. 2.

I sondaggi sono stati eseguiti con metodo a rotazione con circolazione d'acqua, con carotiere semplice di diametro esterno 101 mm, ed effettuati con colonna di tubi di rivestimento esterno che permette un minore disturbo dei materiali recuperati. Dalle carote estratte sono stati selezionati campioni di sedimento per lo studio micropaleontologico e campioni di materiale organico per le datazioni con radiocarbonio, allo scopo di ottenere precise informazioni sulle differenti facies lagunari osservate e sull'età delle sequenze attraversate dai sondaggi.

Informazioni sulle differenti facies sono dedotte dalle associazioni a foraminiferi presenti nei sedimenti a diverse profondità attraverso il loro confronto con le associazioni attuali, la cui distribuzione è essenzialmente controllata dal tempo di ricambio, dagli afflussi di acque dolci e dalla presenza di morfologie intertidali (Serandrei Barbero & *alii*, 2004a, 2004b; Donnici & Serandrei Barbero, 2005).

Per le analisi micropaleontologiche, i campioni sono stati lavati su un setaccio a maglia quadra di apertura netta pari a 63  $\mu$ m per eliminare la frazione pelitica, asciugati in stufa a 60 °C e quindi separati in tre frazioni granulometriche:  $> 63 \mu$ m,  $> 125 \mu$ m e  $> 500 \mu$ m. Della frazione  $> 125 \mu$ m è stato analizzato un subcampione contenente circa 300 foraminiferi, quantità ritenuta statisticamente significativa (Buzas, 1990; Serandrei Barbero & *alii*, 1997), che

FIG. 2 - Carta topografica di dettaglio dell'area studiata eseguita dal Consorzio Venezia Nuova con l'ubicazione dei sondaggi e delle sezioni studiate.



sono stati classificati a livello di specie secondo lo schema tassonomico di Loeblich & Tappan (1987).

Per le analisi  $^{14}\text{C}$ , i campioni, dopo la raccolta, sono stati puliti dal sedimento incassante e quindi inviati al Laboratorio Radiocarbonio del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università «La Sapienza» di Roma. Per tutti i campioni l'adeguata quantità di materiale e il contenuto in C organico hanno consentito l'esecuzione delle datazioni in maniera ottimale. Le età ottenute sono state calibrate con il programma Oxcal 3.5 di Bronk Ramsey (1994, 1995, 1998).

## RISULTATI

### Caratteristiche litologiche

*Carotaggi da SL1 a SL5 (quote riferite al fondo lagunare, da -0,80 a -1,40 m dal l.m.m.).*

0,00-1,00/1,50: limo argilloso massivo grigio verde scuro con frequenti gusci di molluschi lagunari, con inclusi torbosi e materiale antropico, localmente sabbia medio-fine limosa. 1,00/1,50-1,80: argilla limosa e limo sabbioso bruni molto ricchi di materia organica, a tratti torba. 1,80-2,50/3,00: limo argilloso massivo grigio verde scuro con resti vegetali e con rari clasti di limo sabbioso ricchi di materia organica (in SL2 e SL3 raggiunge i 4 m). 2,50/2,60-3,00: frammenti di gusci di molluschi lagunari in matrice limoso-sabbiosa (in SL2 e SL3 raggiunge anche i 4,5-5 m). 3,00-3,20: sabbia fine limosa laminata grigio azzurro chiaro, a tratti con screziature ocracee (in SL2 e SL3 raggiunge i 5). 3,20-3,70: limo argilloso massivo grigio verde scuro

con resti vegetali e gusci di molluschi lagunari (in SL3 supera i 5). 3,70-4,80/5,20: limo sabbioso, a tratti sabbia fine limosa, massivo di colore grigio azzurro chiaro, sovraconsolidato, con screziature ocracee (in SL2 e SL3 supera i 5). 4,80/5,20-6,00: limo argilloso, a tratti limo sabbioso, massivo grigio azzurro, sovraconsolidato, con frequenti screziature ocracee e con concrezioni calcaree millimetriche.

*Carotaggi da SL6 a SL10 (quote riferite al p.c., da 1,10 a 1,30 m sul l.m.m.).*

0,00-3,00: riporti sabbiosi eterogenei. 3,00-4,40: alternanze di livelli di limo argilloso e limoso sabbioso, localmente sabbia fine limosa, massivi. 4,20-5,00/5,50: argilla limosa massiva grigio nerastra, molto ricca di materia organica e torba, con un livello decimetrico di limo argilloso grigio verde scuro con gusci di lagunari. 5,00/5,50-6,00: limo sabbioso, a tratti sabbia fine limosa, massivo grigio verde scuro rari gusci di molluschi lagunari; localmente limo argilloso massivo grigio nerastro e grigio verde.

### Contenuto micropaleontologico

Le analisi micropaleontologiche sono state eseguite su 13 campioni di sedimento provenienti dai depositi lagunari attraversati dai sondaggi SL1, SL2, SL3, SL4, SL8, SL9 e SL10.

Il contenuto faunistico è costituito da Gasteropodi (Hydrobidae, *Bittium reticulatum*, *Crisallida delpretei*), Bivalvi (Cardidae, *Abra ovata*), Ostracodi e da un'associazione di Foraminiferi composta da un totale di 16 taxa. In tab. 1 sono riportati i risultati delle analisi quantitative

TABELLA 1 - Contenuto percentuale dei taxa presenti nei campioni esaminati; i campioni sono contrassegnati dalla sigla del sondaggio seguita dalla profondità in m dal fondo lagunare (sondaggi SL1-SL4) o dal piano campagna (sondaggi SL8-SL10)

Sondaggio	SL1	SL2					SL3		SL4		SL8	SL9	SL10
Profondità (m) dal fondo lagunare (-0,80 ÷ -1,40 l.m.m.) o da p.c.*	2,40	0,90	1,20	1,40	2,00	3,70	1,50	2,30	0,90	2,20	5,80	5,45	5,20
<i>Miliammina fusca</i> Brady, 1870	0	0,3	0	0	0	0	3,0	0	0	0	0	0	0
<i>Haplophragmoides australensis</i> Albani, 1978	0,7	0,0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
<i>Ammobaculites agglutinans</i> (d'Orbigny, 1846)	0,0	0,0	0	0	1,6	0	0,0	0	0	0	0	0	0
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu, 1808)	0,3	97,3	96,6	94,5	0,0	0,6	94,4	0,4	0	0	0	6,5	8,0
<i>Trochammina macrescens</i> Brady, 1870	0,0	2,1	3,4	4,2	0,0	0,0	2,6	0,0	0	0	0	0,0	0
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linné, 1858)	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0	0,4	0	0	0	1,6	0
<i>Valvulineria perlucida</i> (Heron-Allen & Earland, 1913)	3,3	0,0	0	0,0	2,7	9,2	0	6,3	8,9	6,5	0,6	6,8	8,0
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman, 1944)	18,7	0,3	0	0,3	15,0	8,0	0	14,7	15,1	10,3	9,7	14,0	13,6
<i>Spirillina vivipara</i> Ehreberg, 1843	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ammonia beccarii</i> (Linné, 1758)	72,5	0	0	0,3	75,9	70,1	0	71,4	66,6	75,0	77,5	64,0	64,8
<i>Cribrononion granosum</i> (d'Orbigny, 1846)	2,3	0	0	0,7	0,5	7,4	0	4,0	6,9	7,5	10,6	6,2	4,5
<i>Cribrononion lagunensis</i> (Albani & Serandrei-Barbero, 1982)	0,3	0	0	0	1,6	0,0	0	0,0	0,7	0,0	0,9	0,0	1,1
<i>Cribrononion simplex</i> (Cushman, 1933)	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0
<i>Cribrononion translucens</i> (Natland, 1938)	1,6	0	0	0	2,5	4,4	0	0,4	1,3	0,3	0,3	0,3	0
<i>Cribrononion venetum</i> (Albani, Favero & Serandrei-Barbero)	0,0	0	0	0	0,2	0,3	0	0,0	0,0	0,3	0	0,3	0
<i>Elphidium depressulum</i> Cushman, 1933	0,3	0	0	0	0	0	0	2,4	0,3	0	0	0	0
individui contati	305	329	294	307	439	338	304	252	305	292	339	308	88
individui totali nel lavato	1067	6580	1029	1842	21950	2028	3648	420	1525	1460	1525	308	156
planctonici rimaneggiati								1					2
numero di specie	8	4	2	5	8	7	3	8	8	6	6	9	6
%(peso) > 0,063 mm	1,7	2,1	1,6	11,6	9,9	4,0	1,5	1,5	25,1	1,3	3,1	3,7	3,5

\* Quota da p.c. (+ 1,10 + + 1,30 l.m.m.) per i campioni di SL8, SL9 e SL10

relative all'associazione a foraminiferi in termini di abbondanza percentuale di ogni specie nel campione considerato, contrassegnato dalla sigla del sondaggio e dalla profondità in m dal l.m.m. o dal piano campagna.

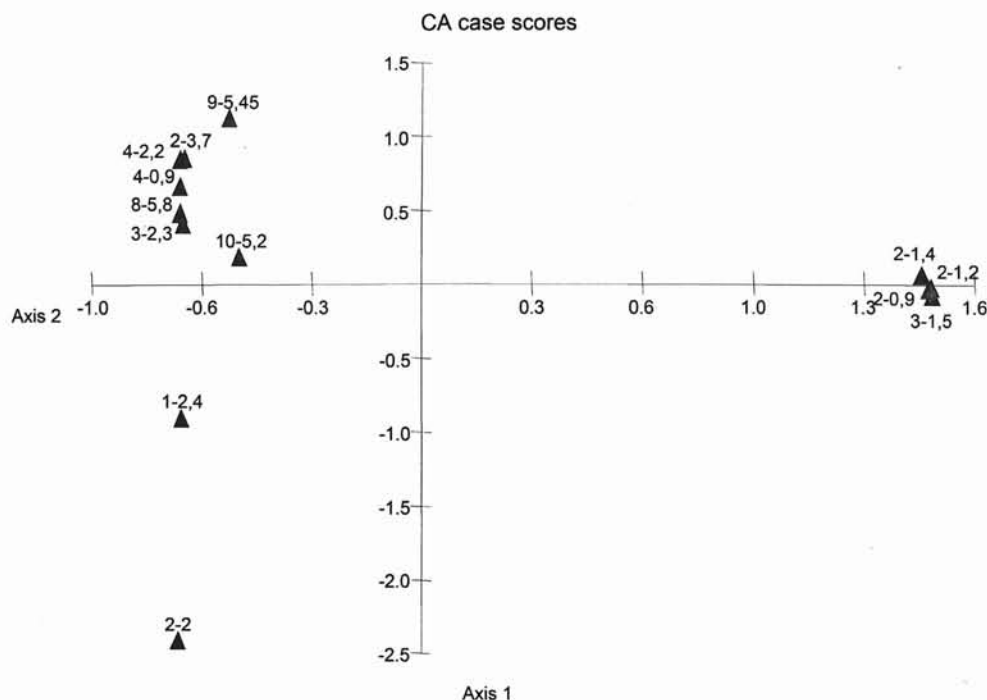
I dati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi delle corrispondenze, una tecnica statistica multivariata adatta all'elaborazione di variabili di tipo enumerativo come quelle in esame, ottenute dal conteggio dei diversi taxa (Davis, 1986). I campioni esaminati sono rappresentati in un diagramma cartesiano, i cui assi *axis 1* e *axis 2* sono le prime due componenti estratte dall'analisi delle corrispondenze che spiegano rispettivamente l'87,3% e il 3,5% della varianza totale, e risultano suddivisi in due gruppi (fig. 3) di campioni simili.

I campioni SL2-0,9, SL2-1,2, SL2-1,4 e SL3-1,5 costituiscono un primo raggruppamento caratterizzato da un'associazione di foraminiferi poco diversificata (il numero di specie presenti è compreso tra 2 e 5) e caratterizzata dalla presenza di *Trochammina inflata* (abbondanza media 95%), un taxon caratteristico degli ambienti di barena, attuali o sepolti, della Laguna di Venezia (Petrucci & alii, 1983; Albani & alii, 1984; Serandrei Barbero & alii, 1997, 2004b). Associate a *T. inflata*, sono presenti altre due specie, di gran lunga meno abbondanti, ma significative dal punto di vista ecologico, essendo comuni negli ambienti attuali di barena (Scott & Mediolli, 1980; Horton & alii, 1999): si tratta di *T. macrescens* (*Jadammina*) e di *Miliammina fusca*, un taxon che, nella laguna di Venezia, caratte-

rizza sedimenti di barena situati attorno al livello medio del mare (Petrucci & alii, 1983).

I rimanenti 9 campioni formano un raggruppamento meno compatto nella parte sinistra del diagramma e sono caratterizzati da un'associazione a maggiore diversità specifica (numero di specie compreso tra 6 e 9) nella quale i taxa più abbondanti sono *Ammonia beccarii* (64% ÷ 77,9%), *Haynesina paucilocula* (8% ÷ 18,7%), *Valvulineria perlucida* (0,6% ÷ 9,2%) e *Cribrononion granosum* (0,7% ÷ 10,6%). Il tipo di associazione ed il numero di specie indicano, nel complesso, un ambiente lagunare a grado di confinamento medio-alto, secondo il concetto di confinamento espresso da Guelorget & Perthuisot (1983), pur con alcune differenze al suo interno: nei campioni SL9-5,45 e SL10-5,20 la presenza di *T. inflata*, valore medio 7,3%, indica la vicinanza di zone barenicole; i campioni SL2-3,70, SL3-2,30, SL4-0,9, SL4-2,20 e SL8-5,80 sono caratterizzati da un contenuto medio di *C. granosum* del 7,3%, maggiore rispetto quello dei campioni SL1-2,40 (2,3%) e SL2-2 (0,5%) ubicati nel quadrante in basso a sinistra del diagramma (fig. 3). Negli ambienti di transizione quali la laguna di Venezia, il contenuto di *C. granosum* è legato alla salinità dell'acqua (Donnici & Serandrei Barbero, 2005), essendo più abbondante dove la salinità è minore. I campioni SL2-3,70, SL3-2,30, SL4-0,9, SL4-2,20 e SL8-5,80 potrebbero quindi riflettere, rispetto agli altri campioni, condizioni ambientali legate ad una maggior diluizione delle acque lagunari con acque dulcicole.

FIG. 3 - Rappresentazione sul piano cartesiano dei risultati ottenuti dall'analisi delle corrispondenze. L'analisi, basata sul contenuto percentuale delle diverse specie di foraminiferi presenti nei campioni analizzati, mostra due distinti gruppi di campioni: i campioni a sinistra dell'origine degli assi contengono *taxa* indicativi di ambiente lagunare; i campioni a destra, contengono *taxa* tipici di barena.



### Analisi radiometriche

I campioni sottoposti ad analisi, provenienti entrambi dal carotaggio SL2, sono stati scelti in quanto rappresentativi di due particolari fasi paleoambientali osservate nel sottosuolo del sito. Si tratta di torba di ambiente lagunare per il campione A, depositosi in un'area paludosa emersa, e di gusci, completi e frammentati di bivalvi del genere *Ostrea*, per il campione B.

In tab. 2 sono contenuti i risultati delle analisi in età non calibrate, nella tab. 3 sono indicati i risultati delle calibrazioni eseguite con il programma Oxcal 3.5 di Bronk Ramsey.

TABELLA 3 - Risultati delle calibrazioni delle età dei campioni studiati eseguite con il programma Oxcal 3.5 di Bronk Ramsey

Campione	Livello di incertezza	Date calibrate
A	1a (68.2%)	230 AD (68.2%) 390 AD
	2a (95.4%)	130 AD (95.4%) 410 AD 1210BC (2.9%) 1200BC 1190BC (4.9%) 1170BC
	1a (68.2%)	1160BC (6.8%) 1140BC 1130 BC (53.6%) 1000 BC
B	2a (95.4%)	1270BC (92.8%) 970 BG 960 BC (2.6%) 930 BC

### STORIA PALEOAMBIENTALE DEL SITO

L'analisi della sequenza attraversata dai carotaggi da SL1 a SL10 e i risultati delle analisi micropaleontologiche e radiometriche effettuate su campioni da essa prelevati hanno permesso la ricostruzione degli ambienti di deposizione del sottosuolo dell'area archeologica oggi sommersa di San Leonardo in Fossa Mala.

TABELLA 2 - Risultati delle analisi radiometriche con radiocarbonio espresse in età non calibrate

Campione	Carotaggio	Prof. da fondo laguna	Età BP	Codice data
A	SL2	1.40-1.53 m	1750±50	Rome-1418
B	SL2	~ 3.75 m	2910±50	Rome-1419

Le quote sono riferite al l.m.m. 1897 del mareografo di Punta della Salute (posto 23,5 cm al di sotto del livello medio mare attuale), livello di riferimento per l'area lagunare. Nelle figg. 4 e 5 sono rappresentate le correlazioni dei sondaggi lungo due sezioni, rispettivamente AB e CD.

I carotaggi SL1-SL5, eseguiti in acqua, hanno intercettato una sequenza di origine alluvionale, nella parte più profonda, a cui sono sovrapposti livelli di origine lagunare. Le indagini effettuate dalla superficie della Cassa di Colmata non hanno invece raggiunto gli orizzonti alluvionali in quanto partivano da quote assolute più elevate. Di seguito sono descritte in dettaglio le fasi di sedimentazione, per quanto riguarda i carotaggi eseguiti nel fondo lagunare, e cioè da SL1 a SL5.

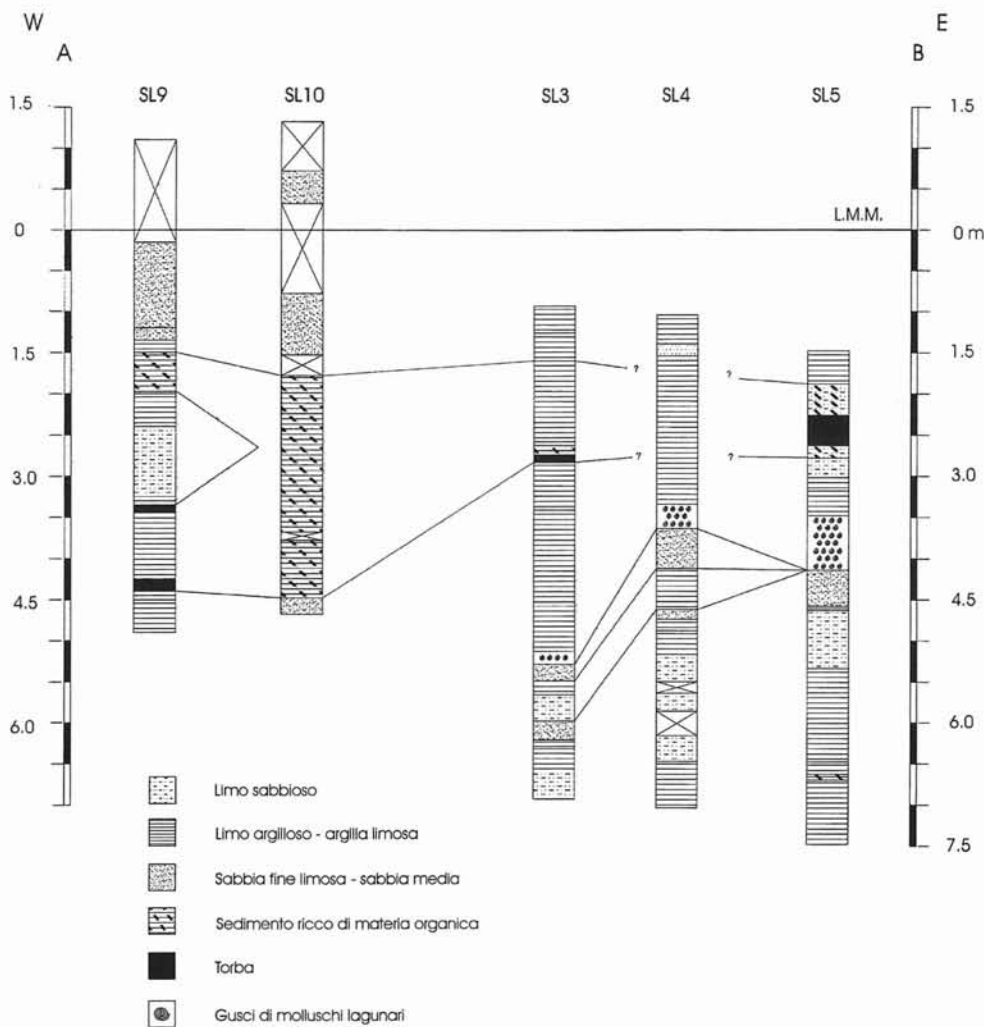


FIG. 4 - Correlazione dei sondaggi lungo la sezione A-B, ubicata in fig. 2.

La base della sequenza, da quota  $-7,16$  m in SL2, è caratterizzata da un ambiente fluviale ad energia medio-alta, ventagli di rocca o argini naturali. Il sito si ubicava, quindi, in prossimità all'alveo di un fiume. Il deposito relativo a questa fase è particolarmente spesso in SL4 dove, probabilmente, la superficie topografica era più elevata che nel resto della piana. Bisogna aggiungere però che in mancanza di datazioni relative a questo evento deposizionale non si può essere certi della contemporaneità di sedimentazione dei materiali nei diversi carotaggi.

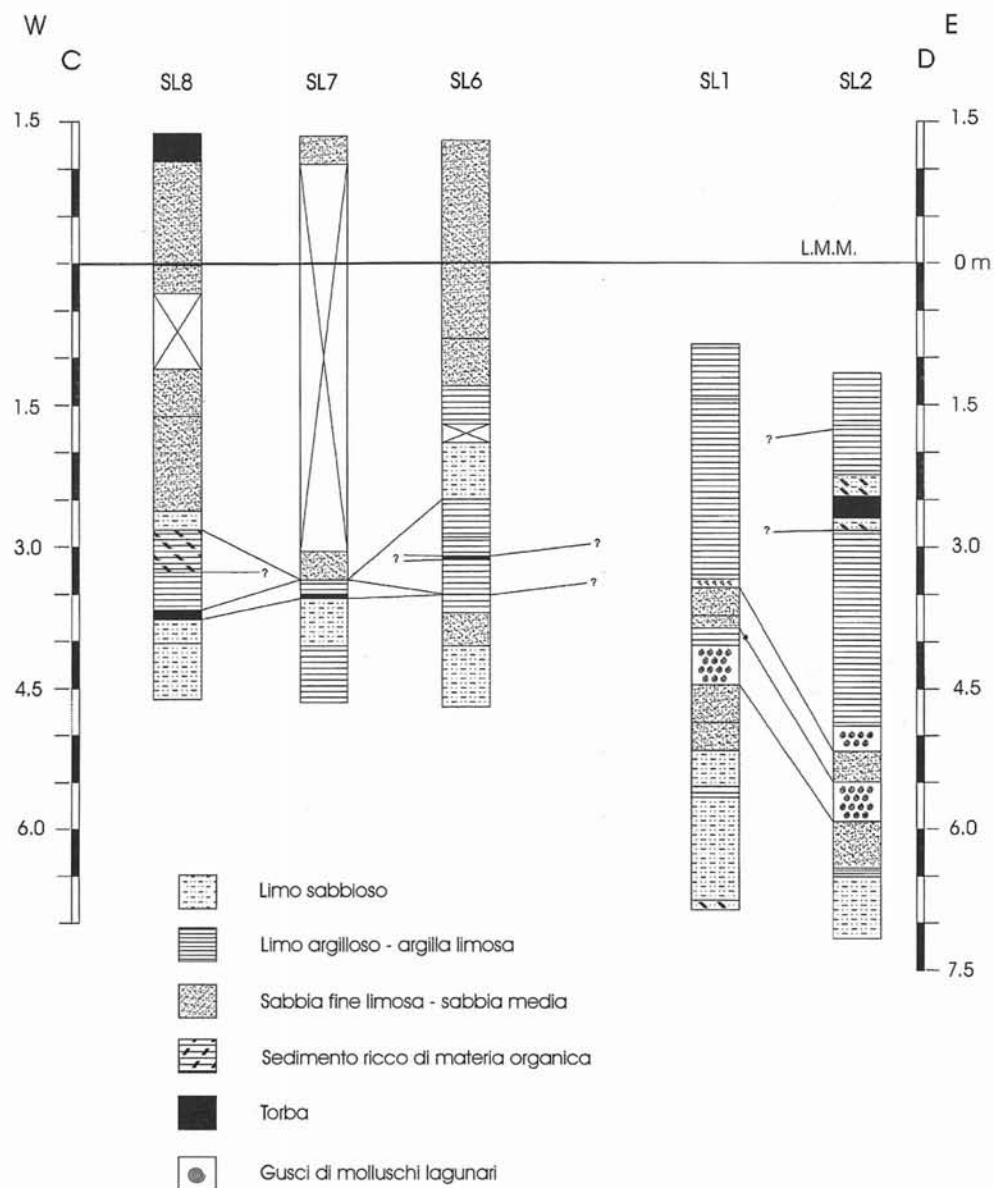
In SL2 e SL5, si osserva un suolo con superficie a quote variabili tra  $-6,82$  m e  $-6,63$  m, ad indicare che tra gli eventi di piena potevano trascorrere anche lunghi periodi. Solo in SL4 la fase ad energia medio-alta è preceduta da un deposito di tracimazione. A partire da quote variabili tra  $-6,50$  m in SL2 e  $-4,88$  m in SL4 si osservano evidenze di eventi di esondazione per tracimazione che danno luogo a depositi argillosi di diverso spessore. Dopo questa fase di esondazioni a limitato idrodinamismo, si torna ad un periodo caratterizzato da maggiore energia. Infatti si assiste alla formazione di argini naturali a partire da quote varia-

bili tra  $-6,38$  m in SL2 e  $-4,58$  m in SL5. In SL1 e SL5 tale fase è preceduta dal verificarsi di eventi di rotta che depongono materiali limosi sulla piana. In SL5 si riconosce anche una breve esondazione per tracimazione.

L'intera sequenza fin qui descritta, dalla base fino a quote variabili tra  $-5,98$  m in SL3 e  $-4,14$  m in SL5, si presenta alterata dall'esposizione ad agenti subaerei. Si osservano infatti tracce di fenomeni di deposizione secondaria di ossidi di ferro e carbonati che indicano una importante fase di stasi nell'aggradazione della pianura.

L'orizzonte continentale è seguito dall'evolversi dell'ambiente lagunare; infatti da quote variabili tra  $-5,92$  m in SL3 e  $-4,62$  m in SL4 si assiste alla formazione della spiaggia di un bacino di acqua salmastra. Essa indica la presenza di alta energia, legata all'azione di onde di vento. Sulla battigia si depositano principalmente gusci di *Ostrea* e, in subordine, pochi altri molluschi, tra i quali il più rappresentato è *Cerastoderma glaucum*. In SL3, da quota  $-5,98$  m, i sedimenti indicano un fondale lagunare che risente di vicine aree ad alta energia. Si tratta di fondali prossimi alla spiaggia descritta. La fase di spiaggia

FIG. 5 - Correlazione dei sondaggi lungo la sezione C-D, ubicata in fig. 2.



prima descritta è seguita dal formarsi di fondali più tranquilli, testimoniati solo in SL3, da  $-5,67$  m, ed in SL1, da  $-4,40$  m.

Le condizioni lagunari sono seguite da un ritorno della deposizione continentale a partire da quote variabili tra  $-5,49$  m in SL3 e  $-3,86$  m in SL1. Si imposta, infatti, un argine fluviale caratterizzato da deposizione sabbiosa. Il livello si depone probabilmente in concomitanza di una fase regressiva che permette alle acque alluvionali di ritornare a scorrere in un ambiente prima occupato da un bacino lagunare; oppure si tratta dello spostamento di una foce fluviale a seguito di un forte evento esondativo. Solo in SL5 non si risente della fluttuazione della linea di costa. Infatti, a quota  $-4,14$  si imposta una spiaggia lagunare e da questa quota non si osservano più sedimenti alluvionali. Ciò po-

trebbe indicare che l'area di SL5 rimane periferica rispetto all'arrivo delle acque fluviali oppure che la nuova fase di trasgressione marina cancella i depositi precedenti dal record stratigrafico.

Dopo la formazione dell'argine fluviale, da quote variabili tra  $-5,29$  m in SL3 e  $-4,14$  m in SL5, si torna a condizioni lagunari con la formazione di una nuova spiaggia sottoposta all'alta energia delle onde di vento. L'analisi al radiocarbonio dei materiali di spiaggia indica che la battigia si forma  $2910 \pm 50$  anni BP, età che, calibrata per avere i corrispondenti anni calendario, indica le fasi finali del II millennio B.C. Da questo evento in poi non si verificano più fluttuazioni drastiche di facies e le variazioni paleoambientali avvengono tutte all'interno di un bacino lagunare.

In SL1, tra quota -3,43 m e -3,34 m si osserva un grosso frammento di laterizio. Esso si colloca alla base della sequenza lagunare che segue la formazione dell'argine fluviale identificato, in un fondale a ricambio medio, dato che in questo punto non si osservano i depositi di spiaggia sopra descritti. Il frammento, di età difficilmente attribuibile, in quanto si tratta di materiale impiegato in età antica ma riutilizzato spesso in epoche successive, testimonierebbe la presenza antropica. Si tratta molto probabilmente di materiale caduto o buttato intenzionalmente in acqua. Difficile correlarlo con l'età dei depositi di battigia, in quanto è messo in posto in condizioni ambientali differenti, molto più simili a quelle del livello successivo. Per tali motivi si tende a collocarlo in un periodo posteriore all'età radiometrica disponibile, anche se non precisamente quantificabile.

Le condizioni di alta energia sono seguite, da quote variabili tra -5,13 m in SL2 e -3,48 m in SL5 nella porzione orientale del sito, da fondali tranquilli a medio ricambio. Solo in SL5, dopo un livello che indica bassa energia, si risente della vicinanza di un canale di marea o dell'influenza di onde di vento.

Nell'area occidentale, rappresentata dalle sequenze dei carotaggi da SL6 a SL10 eseguiti in terraferma, che da qui si prendono in considerazione, le condizioni sono più energetiche, simili a quelle sopra indicate per SL5.

I livelli più bassi intercettati nell'area occidentale, dove la base della successione arriva a -4,90 m, sono probabilmente correlabili con la fase di spiaggia identificata nella zona orientale; l'energia di cui risentono potrebbe essere legata alle onde di vento.

Alle condizioni di fondale lagunare segue una fase di emersione di tutta l'area, con formazione di un apparato intertidale o barena. Nell'area orientale tale fase si identifica a partire da -2,83 m in SL3 e si riconosce fino a -1,60 m sempre in SL3. In SL1 e SL4 non si osservano depositi di barena ma depositi di piana intertidale a medio ricambio; evidentemente nel sito si alternavano aree emerse e fondali lagunari, come oggi si può osservare in molte zone della laguna.

Nell'area occidentale la fase di emersione compare a profondità minori, a partire da -4,48 m in SL10 e termina a -1,50 m in SL9. Bisogna però osservare che in tutti i carotaggi eseguiti nell'area Ovest, tranne SL9 e SL6, i depositi relativi all'emersione sono troncati a tetto dai riporti che costituiscono la Cassa di Colmata e non si può quindi sempre quantificare con precisione lo spessore dei sedimenti di barena. Inoltre, sempre nel settore Ovest del sito studiato, si riconoscono due fasi di emersione intervallate da condizioni di piana intertidale a ricambio prevalentemente medio o medio-alto. La piana di marea si osserva da -3,67 m in SL8 a -2,00 m in SL9. Solo in SL7, dove i sedimenti di barena sono troncati da riporti a -3,35 m, e in SL10, dove si osserva un unico evento da -4,48 m a -1,78 m troncato anch'esso a tetto da riporti, non si ha testimonianza di due fasi distinte di emersione.

Valutando la fase appena descritta in tutto il sito sembra che le condizioni di barena si siano manifestate prima nell'area occidentale e poi in quella orientale, dove si ubica

l'area archeologica. In entrambi i casi, all'interno delle barene si formano paludi di durata ed estensione variabili.

L'età della fase di emersione dell'area orientale è stata identificata analizzando i depositi torbosi depositi nelle paludi: la loro età è di  $1750 \pm 50$  anni BP, corrispondente, in anni calendario, ad un periodo che va dal III al IV secolo AD.

Nell'area occidentale, a partire da quote variabili tra -1,88 m in SL5 e -1,60 m in SL3 si torna alla condizione di fondali lagunari: si tratta di ambienti di piana intertidale a scarso ricambio, con acque anche stagnanti. In questo livello, che arriva fino all'attuale fondo lagunare, si osservano anche frammenti o livelli di materiale di origine antropica, a testimoniare la frequentazione dell'area.

Nell'area orientale, a partire da quote variabili tra -3,35 m in SL7 e -1,35 m in SL9, si osservano i riporti messi in posto per la costruzione della Cassa di Colmata, che troncano la successione in tutti i carotaggi eseguiti in terraferma. Solo in SL9 è testimoniata una porzione del livello sopra descritto, troncata a tetto.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Nei sondaggi esaminati, dalla base fino a quote variabili tra -5,98 m in SL3 e -4,14 m in SL5, la sequenza si presenta alterata dall'esposizione ad agenti subaerei. Si osservano infatti evidenze di deposizione secondaria di carbonati e ossidi di ferro, quali concrezioni e screziature ocracee: l'intero livello è correlabile all'orizzonte localmente definito «caranto», identificato in precedenti pubblicazioni (Gatto & Previatello, 1974, Bortolami & *alii*, 1977), che testimonierebbe una importante fase di gap sedimentario.

Durante questa fase di cessazione dell'aggradazione della paleopianura (Mozzi & *alii*, 2003) si sarebbero tuttavia verificati sporadici e limitati apporti sedimentari (Bini & *alii*, 2003), come dimostrato anche dalle recenti datazioni di frustoli carboniosi inglobati nelle alluvioni e risalenti all'Olocene Inferiore (Serandrei Barbero & *alii*, in stampa).

Analogamente alla serie descritta da Bonatti (1968) nel sondaggio a Motte di Volpego, anche in questa area manca il livello definito palustre che, nella successione-tipo descritta in precedenti lavori (Lezziero, 2000; Serandrei Barbero & *alii*, 2001; Serandrei Barbero & *alii*, 2002), si colloca solitamente tra la successione continentale e quella lagunare soprastante. È possibile che la facies non sia presente oppure che sia stata cancellata dall'energia del nuovo ambiente lagunare.

I sedimenti di ambiente lagunare sono presenti da quote comprese tra -4,14 m e -5,98 m fino al tetto, sostanzialmente in accordo con i sondaggi Torson e Rivola (Favero & Serandrei Barbero, 1980), dove la base del lagunare è stata identificata rispettivamente a -6,40 m e a -5,70 m, e Motte di Volpego (Bonatti, 1968) dove i depositi lagunari hanno uno spessore di circa 5 m. I depositi lagunari rinvenuti in questi sondaggi non forniscono però informazioni utili a determinare l'evoluzione dei siti, mentre, nell'area in esame, le variazioni ambientali sono state dedotte dal mu-

tare delle associazioni a foraminiferi e dal loro confronto con le associazioni attuali.

L'età dei primi depositi salmastri ( $2910 \pm 50$  anni BP), caratterizzati da ambiente di spiaggia, è in accordo con l'età attorno ai 2000 anni BP indicata da Bonatti (1968) a Motte di Volpego per la base dei depositi lagunari.

Alla prima fase lagunare segue la deposizione di materiali alluvionali. Come già indicato, si tratta probabilmente di una fase regressiva che porta le acque continentali ad occupare il bacino salmastro. Si pone l'accento sul fatto che la maggior parte delle facies lagunari descritte nella fase precedente indicano un ambiente di transizione a terra emersa come una spiaggia. Il sito, quanto meno l'area indagata dai carotaggi eseguiti in acqua, si trovava quindi in aree poste al confine tra il margine del primordiale bacino lagunare ed aree di terraferma. Non è inoltre da escludere che si tratti dallo spostamento della foce lagunare di un fiume che entrava in una laguna poco profonda. Potrebbe, in questo caso, trattarsi della variazione della posizione dell'alveo di un corso d'acqua che avviene in concomitanza di un forte evento di piena, e non necessariamente in occasione di una regressione.

All'ambiente alluvionale segue il definitivo affermarsi del bacino lagunare caratterizzato da facies di spiaggia, datate alle fasi finali del II millennio BC, a cui seguono condizioni più tranquille, di piana intertidale a medio ricambio.

Si giunge poi ad una fase di emersione, datata nell'area orientale  $1750 \pm 50$  anni BP, corrispondente, in anni calendario, ad un periodo che va dal III al IV secolo AD. In questo periodo, secondo Canal & alii (2001), si verifica, nell'area lagunare, una forte regressione che potrebbe aver dato luogo a nuove aree emerse come quelle identificate nel sottosuolo del sito indagato. Inoltre, secondo Dorigo (1983), intorno al II secolo AD, si assiste ad un periodo di sistemazioni agrimensorie e di bonifiche legate alla disponibilità di nuova terra in seguito ad una fase regressiva che perdurerà ancora alcuni secoli. La sequenza analizzata si può quindi considerare un argomento a favore dell'ipotesi di una diffusa presenza di terre emerse in epoca tardo imperiale-tardo antica, almeno nei dintorni dell'area studiata.

Nell'area occidentale si torna poi a condizioni di fondali tranquilli, mentre ad Est la successione naturale è troncata dai riporti della Cassa di Colmata. La laguna, in questo periodo, si presenta come una piana intertidale a scarso ricambio, con acque anche stagnanti. Il livello relativo alla fase descritta, pur essendo il più superficiale di tutta la successione, non è riferibile alla situazione attuale in quanto la presenza del Canale Malamocco-Marghera, scavato nel 1968, determina un elevato grado di idrodinamismo sia durante le fasi di marea, calante e crescente, sia durante il passaggio delle grandi navi, che provocano la formazione di onde. In tali condizioni non può avvenire la deposizione di materiali fini come quelli di cui è costituito il livello in questione. Si tratta quindi di un livello deposto in un momento precedente alla costruzione del canale la cui presenza è oggi causa di un forte fenomeno erosivo di sponde e fondali.

Non ci sono testimonianze dirette che permettano di legare la sequenza ai resti della Chiesa di San Leonardo in Fossa Mala, anche perché non sono disponibili datazioni radiometriche di materiali, inclusi nei sedimenti studiati, relative all'epoca di costruzione del monastero. Tuttavia, considerando anche indagini effettuate tramite cartografia storica e foto aeree, si pensa che l'area sia rimasta in condizioni di fondali poco profondi o emersi per un lungo periodo, fino alla costruzione del Canale dei Petroli. Considerando inoltre le barene individuate nel sottosuolo dell'area, che giungono fino a  $-1,60$  m ( $-0,67$  m dal fondo lagunare in SL3) e il livello che le ricopre, è molto probabile che l'area occupata dall'insediamento monastico fosse emersa fin dai secoli III-IV AD, e che sia andata soggetta ad eventi di invasione di acque lagunari mai troppo intensi.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALBANI A.D., FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1984) - *Benthonic Foraminifera as Indicators of Intertidal Environments*. Geo-Marine Letters, 4, 43-47.
- ALBEROTANZA L., SERANDREI BARBERO R. & FAVERO V. (1977) - *I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (bacino settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 243-269.
- BINI C., BONARDI M., DONNICI S., LEZZIERO A., MOZZI P. & SERANDREI BARBERO R. (2003) - *An overconsolidated palaeosol layer underlying the Venice Lagoon: the Caranto* (Abstract). XVI INQUA Congress, Reno, Nevada, USA, July 24-30.
- BONATTI E. (1968) - *Late-Pleistocene and postglacial stratigraphy of a sediment core from the Lagoon of Venice (Italy)*. Mem. Biogeogr. Adriatica, 7 suppl., 9-26.
- BORTOLAMI G., FONTES J.C., MARKGRAF V. & SALIEGE J.F. (1977) - *Land, sea and climate in the Northern Adriatic region during Late Pleistocene and Holocene*. Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., 21, 139-156.
- BRONK RAMSEY C. (1994) - *Analysis of Chronological Information and Radiocarbon Calibration: The Program OxCal*. Archaeological Computing Newsletter, 41, 11-16.
- BRONK RAMSEY C. (1995) - *Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program*. Radiocarbon, 37, 2, 425-430.
- BRONK RAMSEY C. (1998) - *Probability and Dating*. Radiocarbon, 40, 1, 461-474.
- BUZAS M. (1990) - *Another look at confidence limits for species proportions*. Journ. Paleontology, 64, 842-843.
- CANAL E., FOZZATI L. & LEZZIERO A. (2001) - *Geoarchaeology in Venice Lagoon: Palaeoenvironmental Changes and Ancient Sea Level Oscillation*. MEDCOAST 01, The Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 23-27 October 2001, Hammamet.
- DAVIS J.C. (1986) - *Statistics and data analysis in Geology*. J. Wiley, New York, 646 pp.
- DONNICI S. (2004) - *L'evoluzione paleoambientale Tardo-Quaternaria del territorio lagunare veneziano*. Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento Scienze Ambientali, Tesi di Dottorato, inedita.
- DONNICI S. & SERANDREI BARBERO R. (2005) - *I foraminiferi di ambiente vallivo della Laguna di Venezia*. Lavori della Soc. Ven. Sc. Nat., 30 (in stampa).
- DORIGO W. (1983) - *Venezia, origini*. Electa, Milano.
- FAVERO V. & SERANDREI BARBERO R. (1980) - *Origine ed evoluzione della Laguna di Venezia - bacino meridionale*. Lavori Soc. Ven. Sc. Nat., 5, 49-71.

- FERSUOCH L. (1995) - *S. Leonardo in Fossa Mala e altre fondazioni medievali lagunari*. Restituzione territoriale, storica e archeologica. Jouvence, Roma, 113 pp.
- GATTO P. & PREVIADELLO P. (1974) - *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella laguna di Venezia di un'argilla sovraconsolidata nota come «caranto»*. C.N.R., Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, Tech. Rep., 67, Venezia.
- GUELORGET O. & PERTHUISOT J.P. (1983) - *Le domaine paraliqne*. Presses de l'École Normale Supérieure de Paris, Travaux du Laboratoire de Géologie, 16, 136 pp.
- HORTON B.P., EDWARDS R.J. & LLOYD J.M. (1999) - *UK intertidal foraminiferal distributions: implications for sea-level studies*. Marine Micropaleontology, 36, 205-223.
- LEZZIERO A. (2000) - *Il sottosuolo di Venezia: sedimentologia e paleoambienti*. Atti del convegno: «Le Pianure. Conoscenza e Salvaguardia», Ferrara: Regione Emilia-Romagna.
- LOEBLICH A.R. & TAPPAN H. (1987) - *Foraminiferal Genera and Their Classification*, I and II. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 970 pp.
- MOZZI P., BINI C., ZILOCCHI L., BECCATINI R. & MARIOTTI LIPPI M. (2003) - *Stratigraphy, palaeopedology and palynology of Late Pleistocene and Holocene deposits in the landward sector of the lagoon of Venice (Italy), in relation to the Caranto Level*. Il Quaternario, 16, 1bis, 197-214.
- PETRUCCI F., MEDIOLI F.S., SCOTT D.B., PIANETTI F.A. & CAVAZZONI S. (1983) - *Evaluation of the usefulness of foraminifera as sea level indicators in the Venice lagoon (N. Italy)*. L'Ateneo Parmense, Acta Nat., 19, 63-77.
- SCOTT D.B. & MEDIOLI F.S. (1980) - *Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia; implications for sea level studies*. *Cushman Found. Foraminif. Res. Spec. Publ.*, 17, 58 pp.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A.D. & ZECCHETTO S. (1997) - *Palaeoenvironmental significance of a benthic foraminifera fauna from an archaeological excavation in the Lagoon of Venice, Italy*. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 136, 41-52.
- SERANDREI BARBERO R., BERTOLDI R., CANALI G., DONNICI S. & LEZZIERO A. (-) - *Paleoclimatic record of the past 22,000 years in Venice (Northern Italy): Biostratigraphic evidence and chronology*. Quaternary International (in stampa).
- SERANDREI BARBERO R., DONNICI S. & LEZZIERO A. (2002) - *Contributo alla conoscenza dell'Area Arsenale a Venezia: l'evoluzione del territorio negli ultimi 25 000 anni*. *Atti Istit. Veneto Sc. Lett. Arti*, 160, 363-383.
- SERANDREI BARBERO R., LEZZIERO A., ALBANI A. & ZOPPI U. (2001) - *Depositi tardo-pleistocenici ed olocenici nel sottosuolo veneziano: paleoambienti e cronologia*. *Il Quaternario*, 14, 1, 9-22.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A., BONARDI M. & DONNICI S. (2004a) - *Foraminiferal biotopes as environmental monitoring indicators: a comparison with the 1983 foraminiferal faunas*. Co.Ri.La. Scientific Research and Safeguarding of Venice, Research Programme 2001-2003: 2002 results, vol. 2, 175-188, Venezia.
- SERANDREI BARBERO R., ALBANI A. & BONARDI M. (2004b) - *Ancient and modern salt marshes in the Lagoon of Venice*. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 202, 229-244.
- TOSI L. (1994) - *L'evoluzione paleoambientale tardo-quaternaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. *Il Quaternario*, 7, 2, 589-596.