

DEPOSITI TARDO-PLEISTOCENICI ED OLOCENICI NEL SOTTOSUOLO VENEZIANO: PALEOAMBIENTI E CRONOLOGIA

R. Serandrei Barbero¹, A. Lezziero², A. Albani³ e U. Zoppi⁴

¹ Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse del C.N.R., S.Polo 1364, 30125 Venezia.

² Collaboratore scientifico Nucleo di Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico
Soprintendenza Archeologica per il Veneto, Cannaregio 5031, 30122 Venezia.

³ Centre for Marine Science, Department of Geology, University of New South Wales, 2052 Sidney.

⁴ Australian Nuclear Science and Technology Organization, Physics Division, 2234 Menai, Sidney.

RIASSUNTO - 19 nuovi sondaggi effettuati nel centro storico di Venezia nell'ambito delle disposizioni di tutela archeologica del territorio forniscono la ricostruzione dell'evoluzione subita dall'area urbanizzata dall'ultimo pleniglaciale ad oggi. Considerazioni di tipo sedimentologico, torbe, gusci di molluschi dulcicoli, sedimenti sterili, danno precise indicazioni sui paleoambienti continentali. L'analisi multivariata effettuata sui 24 campioni ricchi di foraminiferi lagunari permette di distinguere ambienti lagunari di fondale a scarso ricambio idrico da altri di laguna aperta o dai canali mareali. La cronologia dei materiali tardopleistocenici ed olocenici che costituiscono il sottosuolo della città fino a - 24 m dal l.m.m. attribuisce le torbe attorno ai 10 - 12 m di profondità agli interstadi verificatisi tra 21 750 e 19 000 anni BP e colloca la trasgressione Versiliana in quest'area a - 5,80 m dal l.m.m. con un'età convenzionale di $4\,670 \pm 70$ BP e un tasso medio di sedimentazione olocenica attorno a 1,2 mm/anno. La lacuna sedimentaria presente nell'area, legata alla prolungata esposizione subaerea della piana alluvionale, è marcata da una fascia di alterazione della sequenza sedimentaria che ha interessato tutti i depositi presenti sulla piana di esondazione. Malgrado l'evidenza di depositi di canali fluviali sotto la sequenza lagunare, lo spessore dei sedimenti lagunari nel centro storico non sembra mostrare variazioni altimetriche tali da indicare la presenza nel sottosuolo dell'alto morfologico di età pleistocenica presente a Nord Ovest di Venezia e nel sottosuolo della bocca di Lido. Tra 4 670 anni BP e l'epoca storica nell'area di S.Marco la laguna mostra i segni di canali mareali e di un intenso ricambio idrico, mentre a Nord e a Sud si instaurano ambienti lagunari a più scarso ricambio; su entrambi prendono gradualmente il sopravvento strutture e depositi legati all'attività antropica.

ABSTRACT - Several new cores in the city area of Venice give new data for the interpretation of the palaeoenvironments and depositional history of the last 20,000 years. The multidisciplinary approach is based on sedimentological observations and on palaeoecological information obtained from quantitative analyses of foraminifera. The statistical analysis of the foraminifera content at different depths distinguishes the lagoon palaeomorphologies, i.e., tidal channels, salt marshes or mud flats. Sedimentological observations describe the pre-transgression deposits sedimented in the late-glacial fluvial-lacustrine plain. Dating is based on ¹⁴C measured on peat or carbonate shells. Peats 10-12 m depth result to be linked to the interstadials between 21,750 to 19,000 years BP. The chronology of lagoonal sediments give an average rate of sedimentation of 1.2 mm/year, very close to the regional Holocene rate of 1.3 mm/year previously estimated. The overconsolidated layer, known as caranto and corresponding to the stratigraphic gap underlying the lagoon, involves all ancient floodplain deposits. Despite the trace findings of river channels beneath the lagoon, the thickness of lagoon sediments in the Venice subsoil does not show elevation differences that would indicate the continuance in the subsoil of the ancient riverbed of the Pleistocene Epoch, North-West of Venice. Between 4,670 years BP and the historical epoch, in the area of St. Mark's, the lagoon shows evidence of tidal creeks and intense exchanges, while to the North and South, lagoon systems with poor exchange developed. Structures and deposition connected with anthropogenic activity have gradually overtaken both.

Parole chiave: Tardiglaciale, Olocene, datazioni C-14, foraminiferi bentonici, variazioni ambientali, Venezia.
Key words: Late Glacial, Holocene, C-14 dating, benthic foraminifera, environmental variations, Venice.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni è stato possibile ricostruire l'evoluzione dell'area lagunare veneziana attraverso i numerosi sondaggi effettuati su isole e barene; ma la scelta dei siti da indagare, talora coincidenti con aree di interesse archeologico, ha spesso risentito della maggior facilità di accesso e di svolgimento delle operazioni di perforazione in aree non edificate rispetto al centro storico.

Nella Laguna Settentrionale (Alberotanza et al., 1977) alla base dei sedimenti lagunari sono state riconosciute sabbie giallastre d'ambiente continentale, talora attribuibili a depositi eolici, sottostanti a sedimenti più fini grigio-verdi, ancora continentali, ma di

ambiente subacqueo e rappresentativi di un margine lagunare prossimo all'ingressione delle acque lagunari. I sedimenti lagunari sovrastanti, la cui base è databile alla fine della cronozona atlantica (Alberotanza et al., 1977; Beaulieu et al., 1994), hanno uno spessore variabile da 1 metro presso il margine continentale ad oltre 6 metri presso il litorale; sono composti da limi argillosi grigio scuri e spesso inglobano resti archeologici di età romana o medioevale (Leciejewicz et al., 1970; Serandrei Barbero et al., 1997). Le microfaune a foraminiferi inglobate in questi sedimenti hanno messo in luce la frequente presenza di barene sepolte alla base degli insediamenti antropici (Favero e Serandrei Barbero 1981, 1983; Favero et al., 1995), confermando l'esistenza di vaste aree emerse nel periodo

tardoromano (Dorigo, 1981) e attribuendo i diffusi insediamenti messi in luce ad un'estesa fase regressiva (Bonardi *et al.*, 1997).

A Sud del Canale di Malamocco, la linea di costa, durante l'acme dell'ingressione Versiliana, era di alcuni chilometri verso il retroterra rispetto all'attuale. All'interno di questo cordone litorale si svilupparono le prime lagune, in cui, nei settori direttamente interessati dalla presenza di corsi d'acqua, si formavano condizioni prevalentemente fluvio-palustri (Favero e Serandrei Barbero, 1978; 1980). Lo spostamento della linea di costa nella posizione attuale si concluse circa 2.500 anni fa; e in questa stessa epoca si formarono quelle estese torbiere che, con le loro superficie subaeree, forniranno successivamente un substrato idoneo ad ospitare i primi insediamenti antropici. Queste superficie emerse, identificate sia nella laguna settentrionale, sia a Sud del Canale di Malamocco, sono datate, su base archeologica, da 2.500 a 1.500-1.000 anni fa e subiscono sostanziali modifiche solo a partire dal XIV secolo (Favero *et al.*, 1988) con l'inizio dell'estromissione dei fiumi dalla laguna e il sopravvento delle acque marine.

Nonostante i recenti lavori di McClennen *et al.* (1997) e di Ammerman *et al.* (1999), non esiste un'analoga ricostruzione paleoambientale di dettaglio per l'area dell'urbanizzazione antica di Venezia, né ha ancora trovato conferma la vecchia ipotesi (Morandini, 1960) che il nucleo cittadino sia impostato su un paleoalveo del Brenta. I sondaggi esplorativi effettuati in passato nel centro storico sono piuttosto rari, se si eccettuano le perforazioni effettuate nella prima metà del secolo per lo sfruttamento delle falde acquifere (Serandrei Barbero, 1972): queste perforazioni sono, in genere, corredate di descrizioni stratigrafiche piuttosto generiche e che risentono delle carenze conoscitive dell'epoca. I materiali estratti dal sottosuolo veneziano dai numerosi sondaggi effettuati più recentemente per scopi geotecnici (cf. Gatto e Previetto, 1974) sono dispersi in vari depositi o sono stati eliminati nel corso del tempo e, fino alla fine degli anni settanta, gli unici materiali estratti per scopi conoscitivi dal sottosuolo del centro storico, provenivano dal Tronchetto e dall'Arsenale (C.N.R., 1971; Favero *et al.*, 1973; Serandrei Barbero, 1975; Alberotanza e Serandrei Barbero, 1976), da aree quindi relativamente marginali rispetto all'antica area urbanizzata.

I sondaggi esplorativi effettuati nei primi anni novanta nella Basilica di S. Lorenzo nell'ambito di recenti

indagini archeologiche (De Min, 1990) hanno raggiunto le sabbie continentali precedenti l'ingressione delle acque lagunari (Albani *et al.*, 1995). In questo sito le più antiche presenze antropiche risalgono al sesto secolo e sono sovrastate dai segni di una nuova ingressione marina; ma, a partire dal nono secolo, gli interventi antropici mascherano i processi sedimentari naturali e i relativi paleoambienti.

Oggi, attraverso il Progetto Archeologia Veneziana delle Acque del Nucleo di Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico della Soprintendenza Archeologica per il Veneto, le disposizioni di tutela archeologica del territorio richiedono, per ogni progetto esecutivo nel centro storico, il controllo preliminare del sottosuolo e la ricostruzione dei paleoambienti, permettendo l'acquisizione di nuovi dati. Nel corso del 1997, nell'ambito di queste disposizioni di tutela, veniva richiesta l'assistenza scientifica sia alle indagini geognostiche effettuate in Piazza S. Marco sia alle indagini necessarie alla ricostruzione del Teatro La Fenice. I sondaggi esplorativi legati a questi progetti si sono spinti fino ad oltre 20 m sotto il livello medio mare 1897 in Piazza S. Marco e oltre i 14 m di profondità l.m.m. 1897 sotto il Teatro La Fenice. Ad essi si affiancano i carotaggi esplorativi che hanno attraversato i sedimenti olocenici in Corte Vicenza, nei pressi di Via 22 Marzo, a Cannaregio, Murano e nell'area Molino Stucky, nel corso di interventi diversi di manutenzione urbana. I materiali estratti da tutti questi son-

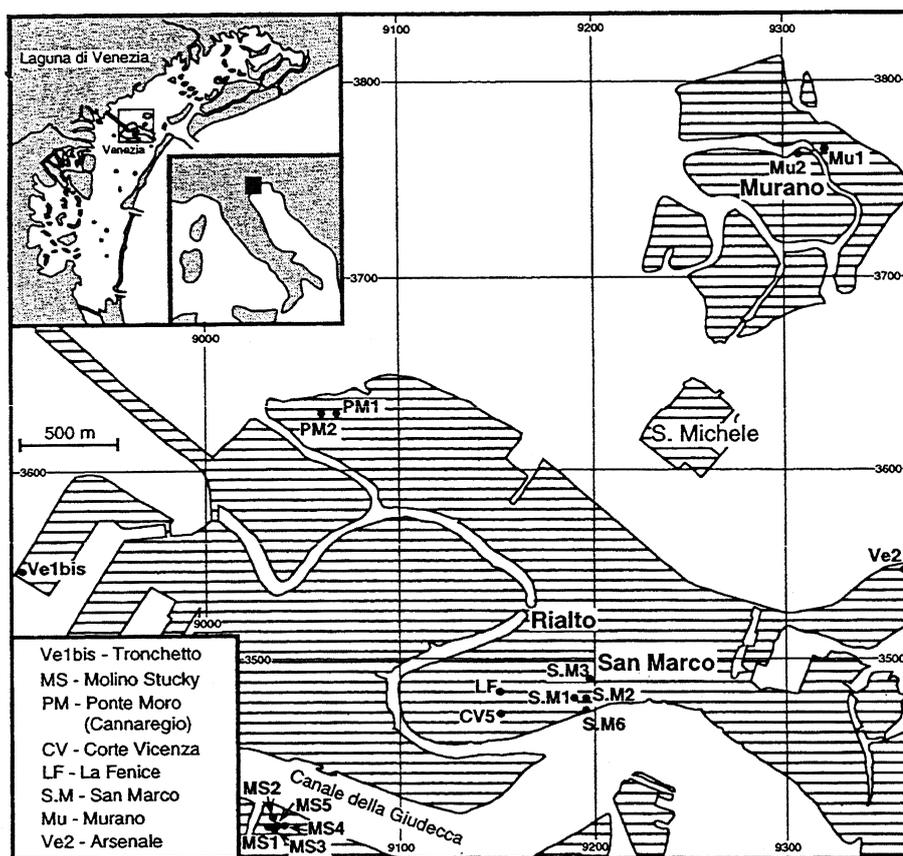


Fig. 1 - Ubicazione dei sondaggi studiati.
Location of boreholes.

daggi, la cui ubicazione è riportata in Fig. 1, permettono un riesame dei materiali incoerenti che formano il substrato della città anche alla luce delle più recenti interpretazioni cronologiche e ambientali legate allo studio palinologico dei sedimenti veneziani (Müllenders et al. 1996); e consentono di estendere al sottosuolo del centro storico la ricerca di quei livelli guida capaci di inquadrare le singole unità morfologiche in una cronologia complessiva dell'evoluzione del territorio negli ultimi millenni.

2. IL MATERIALE DISPONIBILE

Nell'area di Piazza S. Marco, i 4 sondaggi studiati sono parte di una serie di prove geotecniche eseguite nell'ambito del progetto "Indagini Propedeutiche al Progetto Esecutivo delle Opere di Difesa dell'Insula di S. Marco" del Consorzio Venezia Nuova, concessionario del Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato alle Acque di Venezia. Essi sono stati eseguiti avendo il piano campagna come livello di riferimento per i valori di profondità. La quota di riferimento, nella posizione dei vari sondaggi, è tra i 70 e i 100 cm sopra al livello medio mare del 1897 misurato al mareografo di Punta della Salute a Venezia, che attualmente è 23,4 cm più basso del livello medio mare attuale (Cavazzoni, 1977).

Il sondaggio effettuato nell'area del palcoscenico dell'ex Teatro La Fenice è stato commissionato dalla direzione dei lavori di ricostruzione del teatro, al tempo Impregilo S.p.A., nell'ambito del controllo archeologico del sottosuolo disposto dalla Soprintendenza Archeologica per il Veneto ed eseguito utilizzando come piano di riferimento un pavimento in calcestruzzo posto 93,5 cm sopra al l.m.m. 1897.

Anche i 5 sondaggi di Corte Vicenza, vicinissimi tra loro e raggruppati sotto un'unica sigla, e i 5 del Molino Stucky commissionati da Molino Stucky Venezia S.p.A nell'ambito del "Progetto di Risanamento Conservativo: Area Molino Stucky", sono stati eseguiti per il controllo archeologico del sottosuolo. Essi hanno come piano di riferimento per le profondità un tavolato posto 42 cm sopra il l.m.m. 1897 per quanto riguarda la Corte Vicenza; e la quota del piano campagna per l'area del Molino Stucky, quota variante tra 67 e 140 cm l.m.m. 1897 per i siti interessati dai 5 sondaggi.

Le 2 perforazioni effettuate a Ponte Moro (Cannaregio) e le 2 effettuate a Murano (al Ponte Zaniol e in Fondamenta S. Mattia) sono state eseguite per scopi geotecnici nell'ambito di progetti di ricostruzione di ponti e fondamenta commissionati da Insula S.p.A.. La loro quota di riferimento è costituita dal piano campagna, che si trova rispettivamente a quote variabili tra 200 e 216 cm e tra 107 e 150 cm sopra al l.m.m. 1897.

I siti interessati dai sondaggi sono grossolanamente allineati lungo una spezzata che, da Murano, taglia trasversalmente la città di Venezia da Nord a Sud (Fig. 1) e permette di indagare i rapporti tra i corpi sedimentari sepolti. A questo scopo i valori di profondità dei diversi sondaggi sono stati uniformati utilizzando per tutti, come livello di riferimento, il l.m.m. 1897, a cui sono riferite, da qui in avanti, tutte le profondità.

3. I METODI UTILIZZATI

Dai sedimenti attraversati sono stati prelevati 63 campioni per lo studio del contenuto organogeno. I campioni, costituiti da 50 g di sedimento, sono stati lavati su setaccio da 0,063 mm di apertura per disperdere la frazione argillosa o limosa. In 26 campioni il contenuto organogeno è risultato assente o costituito esclusivamente da pezzetti di torba o opercoli di gasteropodi dulcicoli. In altri 24 campioni è dato essenzialmente da abbondanti gusci di foraminiferi (Phylum PROTOZOA, Classe RHIZOPODA, Ordine FORAMINIFERIDA), rappresentati, in ambienti costieri o parali, da forme bentoniche: tutti i foraminiferi presenti nel residuo al lavato di questi campioni sono stati classificati e contati e il loro contenuto percentuale utilizzato per l'analisi quantitativa dei dati mediante cluster analysis. In ulteriori 13 campioni il contenuto micropaleontologico è dato da foraminiferi molto scarsi e quindi non utilizzabili sotto il profilo quantitativo.

Di cinque campioni, provenienti dai sondaggi S.M2 (campioni a -5,10m e -9,90 m), S.M6 (campione a -2,80 m) e LF (il campione a -12,02 m ha fornito i materiali per due differenti analisi), è stata calcolata l'età convenzionale presso i laboratori ANSTO (Australian Nuclear Science and Technology Organization) con metodo AMS (Accelerator Mass Spectrometry, Tuniz et al. 1998). Il metodo utilizza un acceleratore di particelle nucleari (8MV Tandem FN della High Voltage Engineering Corporation) per individuare i singoli atomi di ^{14}C in presenza degli isotopi stabili ^{12}C e ^{13}C . Le misure effettuate con tecnica AMS, rispetto a quelle eseguite con metodi tradizionali, necessitano di quantità minime di materiale (generalmente è sufficiente 1mg di carbonio) e di un tempo di misura ridotto.

I campioni in legno sono stati inizialmente purificati con il cosiddetto metodo AAA (Mook et al., 1983). La rimozione di impurità depositate sulla superficie dei gusci è stata invece effettuata meccanicamente. Dai campioni così trattati è stata ottenuta l'anidride carbonica attraverso un processo di idrolisi per le conchiglie (Gagnon et al., 1993) ed un processo di combustione per il materiale organico (Jacobsen et al., 1997). Una parte dell'anidride carbonica è stata analizzata per la determinazione di ^{13}C usando uno spettrometro di massa per isotopi stabili convenzionale; il rimanente è stato convertito in grafite per le misure con AMS mediante il metodo di Jull et al. (1986) modificato.

Il rapporto isotopico $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ è stato misurato, in base allo standard di riferimento (Stuiver, 1983), con una precisione dello 0,5% dopo aver effettuato le consuete correzioni relative alla sensibilità dello strumento, al frazionamento isotopico e alle contaminazioni introdotte dai processi di combustione, idrolisi e grafitizzazione.

Su altri 3 campioni, provenienti dai sondaggi PM, torbe a -10,19 e a -10,36 m (Lezziero, in stampa), e CV5 (ramo di salice a - 3,80 m proveniente dall'arginatura rinvenuta nel sottosuolo di Corte Vicenza), l'età convenzionale è stata ottenuta presso il Laboratorio Radiocarbonio del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma con la tecnica della scintillazione liquida, misurando l'attività del radiocarbonio per spettrometria β^- con analizzatori multicanali (Calderoni and Petrone, 1992).

4. IL SOTTOSUOLO DELLE AREE IN ESAME

4.1. Caratteri litologici

Murano: Ponte Zaniol e Fondamenta S. Mattia (sondaggi Mu1 e Mu2). Fino a - 4,20 m sono presenti riporti sabbiosi eterogenei. Da - 4,20 a - 5,15 m: sabbia medio-fine limosa grigia massiva con frequenti gusci di molluschi lagunari; limite inferiore erosivo (nel sondaggio Mu2 al posto della sabbia medio fine limosa è presente limo argilloso massivo con gusci di molluschi lagunari). Da - 5,15 a - 7,30 m: limo argilloso grigio chiaro massivo, sovraconsolidato; sono presenti screziature ocracee, rade nella parte bassa. Da - 7,30 a - 9,30 m: argilla limosa grigio chiaro massiva con resti vegetali. Da - 9,30 a - 11,00 m: da limo sabbioso a limo argilloso grigi massivi con intercalazioni torbose. Da - 11,00 a - 18,90 m: da sabbia fine limosa grigia a sabbia medio-fine grigio-brunastra, massiva; livelli pedogenizzati nella parte alta.

Cannaregio: Ponte Moro (sondaggi PM1 e PM2). Fino a - 2,00 m sono presenti riporti sabbiosi eterogenei. Da - 2,00 a - 3,90 m: argilla limosa grigio scura massiva con gusci di molluschi lagunari; limite inferiore erosivo. Da - 3,90 e - 4,25: m argilla limosa grigio-azzurra massiva con resti vegetali; limite inferiore erosivo. Da - 4,25 e - 6,85 m: limo argilloso grigio massivo con screziature ocracee, talora sovraconsolidato; sono visibili concrezioni calcaree, assenti nella parte bassa. Da - 6,85 a - 9,20 m: da limo sabbioso a sabbia medio-fine limosa, grigi e massivi, con clasti argillosi; limite inferiore erosivo. Da - 9,20 a - 10,45 m: argilla limosa grigio chiara massiva con torba con livelli pedogenizzati alla base. Da - 10,45 a

- 18,00 m: alternanza di sabbia medio-fine e argilla limosa grigia e massiva; livelli pedogenizzati al tetto.

Teatro La Fenice, zona palcoscenico (sondaggio LF). Fino a - 3,20 m sono presenti riporti eterogenei prevalentemente argillosi. Da - 3,20 a - 7,60 m: limo sabbioso grigio scuro massivo con gusci di molluschi lagunari, talora con screziature ocracee; da - 7,40 m il sedimento è costituito da sabbia medio-fine grigia massiva; limite inferiore erosivo. Da - 7,60 a - 10,70 m: sabbia medio-fine e fine limosa massiva, a tratti laminata, con livelli parzialmente cementati tra -8,00 e -10,00 m; limite inferiore erosivo. Da - 11,50 a - 12,40 m: argilla limosa grigia e grigio scura massiva con livelli torbosi, resti vegetali e gusci di molluschi d'acqua dolce; limo sabbioso grigio massivo alla base. Da - 12,40 a - 13,80 m: da sabbia fine limosa a limo sabbioso, grigi massivi, con resti vegetali e rade screziature ocracee.

Corte Vicenza presso via 22 Marzo (sondaggi CV5). Nell'intero intervallo campionato (6 metri) sono presenti clasti di pietra d'Istria e ghiaino. Fino a - 2,50 m: sabbia medio-fine grigia massiva. Da - 2,50 a - 4,00 m: limo argilloso grigio massivo; a - 3,15 e a - 3,80 m sono presenti rami in giacitura orizzontale. Da - 4,00 a - 4,80 m: argilla limosa grigio scura massiva. Da - 4,80 a - 6,00 m: sabbie grigie massive con clasti antropici e torba alla base.

Piazza S. Marco (sondaggi S.M1, S.M2 e S.M3). Fino a - 3,50 m: riporti eterogenei e livelli prevalentemente limosi ricchi di materiale antropico. Da - 3,50 a - 5,30 m: limo argilloso grigio scuro massivo con

gusci di molluschi lagunari; limite inferiore erosivo. Da - 5,30 a - 10,40 m: sabbia media e medio-fine grigia laminata con clasti argillosi; frequenti screziature ocracee nella parte superiore (fino a -8,20 m); livello cementato a - 9,90 m; limite inferiore erosivo. Da - 10,40 a - 18,00 m: alternanza di limo argilloso, limo sabbioso e sabbia fine limosa, grigi massivi, con livelli torbosi e orizzonti pedogenizzati. Da - 18,00 a - 20,90 m: da sabbia fine limosa a sabbia media limosa, grigia, con clasti argillosi; limite inferiore erosivo. Da - 20,90 a - 24,00 m: alternanza di limo argilloso e limo sabbioso, grigi massivi, con resti vegetali; sabbia medio-fine limosa grigia massiva alla base.

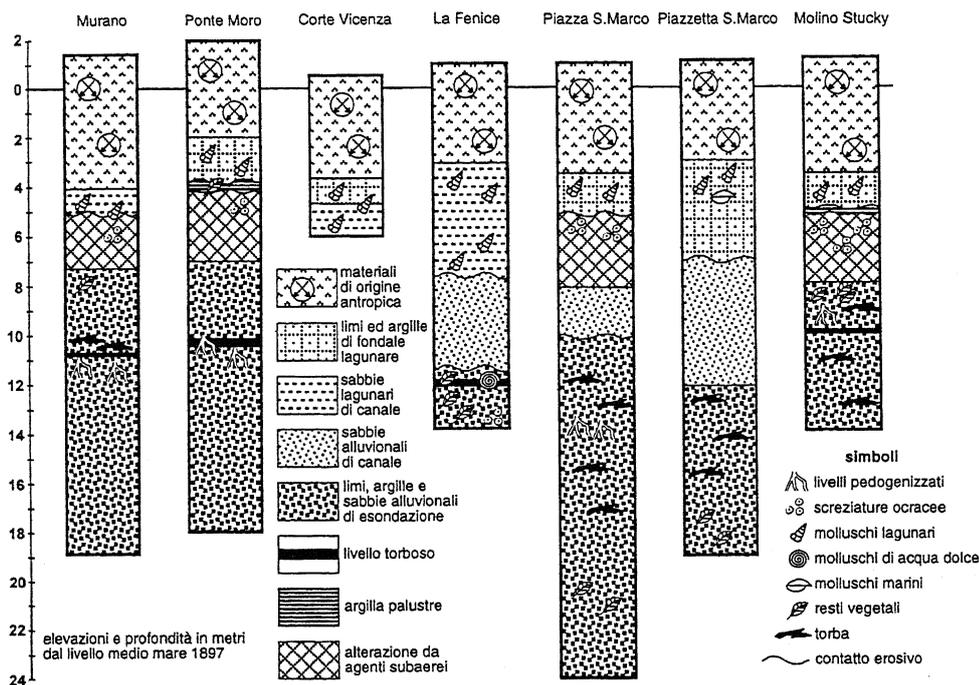


Fig. 2 - Litologia ed ambiente di deposizione dei sedimenti presenti nei diversi siti in esame; le principali caratteristiche di ciascun sito sono riassunte in un'unica colonna stratigrafica.

Lithology and sediment palaeoenvironment of the examined locations; for every location one column synthesizes the main features.

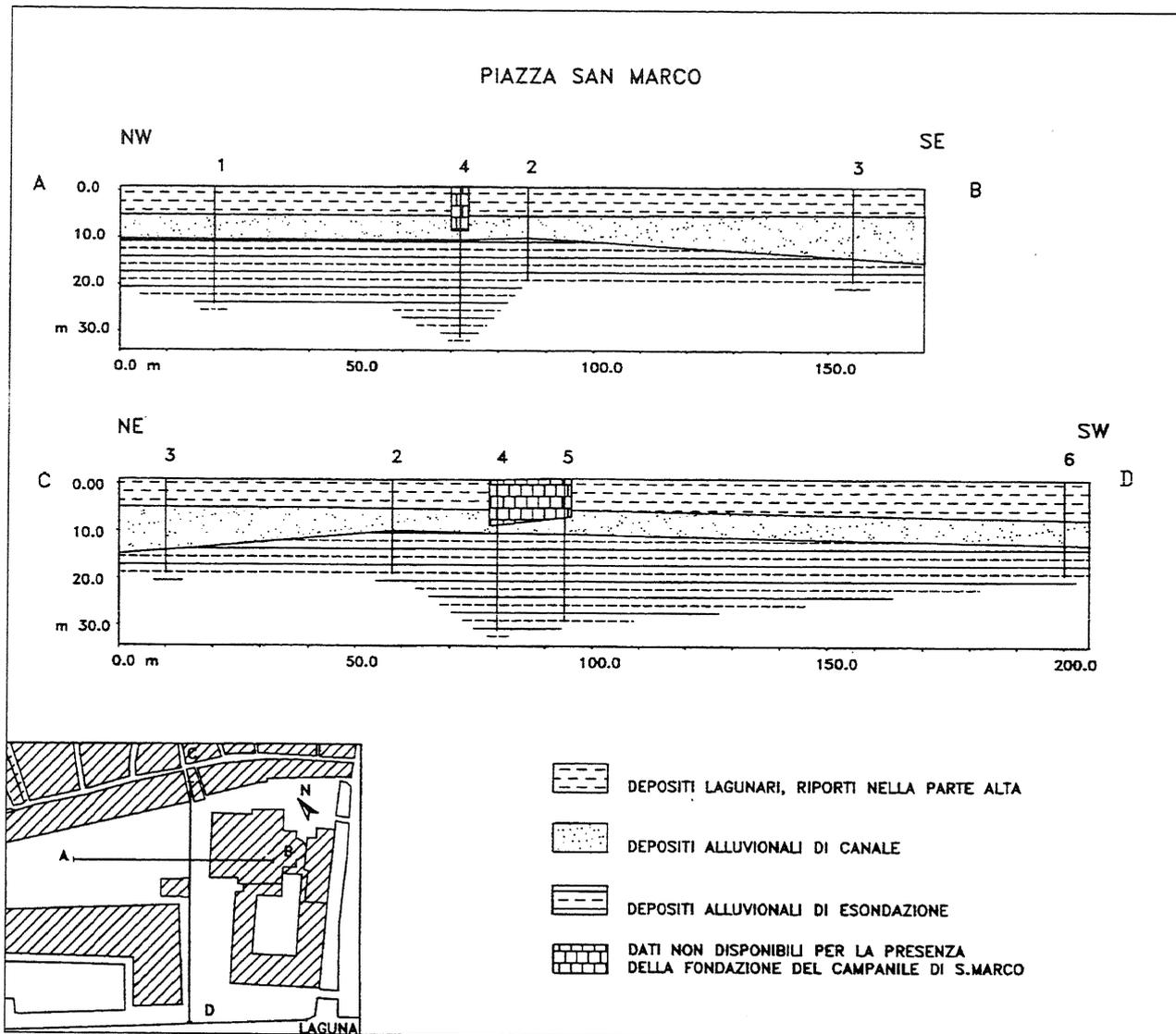


Fig. 3 - Litologia ed ambiente di deposizione dei sedimenti sottostanti Piazza San Marco. I numeri identificano i diversi sondaggi.
Lithology and sediment palaeoenvironment of the soil beneath Piazza San Marco. Numbers refer to boreholes 1 - 6

Piazzetta S. Marco: Molo del Bucintoro (sondaggio S.M6). Fino a - 3,10 m sono presenti riporti eterogenei. Da - 3,10 a - 7,10 m: da limo sabbioso a sabbia fine limosa, grigi massivi, con gusci di molluschi lagunari e marini; limite inferiore erosivo. Da - 7,10 a - 12,30 m: sabbia media e medio-fine grigia, laminata e massiva; limite inferiore erosivo. Da - 12,30 a - 16,00 m: alternanza di limo argilloso e limo sabbioso, grigi e massivi, con inclusi torbosi. Da - 16,00 a - 18,90 m: alternanza di argilla limosa con resti vegetali e sabbia fine limosa con clasti argillosi, grigie massive.

Giudecca: Molino Stucky (sondaggi MS1-5). Fino a - 3,50 m sono presenti riporti eterogenei prevalentemente sabbiosi. Da - 3,60 a - 5,00 m: limi argilloso grigio scuro massivo con gusci di molluschi lagunari; limite inferiore erosivo. Da - 5,00 a - 5,20 m: limo argilloso grigio-azzurro con frustoli carboniosi; limite

inferiore erosivo. Da - 5,20 a - 7,90 m: limo argilloso grigio chiaro laminato, sovraconsolidato, con livelletti argillosi bruno chiari. Frequenti screziature ocracee, rade nella parte bassa e concrezioni calcaree al tetto; livelletti di argilla verde intorno a quota -6,30 m. Da - 7,90 a - 10,20 m: limo argilloso grigio massivo ricco di vegetali, con livelli torbosi ed orizzonti pedogenizzati. Da - 10,20 a - 13,90 m: limo argilloso ed argilla limosa, grigio chiari e massivi, con intercalazioni di sabbia medio-fine limosa grigia; presenti livelli ed inclusi torbosi.

Lo schema stratigrafico riassuntivo dei sondaggi studiati è riportato nelle Figg. 2 e 3.

4.2. Biotopi a foraminiferi

Nei 63 campioni analizzati sono stati complessivamente identificati 31 taxa classificati secondo l'ordine tassonomico di Loeblich and Tappan (1988) e

Foraminiferi bentonici specie	contenuto			presenze
	minimo	medio	massimo	
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)	0.4	1.1	1.8	2
<i>Massilina disciformis</i> (Williamson)	0.2	0.9	1.7	4
<i>Quinqueloculina candeiana</i> d'Orbigny	0.2	0.9	1.3	3
<i>Quinqueloculina cultrata</i> (Brady)	0.3	0.3	0.3	1
<i>Quinqueloculina elegans</i> Williamson	0.2	0.5	1.2	3
<i>Quinqueloculina ferussacii</i> d'Orbigny	0.3	0.3	0.3	1
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linné)	0.2	1.4	3.8	8
<i>Quinqueloculina undulata</i> d'Orbigny	0.2	0.2	0.2	1
<i>Guttulina problema</i> d'Orbigny	0.5	0.5	0.5	1
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	0.2	0.2	0.2	1
<i>Valvulineria pertucida</i> Heron-Allen & Earland	1.4	9.0	17.5	24
<i>Helenina anderseni</i> (Warren)	1.1	1.1	1.1	1
<i>Neoconorbina terquemi</i> (Rzehak)	0.5	0.5	0.5	1
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman)	0.5	0.5	0.5	1
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	2.5	8.8	16.2	24
<i>Haynesina polita</i> (d'Orbigny)	0.2	0.3	0.7	5
<i>Haynesina simplex</i> (Cushman)	0.2	0.5	1.3	8
<i>Nonionella opima</i> Cushman	0.4	0.4	0.4	1
<i>Buccella frigida granulata</i> (di Napoli Alliata)	0.7	2.1	3.0	4
<i>Buccella pustulosa</i> Albani & Serandrei Barbero	0.2	0.2	0.2	2
<i>Trichohyalus lacunae</i> (Silvestri)	0.2	1.6	2.9	2
<i>Ammonia beccarii</i> (Linné)	56.3	74.5	92.4	24
<i>Cribrononion advenum</i> (Cushman)	0.2	0.3	0.3	2
<i>Cribrononion granosum</i> (d'Orbigny)	0.6	3.4	13.6	21
<i>Cribrononion lagunensis</i> Albani & Serandrei Barbero	0.2	0.5	1.1	8
<i>Cribrononion translucens</i> (Natland)	0.2	1.6	4.0	23
<i>Cribrononion venetum</i> Albani, Favero & Serandrei Barbero	0.2	0.9	3.5	9
<i>Elphidium crispum</i> (Linné)	0.5	0.8	1.1	2
<i>Elphidium depressulum</i> Cushman	0.2	0.9	1.8	13
<i>Elphidium discoidale multiloculum</i> (Cushman & Ellisor)	0.4	2.2	5.3	3
<i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moil)	0.5	0.5	0.5	1

Tab. 1 - I foraminiferi bentonici presenti nei sedimenti del sottosuolo veneziano; contenuto percentuale minimo, medio e massimo dei diversi taxa e loro presenza complessiva nei 24 campioni sottoposti ad analisi quantitativa.

Benthonic foraminifera identified in the Venetian underground; minimum, mean and maximum percentage contents of different taxa and their total number in 24 samples studied with quantitative methods.

riportati in Tabella 1 insieme al loro contenuto percentuale minimo, medio e massimo e al numero di campioni in cui ciascun taxon è presente. *Valvulineria pertucida*, *Haynesina paucilocula*, *Ammonia beccarii*, con un contenuto percentuale medio rispettivamente del 9%, 8,8% e 74,5%, sono presenti nel 100% dei campioni non sterili; *Cribrononion translucens* (1,6%) e *C. granosum* (3,4%) in oltre l'85% dei campioni. Queste 5 specie più diffuse rappresentano il 97,3 % dell'intera fauna che, analogamente a quanto osservato nella laguna attuale (Albani e Serandrei Barbero, 1990), risulta altamente specializzata e caratterizzata dal genere *Ammonia* dominante e dai generi *Valvulineria*, *Haynesina* e *Cribrononion* subdominanti.

Accanto a questi taxa tipicamente lagunari, sono presenti in alcuni campioni dei taxa marini: i Miliolidi, rappresentati dai generi *Massilina* e *Quinqueloculina*, e alcune forme neritiche (generi *Guttulina*, *Uvigerina*, *Neoconorbina*, *Rosalina*, *Nonionella*).

Helenina anderseni e *Trochammina inflata*, forme tipiche di apparati intertidali, sono presenti in 2 soli campioni e con percentuali scarsamente significative.

Sui 24 campioni ricchi di foraminiferi è stata effettuata l'analisi multivariata utilizzando i contenuti percentuali dei taxa presenti. L'analisi li raggruppa in base alla loro somiglianza in campioni simili (biotopi), utilizzando il principio che, in ambienti marini o lagunari, aree caratterizzate dagli stessi parametri fisico-chimici presentano associazioni faunistiche simili (Odum, 1971). In laguna i biotopi risultano controllati dalle condizioni del ricambio (Albani et al., 1991; Serandrei Barbero et al., 1989; 1999) e sono in grado di delimitare aree regolate da regimi chimico-fisici diversi per la loro diversa distanza dal mare o per l'e-

sistenza o meno di canali mareali o di apporti dolci.

I risultati dell'analisi sono schematizzati nel dendrogramma riassuntivo di Fig. 4 e mostrano la presenza di 5 gruppi di campioni tra loro simili la cui composizione è riportata in Tabella 2. I biotopi A e B risultano molto simili tra loro; entrambi hanno un contenuto medio di *Ammonia beccarii*, che è il taxon dominante in laguna, superiore al 70 % e un contenuto di *Haynesina paucilocula* attorno al 5 - 10 %, valori tipici delle acque lagunari attuali. Questi due biotopi differiscono tra loro per la diversità specifica, data da 11 specie nel biotopo A e da 18 nel biotopo B, in cui si ha la diffusa presenza di Miliolidi (generi *Massilina* e *Quinqueloculina*), taxa tipici di apporti marini.

All'estremo opposto si raggruppano i biotopi C, D ed E, in cui la dominanza di *A. beccarii* è meno marcata (contenuto medio 66 - 68 %). I biotopi C e D, con sole 11 specie, presentano entrambi una diversità tipicamente lagunare; il biotopo C in particolare ha il più alto contenuto di *H. paucilocula*, che ha il suo habitat ideale nei fondali lagunari a scarso ricambio e poco profondi (Donnici et al. 1997). Nei biotopi D ed E compaiono alcuni indicatori marini, come le specie *Guttulina problema*, *Buccella frigida granulata*, *Neoconorbina terquemi*, tipiche di piattaforma continentale interna e che prediligono (Jorissen 1987) i fondali indicativi di un ambiente con un discreto livello energetico. In particolare il biotopo E, con 19 specie, sembra indicare una laguna aperta o comunque direttamente influenzata da apporti marini o da importanti canali mareali.

Il campione LF-2,50, caratterizzato dalla presenza di 14 specie, mostra una scarsa analogia con tutti gli altri e costituisce, da solo, il biotopo F.

Foraminiferi bentonici Specie	Biotopo A		Biotopo B		Biotopo C		Biotopo D		Biotopo E		Biotopo F
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
<i>Trochammina inflata</i> (Montagu)											1.80
<i>Massilina disciformis</i> (Williamson)			0.88	0.20 - 1.70						0.40	0.40 - 0.40
<i>Quinqueloculina candeiana</i> d'Orbigny			0.70	0.20 - 1.20					1.30	1.30 - 1.30	
<i>Quinqueloculina cultrata</i> (Brady)			0.30	0.30 - 0.30							
<i>Quinqueloculina elegans</i> Williamson			0.53	0.20 - 1.20							
<i>Quinqueloculina ferussacii</i> d'Orbigny			0.30	0.30 - 0.30							
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linné)	2.31	2.31 - 2.31	1.60	0.40 - 3.80			0.50	0.50 - 0.50			0.20
<i>Quinqueloculina undulata</i> d'Orbigny			0.20	0.20 - 0.20							
<i>Guttulina problema</i> d'Orbigny							0.50	0.50 - 0.50			
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman											0.20
<i>Valvulineria pertuuda</i> Heron-Allen & Earland	5.15	1.40 - 9.31	8.25	3.71 - 11.50	6.20	3.60 - 8.80	13.39	13.07 - 14.00	15.63	13.40 - 17.50	5.50
<i>Helenina anderseni</i> (Warren)									1.10	1.10 - 1.10	
<i>Neocoronina terquemii</i> (Rzehak)							0.50	0.50 - 0.50			
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman)											0.50
<i>Haynesina paucilocula</i> (Cushman)	5.13	2.50 - 6.32	10.62	8.90 - 12.10	16.00	15.80 - 16.20	6.20	4.05 - 9.55	9.77	6.70 - 11.70	7.70
<i>Haynesina polita</i> (d'Orbigny)			0.25	0.20 - 0.30	0.30	0.30 - 0.30			0.45	0.20 - 0.70	
<i>Haynesina simplex</i> (Cushman)	0.70	0.70 - 0.70	0.33	0.20 - 0.70	0.30	0.30 - 0.30			1.00	0.70 - 1.30	
<i>Nonionella opima</i> Cushman									0.40	0.40 - 0.40	
<i>Buccella frigida granulata</i> (di Napoli Alliata)							3.00	3.00 - 3.00	1.70	0.70 - 2.70	1.80
<i>Buccella pustulosa</i> Albani & Serandrei-Barbero			0.20	0.20 - 0.20					0.20	0.20 - 0.20	
<i>Tridohyalus lacunae</i> (Silvestri)									1.55	0.20 - 2.90	
<i>Ammonia beccarii</i> (Linné)	85.61	79.14 - 92.40	75.56	70.70 - 83.55	67.70	64.80 - 70.60	67.95	63.72 - 72.64	63.73	56.30 - 68.20	62.30
<i>Cribronionium advenum</i> (Cushman)	0.25	0.20 - 0.30									
<i>Cribronionium granosum</i> (d'Orbigny)	1.90	0.70 - 4.01	1.51	0.60 - 3.20	2.40	2.40 - 2.40	8.97	6.00 - 12.09	2.53	1.30 - 4.70	13.60
<i>Cribronionium lagunensis</i> Albani & Serandrei-Barbero	1.10	1.10 - 1.10	0.33	0.20 - 0.40	0.30	0.30 - 0.30	1.00	1.00 - 1.00	0.30	0.20 - 0.40	
<i>Cribronionium translucens</i> (Natland)	1.23	0.30 - 2.31	0.85	0.20 - 1.90	2.70	1.80 - 3.60	1.48	1.42 - 1.52	2.93	1.80 - 4.00	3.60
<i>Cribronionium venetum</i> Albani, Favero & Serandrei-Barbero	0.80	0.30 - 1.30	0.23	0.20 - 0.30	2.20	0.90 - 3.50	0.50	0.50 - 0.50	1.10	1.10 - 1.10	
<i>Elphidium crispum</i> (Linné)											0.50
<i>Elphidium depressulum</i> Cushman	0.75	0.40 - 1.10	0.96	0.30 - 1.50	3.55	1.80 - 5.30			0.65	0.20 - 1.10	0.90
<i>Elphidium discoidale multiloculum</i> (Cushman & Ellison)									0.40	0.40 - 0.40	0.90
<i>Elphidium macellum</i> (Fichtel & Moll)											0.50
numero di specie presenti in ogni biotopo	11		18		10		11		18		14
a = contenuto medio			b = intervallo di variazione								

Tab. 2 - Numero complessivo di taxa presenti nei diversi biotopi identificati e contenuto percentuale medio di ciascun taxon all'interno dei biotopi.

Total number of taxa identified in different biotopes and mean content percent of every taxon inside different biotopes.

4.3. Paleoambienti.

Sul fondo del Mare Adriatico, al largo della Laguna, il contenuto percentuale di *Ammonia beccarii* nel sedimento è attorno al 45% nelle aree interessate dalle plumes di acque lagunari e scende al 5% a 16 Km dal litorale (Albani et al., 1998). Nei biotopi identificati il contenuto percentuale di *A. beccarii* è sempre superiore al 50% e indica la loro appartenenza all'ecosistema lagunare; appartenenza confermata dai valori della diversità specifica che in laguna varia da 5 specie per campione nelle zone più confinate ad un massimo di 37 presso le bocche portuali, con una media di 11,6 specie per stazione.

I biotopi A, C e D, con una diversità specifica di 11 specie appartengono ad un fondale lagunare caratterizzato da un grado medio di confinamento. In particolare il biotopo C, molto localizzato e caratterizzato da un contenuto percentuale di *H. paucilocula* più alto del valore medio osservato in laguna (Albani e Serandrei Barbero, 1990), viene attribuito ad una velma, dove la profondità dell'acqua è molto scarsa e il sedimento prevalentemente limoso per le condizioni di scarsa energia; mentre il biotopo D, in cui è presente qualche forma neritica, viene qui considerato un termine di passaggio (laguna intermedia) verso acque lagunari con maggior ricambio.

Il biotopo B (particolarmente diffuso nell'area di S. Marco e della Fenice), molto simile al biotopo A, ma ricco di Miliolidi, è attribuibile ad un canale lagunare, con condizioni di maggior turbolenza rispetto a quelle del vicino fondale.

Il biotopo E (presente nell'area di S. Marco e della vicina Corte Vicenza), in cui le forme neritiche raggiungono la massima diffusione, è indicativo di

acque lagunari influenzate da apporti marini costanti (laguna aperta).

Il biotopo F (campione LF-2,50), con un'associazione faunistica di 14 specie, non assomiglia a nessuno dei biotopi identificati e sembra rappresentare, data la scarsa profondità, una mescolanza di sedimenti di fondale lagunare e riporti antropici di diversa provenienza.

I campioni in cui la presenza di foraminiferi è sporadica non possono essere trattati statisticamente, ma si prestano comunque ad alcune considerazioni che riguardano la vicinanza della linea di costa; mentre i campioni privi di foraminiferi indicano la loro appartenenza ad un ambiente di deposizione subaereo, o subacqueo di tipo continentale quando alla loro assenza si sommi la presenza di resti di organismi dulcicoli.

La posizione stratigrafica dei biotopi identificati e della presenza di sporadici foraminiferi è riportata in Fig. 4. Negli intervalli risultati privi di microfauna l'ambiente di deposizione è definito da considerazioni di tipo sedimentologico. Le definizioni utilizzate per *litofacies* e *facies* d'ambiente alluvionale sono quelle proposte da Miall (1996).

Nell'area di S. Marco (Fig. 4), da -24,00 m a quote variabili tra -12,30 e -10,40 m, la facies più rappresentata è di piana d'esondazione (FF), legata a deposizione per decantazione; a tratti si rileva la presenza di sequenze di abbandono di canale, FF(CH). Sono testimoniati anche episodi di rotta, evidenziati da livelli più o meno sabbiosi (con litofacies Sm e Ss), paleosuoli e orizzonti torbosi che talora coincidono con il tetto delle sequenze di abbandono. Torbe e suoli indicano periodi di stasi nella sedimentazione della

piana alluvionale con sviluppo di vegetazione e di bacini a circolazione limitata. I livelli evidenziati testimoniano la posizione decentrata del sito rispetto all'asse di un canale fluviale.

Dal tetto della sequenza sopra descritta fino alla base dei depositi lagunari, tra -7,00 e -5,00 m circa, sono presenti sabbie di canale attivo (CH) con indicatori di correnti trattive (Sh, più rare Sr) o massive (Sm e Ss) con segni di esposizione subaerea nella parte alta. La superficie di letto di questo orizzonte è irregolare e presenta delle zone depresse e la sua origine erosiva ben s'inserisce in un contesto ad alta energia come quello qui descritto. La stessa successione di ambienti è osservabile nei depositi continentali sottostanti il Teatro La Fenice, identificati dalla base, -13,80 m, fino a -7,60 m. Nell'area di San Marco, i depositi lagunari successivi alla trasgressione Versiliana sono per lo più rappresentati da biotopi indicativi di un discreto livello energetico (biotopi B, C, D, E in Fig. 4).

Anche nell'area a Nord di Venezia, nella parte più profonda dei sondaggi Murano e Ponte Moro, a partire da - 18,00 m si sviluppa una successione di facies alluvionale. Più in dettaglio, a Murano, dalla base dei sondaggi, è presente una sequenza di abbandono di canale fluviale attivo, FF(CH), cui seguono depositi di rotta e di argine naturale (CS, CR e LV). Da - 11 m si instaura un ambiente di piana di decantazione (FF).

Al Ponte Moro, da letto si identificano ancora depositi di piana d'esondazione sepolti da depositi di rotta (CS) e di argine naturale (LV), cui segue, intorno a quota -10,00 m, un paleosuolo ricoperto da un orizzonte torboso. La sequenza prosegue con depositi fini di piana alluvionale all'interno dei quali si identificano eventi di rotta (CS e CR). Da - 4.25 m si osserva un orizzonte fine, di colore scuro, di origine palustre continentale già segnalato in laguna (Alberotanza *et al.*, 1977; Favero e Serandrei Barbero, 1980). In entrambe le successioni, il tetto dei depositi continentali presenta spesso indicatori di alterazione da agenti subaerei. I sedimenti lagunari sovrastanti, da quote variabili tra - 5,15 e - 3,90 m, contengono biotopi a foraminiferi (A, B e D) indicativi di condizioni di minor ricambio e di più scarso livello energetico rispetto all'area di S. Marco.

Nell'area del Molino Stucky da - 13,90 a - 7,90 m si sviluppa una successione di facies di piana di esondazione (FF) con più episodi di rotta ad alta energia (CR e CS) che testimoniano la presenza di un vicino canale fluviale, intervallati da depositi torbosi e paleosuoli. A tetto delle facies alluvionali, da - 7,90 m a - 5,00 m circa, si osservano depositi che, alterati da fasi di esposizione subaerea, costituiscono un caratteristico orizzonte localmente denominato "caranto" (Gatto e Previatello, 1974).

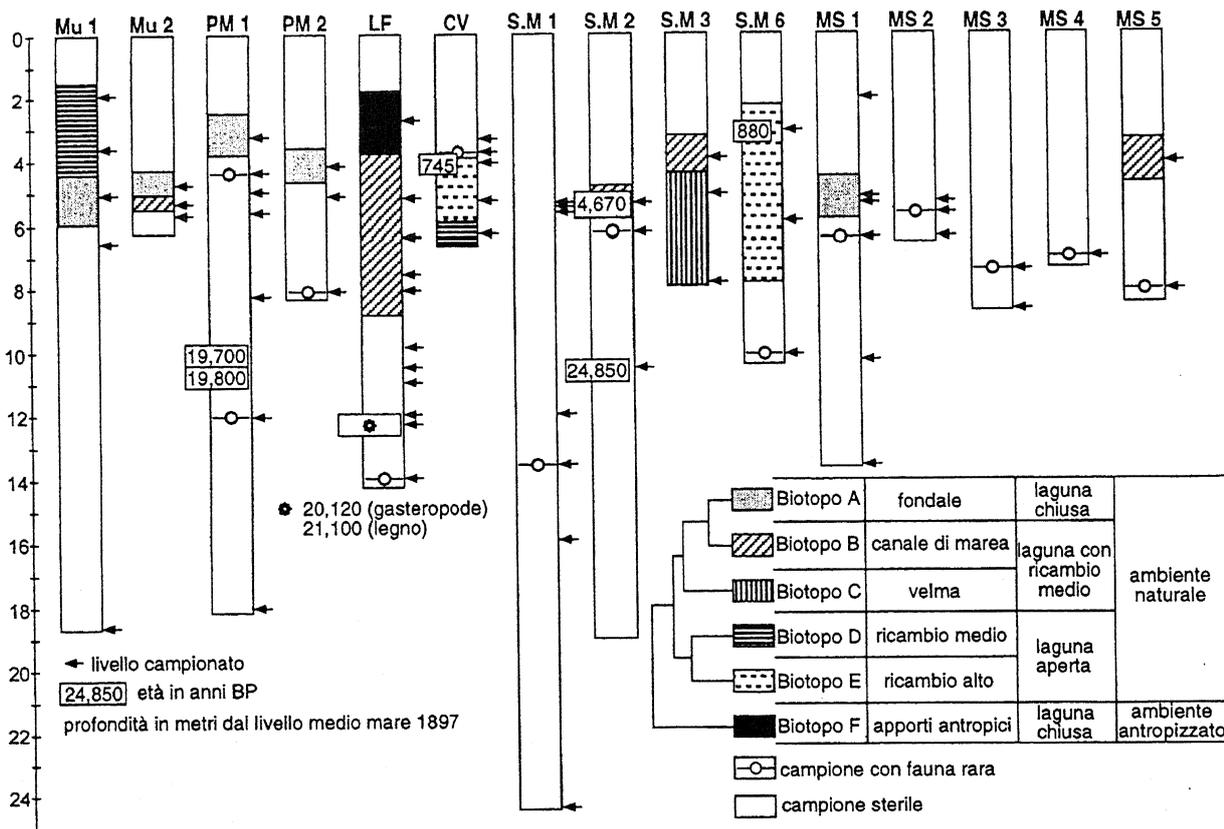


Fig. 4 - Biotopi a foraminiferi identificati nei sedimenti di ambiente lagunare ed età convenzionali BP ottenute nel corso della presente indagine.

Foraminiferal biotopes identified in lagoon sediments and BP conventional radiocarbon datings from the studied boreholes.

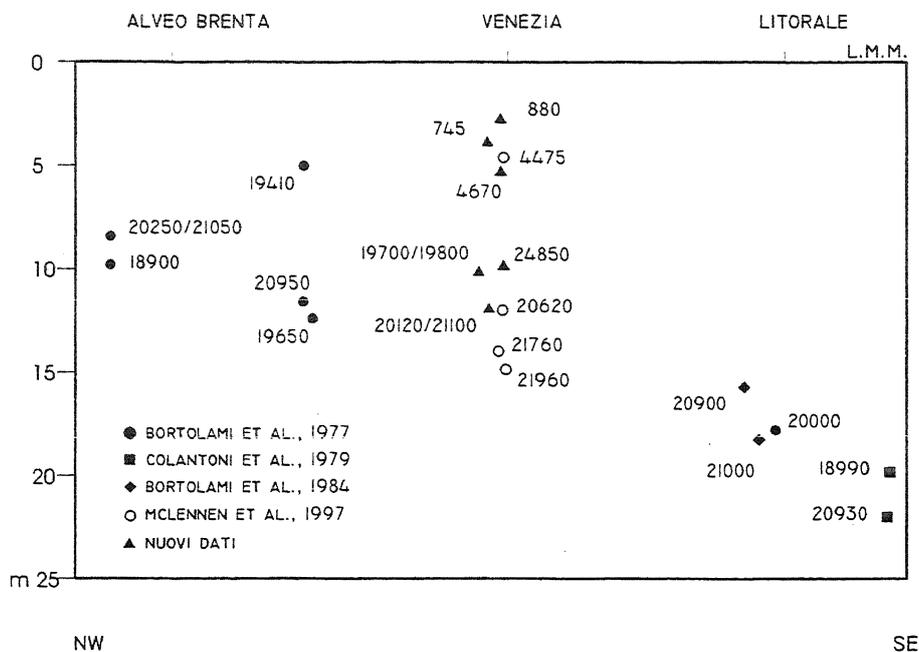


Fig. 5 - Età convenzionali BP ottenute nel corso della presente indagine e da campioni oggetto di precedenti indagini (Bortolami et al., 1984; McClennen et al., 1997; Correggiari et al., 1996; Colantoni P., 1979).

BP conventional radiocarbon datings coming from this work and from samples studied in previous researches.

La saltuaria presenza di foraminiferi bentonici in tutto questo intervallo identifica un ambiente caratterizzato da sporadici apporti lagunari in una fase deposizionale che precede di poco la trasgressione Versi-

liana. Nei sondaggi MS1, MS2 e MS4, a chiusura della sequenza continentale sono presenti le argille palustri già identificate in laguna (Alberotanza et al., 1977; Favero e Serandrei Barbero, 1980). Il tetto di questi depositi è intorno a - 5,00 m; fa eccezione il sondaggio MS 3, in coincidenza del quale il passaggio tra depositi palustri e sedimenti lagunari si trova a - 6,75 m l.m.m. La quota più bassa è probabilmente legata a morfologie preesistenti. I biotipi a foraminiferi presenti nei sedimenti lagunari (biotipi A e B in Fig. 4) indicano condizioni di modesto ricambio analoghe a quelle identificate nelle aree di Murano e Ponte Moro.

Gli 8 valori di età radiometrica convenzionale ottenuti dai materiali organogeni presenti nelle sequenze stratigrafiche studiate e i risultati delle successive calibrazioni (Stuiver et al., 1993) sono

riportati nella Tabella 3 insieme all'indicazione del materiale analizzato. Le età ¹⁴C convenzionali sono state utilizzate (Fig. 5) per il confronto con le età riportate in letteratura, anch'esse non calibrate.

Sondaggio	Quota da l.m.m. 1897 (m)	Materiale analizzato	Sigla campione	Età non calibrate (età BP)	Età calibrate (età cal BP)
SM6	-2.80	Tritume conchigliare	OZD 607	880±40	891 (787, 777, 770) 734
CV5	-3.80	Legno	Rome 1093	745±50	693 (671) 658
SM2	-5.10	Tritume conchigliare	OZD 608	4.670±70	5572 (5448, 5406, 5384, 5326) 5313
SM2	-9.90	Cemento carbonatico	OZD 419	24.850±800	
LF	-12.00	Torba	OZD 473	20120±90	[24216] (23832) 23438
LF	-12.00	Gusci di gasteropodi dulcicoli	OZD 472	21200±90	
PM1	-10.19	Torba	Rome 1116	19700±250	23840 (23349) 22888
PM1	-10.37	Torba	Rome 1117	19800±250	23958 (23464) 23000

Tab. 3 - Età ¹⁴C convenzionali BP ed età calibrate (Stuiver and Reimer, 1993) ottenute da campioni provenienti dai sondaggi studiati.

BP radiocarbon conventional and calibrated ages coming from samples taken in examined cores.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio sedimentologico e micropaleontologico delle sequenze attraversate dai 19 sondaggi esaminati e le analisi del ^{14}C hanno permesso la ricostruzione dei paleoambienti di deposizione e della cronologia dei materiali tardo-pleistocenici ed olocenici, che costituiscono il sottosuolo della città di Venezia, fino ad una profondità di 24 m dal livello medio mare 1897. Essi sono costituiti, dal basso, da sequenze continentali di tipo alluvionale, depositi lagunari e riporti ricchi di materiali antropici.

Nel sottosuolo veneziano è stata accertata una buona correlazione generale tra le oscillazioni climatiche del Pleistocene e il livello del mare, alto nei periodi temperati e basso nei periodi freddi, durante i quali si verifica una sedimentazione di tipo continentale, talora fluvio palustre (Müllenders *et al.* 1996). L'ultima glaciazione nel sottosuolo di Venezia è testimoniata dai sedimenti compresi tra 45,00 e 8,10 m rispetto al l.m.m. all'Arsenale e tra 44,00 m e 9,80 m l.m.m. al Tronchetto e risulta troncata alla base dove sarebbe presente una fase erosiva tra 60 000 e 40 000 anni B.P. (Bortolami *et al.*, 1977). I sedimenti al di sopra di - 24,80 m l.m.m. al Tronchetto e di - 23,20 m l.m.m. all'Arsenale si sono depositi a partire da 23 000 anni B.P. in un ambiente di tipo steppico con clima freddo e secco; e queste profondità sono state raggiunte nel sottosuolo di Piazza S. Marco, mentre a Murano e a Cannaregio ci si è spinti fino a 18 m.

Nell'area in esame i depositi alluvionali di età pleniglaciale sono caratterizzati dalla prevalenza di ambienti di piana d'esondazione. Non sono rare sequenze di abbandono di canale, paleosuoli e livelli di torba che testimoniano stasi, più o meno prolungate, nella crescita della pianura. Si evidenzia, inoltre, la presenza di depositi di rotta ed ambienti di argine naturale. Solo nel sottosuolo nell'area di S. Marco, al di sopra di ambienti simili a quelli appena descritti, cioè a partire da quote variabili da -12.30 a -10.40 m, si osserva un esteso deposito sabbioso (Fig. 3) relativo a più fasi di riempimento di un canale attivo su cui, dopo la trasgressione Versiliana, si imposterà quell'ambiente lagunare che nei sondaggi S.M2 e S.M3 è caratterizzato da depositi di canale lagunare (Fig. 4).

Nella quasi totalità delle sequenze studiate, a quote variabili tra -10.50 e -9.40 m, si osserva un livello torboso sovrapposto ad un orizzonte limoso spesso pochi decimetri il quale, a sua volta, ricopre un sottile paleosuolo. Ciò evidenzia due fasi di temporaneo arresto della sedimentazione nella piana alluvionale separate da un evento esondativo a bassa energia. La torba proveniente dal sondaggio PM1 ha fornito un'età convenzionale di 19.700 ± 250 e 19.800 ± 250 anni BP (le date si riferiscono ad analisi ^{14}C su di un unico orizzonte torboso e, considerando l'incertezza, sono coincidenti). Un livello dello stesso materiale a -12.00 m nel sondaggio LF, quindi poco più basso che negli altri siti studiati, ha età radiometrica

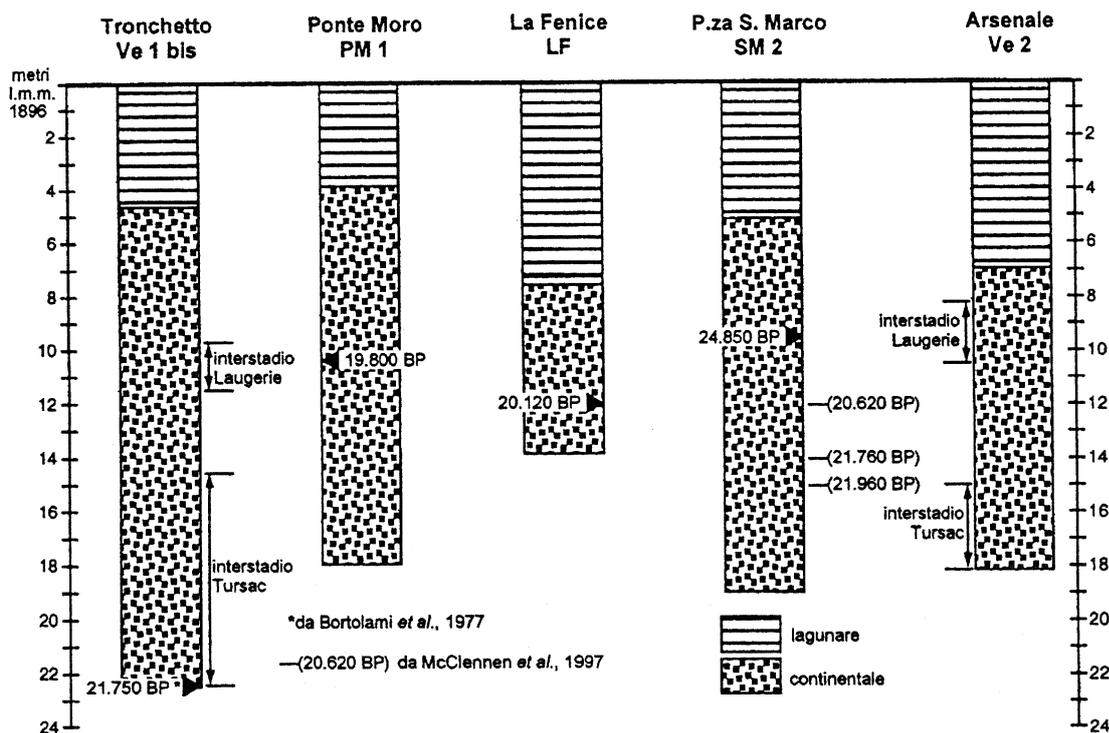


Fig. 6 - Confronto tra le sequenze stratigrafiche identificate nel sottosuolo delle aree studiate e quelle in località Tronchetto e in località Arsenale descritte in precedenti lavori (Favero *et al.*, 1973; Serandrei Barbero, 1975).

Comparison between stratigraphic sequences identified in the examined locations and in the Tronchetto and Arsenale areas. The last two are described in previous researches.

20.120 ± 90 anni BP e gusci di molluschi dulcicoli in esso contenuti sono datati a 21.100 ± 90 anni BP. Considerando le datazioni radiometriche su torba effettuate da Bortolami et al. (1977) nel sottosuolo della città e della pianura costiera veneta, quelle nel sottosuolo di Piazza S. Marco (McClennen et al., 1997) ed altre provenienti da carote marine al largo del litorale veneziano (Colantoni et al., 1979; Correggiari et al., 1995), il livello torboso depositionsi circa tra 19.000 e 21.000 anni BP (Fig.5) appare diffuso in tutta l'area in accordo con Correggiari et al. (1996) ed indica, quindi, una fase sedimentaria diffusa a livello regionale.

Analisi palinologiche effettuate nel sottosuolo della città al Tronchetto ed all'Arsenale (Müllenders et al., 1996), hanno identificato gli interstadi di Tursac e di Laugerie (Leroi-Gourhan, 1967 e 1968), verificatisi circa tra 21.750 e 19.000 anni BP e che si manifestano in quest'area con la diminuzione delle piante erbacee e la comparsa di essenze arboree termofile o mesofile. Al Tronchetto e all'Arsenale queste essenze termofile sono presenti, rispettivamente, tra - 22,30 e - 9,80 m e tra - 18,00 e - 8,10 m (Fig. 6) e le torbe presenti nell'area studiata tra -10,50 e - 9,40 m, di età radiometrica convenzionale tra 19 700 e 21 200 anni BP, ben si accordano con l'aumento del livello di base dei fiumi legato all'addolcimento del clima durante questi interstadi. L'età convenzionale di 24 850 anni BP del cemento calcareo del livello sabbioso sovraconsolidato presente nel sottosuolo di S.Marco a m 9,90, in netto disaccordo con le datazioni effettuate su torbe provenienti da queste profondità sia nel corso di questa indagine, sia in precedenti lavori (Bortolami et al., 1977; McClennen et al., 1997), appare invece sovrastimata per la presenza, nel materiale analizzato, di clasti di carbonati più antichi.

La parte alta della sequenza alluvionale, da oltre - 7,00 a circa - 5,00 m, si presenta alterata. Si osservano, infatti, screziature ocracee diffuse e spesso, soprattutto nella parte superiore, concrezioni calcaree organizzate in livelli o anch'esse diffuse; il sedimento è spesso sovraconsolidato. Si tratta dell'orizzonte ben conosciuto nella Laguna di Venezia e denominato "caranto" (Gatto e Previatello, 1974) che sarebbe legato ad una fase di prolungata esposizione subaerea della piana alluvionale allora esistente cui corrisponde un *gap* sedimentario tra 18.000 e 7.000 anni BP (Bortolami et al., 1977). Si vuole qui evidenziare come tale livello non sia costituito esclusivamente da argille o limi sovraconsolidati, come riportato nei lavori citati, ma anche (in particolare nell'area di Piazza S.Marco) da sabbie normalconsolidate alterate; ciò a riprova del fatto che tale fase di alterazione ha interessato tutti i depositi allora esposti sulla piana d'erosione, dalle facies di piana a quelle di canale.

La sequenza alterata presente nell'area veneziana è correlabile con la base dell'Allomembro di Ravenna che costituisce la porzione più elevata dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore, identificata nel sottosuolo del foglio 223 - Ravenna della Carta Geologica d'Italia 1:50.000, e che mostra la stessa tipologia d'alterazione impostata su depositi di facies di piana alluvionale (Regione Emilia Romagna, 1999). Anche nell'area di Ravenna si riscontra una lacuna sedimentaria che comprende il limite Pleistocene - Olocene, ma l'entità dello *iatos* è maggiore di

quella riscontrabile nel sito studiato. Infatti, in un metro di successione, si passa da 25.000 anni BP ca. ad un'età massima di 8790 ± 90 anni BP alla base dell'Allomembro di Ravenna.

Al di sopra della successione alluvionale, limitatamente alle aree di Ponte Moro e Giudecca - Molino Stucky (rispettivamente ca. -4 m e -5 m) si osserva un orizzonte fine ricco di resti vegetali interpretabile come palustre. Esso è caratterizzato da un contenuto micropaleontologico così scarso da non consentire l'analisi quantitativa del dato faunistico. Il saltuario apporto di foraminiferi bentonici è forse dovuto a trasporto eolico o a sporadici episodi di burrasca, e potrebbe quindi indicare l'avvicinarsi della linea di costa all'area in esame durante l'ultimo evento trasgressivo, dato che il livello sovrastante è costituito dai primi depositi lagunari.

Il livello palustre descritto si appoggia ai depositi alluvionali sottostanti con una superficie di discontinuità e passa ai sedimenti fini soprastanti tramite contatto erosivo, a volte profondamente bioturbato. Quest'ultimo rappresenta la superficie di *ravinement* e indica il passaggio a facies lagunari caratterizzate da un elevato contenuto di foraminiferi.

A Nord Ovest di Venezia l'alto morfologico di Mestre-Campalto è stato attribuito ad un paleoalveo del Fiume Brenta (Favero, 1983). Alluvioni del Brenta sovrainposte a depositi del Piave più antichi di 23 000 anni BP sono state riconosciute nel sottosuolo di Venezia al Tronchetto (Favero and Stefanon, 1980). Nel bacino centrale della laguna di Venezia, le sabbie presenti a - 10 m l.m.m. sono state attribuite al paleo Brenta in base alla loro composizione mineralogica (Bonatti, 1968). La continuità delle sabbie nel sottosuolo di Piazza S. Marco e le strutture di canale attivo identificate, confermano la presenza, nel sottosuolo della città, di un paleoalveo tentativamente attribuibile all'ultimo massimo glaciale. Ma lo spessore dei sedimenti lagunari sovrastanti e l'età più antica ad essi associata indicano una superficie di tetto dei depositi continentali, attorno ai - 5 m, con andamento abbastanza regolare, con l'eccezione delle aree interessate da canali lagunari, che hanno eroso per alcuni metri tali depositi. Dai dati provenienti dal centro storico della città, non risultano quindi variazioni altimetriche importanti legate alla presenza di un alto morfologico sepolto, che pure affiora nella pianura a monte di Venezia (Favero, op. cit.) ed è stato riconosciuto anche a valle nel sottosuolo della bocca di Lido (Tosi, 1994).

Nella laguna settentrionale l'età convenzionale dei primi depositi lagunari successivi alla trasgressione Versiliana è risultata di 5.090 ± 100 anni BP: questa età convenzionale è stata calcolata sui gusci dei foraminiferi bentonici presenti alla base del più antico deposito lagunare, situato a -5.95 m l.m.m. (Serandrei Barbero et al., in corso di stesura). Nel sottosuolo di Piazza S.Marco l'età calcolata utilizzando gusci di foraminiferi e di molluschi provenienti dai depositi lagunari immediatamente successivi alla trasgressione Versiliana, a -5.80 m l.m.m. è risultata di 4.670 ± 70 e corrisponde ad un tasso di sedimentazione media annua di 1,2 mm anno⁻¹. Questo valore è in buon accordo con il tasso medio di sedimentazione olocenica per l'area lagunare, che è attorno ai 1,3 mm anno⁻¹ (Bortolami et al. 1977; Serandrei Barbero et al. 1997).

Le fasi finali dell'ingressione Versiliana vedono le acque marine raggiungere l'odierna area lagunare meridionale (Chioggia e settore Sud del Litorale di Pellestrina) ca. 10.000 anni BP e 7.000 anni BP il litorale di Lido, situato in una zona morfologicamente più elevata (Tosi, 1994). Solo intorno a 5.000 anni BP l'ingressione giunge a Venezia e nell'area lagunare settentrionale.

Tra 4.670 ca. anni BP e l'epoca storica, a S.Marco, alla Fenice, in Corte Vicenza, i biotopi a Foraminiferi danno indicazione di spazi lagunari aperti, di apporti marini, di canali mareali. Mentre a Nord e a Sud della città, nelle aree di Molino Stucky, di Cannaregio e Murano, si afferma un ambiente di laguna chiusa, con scarso ricambio.

Nella parte alta della sequenza lagunare, si ritrovano spesso strutture e reperti legati ad attività antropica. È il caso dei rami di salice rinvenuti a -3.80 m in Corte Vicenza, di età convenzionale 745 ± 50 anni BP, probabilmente parte di un argine infisso in sedimenti più antichi dell'opera stessa, secondo le tecniche di arginatura delle sponde mediante intrecci di vimini in uso fin dal VI secolo e descritte da Cassiodoro (in Mommsen, 1874 segg.).

Nella porzione finale della sequenza sono abitualmente presenti riporti di origine antropica che testimoniano il progressivo innalzamento del piano di calpestio della città, messo in atto fin dalle sue origini per contrastare l'abbassamento relativo del suolo dovuto all'innalzamento eustatico e alla subsidenza.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare: il dott. Luigi Fozzati della Soprintendenza Archeologica per il Veneto, direttore del Nucleo di Archeologia Umida Subacquea Italia Centro Alto Adriatico e responsabile scientifico del Progetto di Archeologia Veneziana delle Acque, che, nell'ambito delle disposizioni di tutela archeologica volte al riconoscimento dei paleoambienti, ha messo a disposizione del CNR i materiali ottenuti dai carotaggi esplorativi; il Consorzio Venezia Nuova, concessionario del Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato alle Acque di Venezia, Insula S.p.A., Impregilo S.p.A. e Molino Stucky S.p.A., imprese committenti dei lavori di esplorazione del sottosuolo cittadino, che hanno permesso l'utilizzo dei dati stratigrafici necessari all'identificazione degli antichi ambienti; il dott. Ugo Serandrei che, destinando all'Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse i materiali provenienti dal sottosuolo della Corte Vicenza, presso La Fenice, ha consentito di verificare la continuità dei paleoambienti identificati; il dott. Daniele Are per le informazioni tecniche relative al sondaggio esplorativo effettuato nell'area del palcoscenico dell'ex Teatro La Fenice; il sig. Ernesto Canal per i preziosi consigli e per il supporto logistico prestato; la dott. Sandra Donnici per le analisi sui campioni dei sondaggi Murano 1 e Murano 2; ed infine il tecnico dell'ANSTO Hua Quam per le procedure di preparazione chimica dei campioni datati.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Albani A.D., Favero V., Serandrei Barbero R., 1991. *The distribution and ecological significance of recent Foraminifera in the lagoon South of Venice (Italy)*. Rev. Esp. Micropaleontologia 23, 29-45.
- Albani A.D., Favero V., Serandrei Barbero R., 1995. *Condizioni paleoambientali nel sottosuolo di Venezia: la chiesa di S. Lorenzo*. Istituto Veneto Scienze, Lettere ed Arti, Rapporti e Studi 12, 155-182.
- Albani A.D., Favero V., Serandrei Barbero R., 1998. *Distribution of Sediment and Benthic Foraminifera in the Gulf of Venice, Italy*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 46, 251-265.
- Albani A.D., Serandrei Barbero R., 1990. *I foraminiferi della Laguna e del Golfo di Venezia*. Università di Padova, Memorie di Scienze Geologiche 42, 271-341.
- Alberotanza L., Serandrei Barbero R., 1976. *Il pozzo Ve 2 CNR: nuove tecniche di carotaggio in terreni incoerenti*. Geologia Tecnica 2, 51-55.
- Alberotanza L., Serandrei Barbero R., Favero V., 1977. *I sedimenti olocenici della Laguna di Venezia (bacino settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It. 96, 243-269.
- Ammerman A.J., McClennen C.E., De Min M., Housley R., 1999. *Sea-level change and the archaeology of early Venice*. Antiquity 73, 303-312.
- Beaulieu de J.L., Richard H., Ruffaldi P., Clerc J., 1994. *History of vegetation, climate and human action in the French Alps and the Jura over the last 15.000 years*. Dissertationes Botanicae, 234, 253-275.
- Bonardi M., Canal E., Cavazzoni S., Serandrei Barbero R., Tosi L., Galgaro A., Giada M., 1997. *Sedimentological, archaeological and historical evidences of palaeoclimatic changes during the Holocene in the Lagoon of Venice (Italy)*. Proceedings of the 8th Global Warming Intern. Conf. and Expo, World Resource Review 9, 435-446.
- Bonatti E., 1968. *Late-Pleistocene and postglacial stratigraphy of a sediment core from the lagoon of Venice (Italy)*. Memorie di Biogeografia adriatica, 7 suppl., 9-26.
- Bortolami G.C., Fontes J.Ch., Markgraf V., Saliege J.F., 1977. *Land, Sea and Climate in the Northern Adriatic Region during Late Pleistocene and Holocene*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 21, 139 - 156.
- Bortolami G.C., Carbognin L., Gatto P., 1984. *The natural subsidence in the Lagoon of Venice*. In: Land Subsidence, IAHS Publ n. 151, 777-785.
- Calderoni G., Petrone V., 1992. *Department of earth sciences at the University of Rom radiocarbon dates I*. Radiocarbon, 34, 105 -113.
- Cavazzoni S., 1977. *Variazioni batimetriche e idrografiche nella Laguna di Venezia intercorse tra il 1933 e il 1971*. Istituto veneto Scienze, Lettere ed Arti, Rapporti e Studi VII, 1-17.
- Colantoni P., Galignani P. & Lenaz R., 1979. *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Continental shelf*. Marine Geology, 33, 41-50.

- Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, 1971. *Relazioni sul pozzo VE1* CNR. Techn. Rep. 1-21.
- Correggiari A., Trincardi F. Field M.E., 1995. *Late-Quaternary transgressive large dunes on the sediment-starved Adriatic shelf*. In: De Batist M., Jacobs J. (eds), *Geology of the siliciclastic shelf seas*, Geol. Soc. Amer. Sp. Publ., 117, 115 - 169.
- Correggiari A., Roveri M., Trincardi F., 1996. *Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea*. Il Quaternario, 9, 697-704.
- De Min M., 1990. *Venezia, Rinvenimenti medioevali nella Chiesa di S. Lorenzo*. *Notizie preliminari*. Venezia Arti, 4, 150-166.
- Donnici S., Serandrei Barbero R., Taroni G., 1997. *Living benthic foraminifera in the Lagoon of Venice (Italy). Populations dynamics and its significance*. Micropaleontology 43, 440 - 454.
- Dorigo W., 1981. *Venezia Origini*. Electa ed., 2 volumi.
- Favero V., 1983. *Evoluzione della Laguna di Venezia ed effetti indotti da interventi antropici sulla rete fluviale circumlagunare*. Atti del Convegno "Laguna, Fiumi, Lidi: cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia", Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato alle Acque, Venezia, 18 pp.
- Favero V., Alberotanza L., Serandrei Barbero R., 1973. *Aspetti paleoecologici, sedimentologici e geochimici dei sedimenti attraversati dal pozzo V 1 bis* CNR. C.N.R. - ISDGM, Techn. Rep. 63, 51 pp.
- Favero V., Heyvaert F., Serandrei Barbero R., 1995. *Motta S. Lorenzo: evoluzione dell'ambiente in un sito archeologico della Laguna di Venezia*. Istituto Veneto Scienze, Lettere ed Arti, Rapporti e Studi 12, 183-218.
- Favero V., Parolini R., Scattolin M., 1988. *Morfologia storica della Laguna di Venezia*. Comune di Venezia, Assessorato all'Ecologia, collana Ambiente, Arsenale ed., 79 pp.
- Favero V., Serandrei Barbero R., 1978. *La sedimentazione olocenica della piana costiera tra Brenta e Adige*. Mem. Soc. Geol. It. 19, 337-343.
- Favero V., Serandrei Barbero R., 1980. *Origine ed evoluzione della Laguna di Venezia - bacino meridionale*. Lavori Soc. Ven. Scienze Naturali 5, 49-71.
- Favero V., Serandrei Barbero R., 1981. *Evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area archeologica tra Burano e il Canale S. Felice*. Lavori Soc. Ven. Scienze Naturali 6, 119-134.
- Favero V., Serandrei Barbero R., 1983. *Oscillazioni del livello del mare ed evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area compresa tra Torcello e il margine lagunare*. Lavori Soc. Ven. Scienze Naturali 8, 83-102.
- Favero V., Stefanon A., 1980. *Würmian to present sedimentary sequence in the Lagoon of Venice from Uniboom records and boreholes*. XXVII Congrès Assemblée plénière CIESM, Cagliari.
- Gagnon A.R., Jones G.A., 1993. *AMS-Graphite target production methods at the Woods Hole Oceanographic Institution during 1986-1991*. Radiocarbon 35, 301-310.
- Gatto P., Previatello P., 1974. *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella Laguna di Venezia di una argilla sovraconsolidata nota come "caranto"*. CNR - ISDGM Techn. Rep. 70, 45 pp.
- Jacobsen G.E., Hua Q., Tarshishi J., Fink D., Hotchkis M.A.C., Lawson E.M., Smith A.M., Tuniz C., 1997. *AMS radiocarbon analysis of microsamples*. In: Handbook of The Sixth Australian Archaeometry Conference, 10-13 February 1997, Australian Institute of Nuclear Science and Engineering, Sydney, Australia, 36-37.
- Jorissen F.J., 1987. *The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea*. Marine Micropaleontology, 12, 21-48.
- Jull A.J.T., Donahue D.J., Hatheway A.L., Linick T.W., Toolin L.J., 1986. *Production of graphyte targets by deposition from CO/H₂ for precision accelerator 14C measurements*. Radiocarbon 28, 191-197.
- Leciejewicz L., Tabaczynska E., Tabaczynsky S., 1970. *Commento archeologico ai reperti naturali, antichi e medioevali, scoperti a Torcello (1961-1962)*. Mem. Biogeogr. Adriat. 8, 89 - 106.
- Leroi - Gourhan A., 1967. *Analyse pollinique des niveaux paléolithiques de l'Abri Fritsch*. Rev. Paleobot. & Palyn. 4, 81-86.
- Leroi - Gourhan A., 1968. *L'abri facteur à Tursac (Dordogne)*. Gallia & Préhistoire 11, 123-132.
- Loeblich A.R., Tappan H., 1988. *Foraminiferal Genera and Their Classification*. I and II, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Lezziero A., *Il sottosuolo di Venezia: sedimentologia e paleoambienti*. Atti del Convegno "Le Pianure. Conoscenza e Salvaguardia", Regione Emilia-Romagna, Ferrara 8-11/11/1999 (in stampa).
- McClennen C.E., Ammerman A.J., Schock S.G., 1997. *Framework Stratigraphy for the Lagoon of Venice, Italy: Revealed in New Seismic-Reflection Profiles and Cores*. Journal of Coastal Research 13, 745-759.
- Miall A.D., 1996. *The geology of Fluvial Deposits*. Springer-Verlag, Berlin, 586 pp.
- Mommsen T., 1874 segg. *Auctores Antiquissimi dei Monumenta Germaniae Historica*, Berlin.
- Mook W.G., Streurman H.J., 1983. *Physical and chemical aspects of radiocarbon dating*. In: W.G. Mook and H.T. Waterbolk (eds.), The Proceedings of the First International Symposium on ¹⁴C and Archaeology, PACT (Revue du groupe européen d'études pour les techniques physiques, chimiques et mathématiques appliquées à l'archéologie) 8, 31-55, Strasbourg, France.
- Morandini G., 1960. *Elementi geografici ed aspetti morfologici della laguna*. Istituto Veneto Scienze, Lettere ed Arti, Atti del Convegno per la Conservazione e Difesa della Laguna e della Città di Venezia, 1-18.
- Müllenders W., Favero V., Coremans M., Dirickx M., 1996. *Analyses polliniques des sondages à Venise (VE 1, VE 1bis, VE 2)*. Aardkundige Mededelingen 7, 87-16.
- Odum E.P., 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Company, London, 584pp.
- Regione Emilia Romagna, 1999. *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1: 50 000. Foglio 223 - Ravenna*.
- Serandrei Barbero R., 1972. *Indagine sullo sfruttamento artesiano nel Comune di Venezia, 1846-1970*. CNR-ISDGM Techn. Rep. 31, 97 pp.

- Serandrei Barbero R., 1975. *Il sondaggio Ve 2: stratigrafia e paleoecologia*. *Giornale di Geologia* 40, 168-180.
- Serandrei Barbero R., Albani A.D., Bonardi M. *Età ed evoluzione di alcune barene nella Laguna di Venezia*. Nota in corso di stesura.
- Serandrei Barbero R., Albani A.D., Favero V., 1989. *Distribuzione dei foraminiferi recenti nella laguna a Nord di Venezia*. *Boll. Soc. Geol. It.* 108, 279-288.
- Serandrei Barbero R., Albani A.D., Zecchetto S., 1997. *Palaeoenvironmental significance of a benthic foraminifera from an archaeological excavation in the Lagoon of Venice, Italy*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136, 41-52.
- Serandrei Barbero R., Carbognin L., Taroni G., Cova E., 1999. *Distribution of Recent Benthic Foraminifera in the Southern Basin of the Venice Lagoon (Italy): Statistical Evaluation of Taxa Significance*. *Micropaleontology* 45, 1-13.
- Stuiver M., 1983. *International agreements and the use of the new oxalic acid standard*. *Radiocarbon* 25, 793-795.
- Stuiver M., Reimer P.J., 1993. *Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program*. *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- Tosi L., 1994. *L'evoluzione paleoambientale tardo-quadernaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. *Il Quaternario*, 7, 589-596.
- Tuniz C., Bird J.R., Fink D., Herzog G.F., 1998. *Accelerator mass spectrometry: ultrasensitive analysis for global science*. CRC Press, Boca Raton, FL(USA), 371 pp.

Ms. ricevuto il 18 luglio 2000

Testo definitivo ricevuto il 31 ottobre 2000

Ms. received: July 18, 2000

Final text received: October 31, 2000