

STUDIO DEI SEDIMENTI TARDO-QUATERNARI  
DEL LITORALE VENEZIANO:  
CONTRIBUTO ALLE INDAGINI  
PALEOCLIMATICHE ED AMBIENTALI

M. BONARDI - L. TOSI

*Estratto da:*

LA RICERCA SCIENTIFICA PER VENEZIA

Il Progetto Sistema Lagunare Veneziano

Vol. II, Tomo II

Modellistica del Sistema Lagunare

Studio di Impatto Ambientale

30124 VENEZIA

ISTITUTO VENETO DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI

CAMPO S. STEFANO, 2945 (PALAZZO LOREDAN)

TELEFONO 041.2407711 - TELEFAX 041.5210598

e-mail: [ivsla@unive.it](mailto:ivsla@unive.it)

<http://www.ivsla.unive.it>

# STUDIO DEI SEDIMENTI TARDO-QUATERNARI DEL LITORALE VENEZIANO: CONTRIBUTO ALLE INDAGINI PALEOCLIMATICHE ED AMBIENTALI

Maurizio Bonardi, Luigi Tosi  
Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse C.N.R.  
San Polo 1364, 30125 Venezia, Italy.

## ABSTRACT

*The imprints of paleoevolutionary processes that affected the Venice lagoon and its littoral during the Late-Quaternary, can be found in the sand and clay layers underlying the Venetian basin. Sedimentological characteristics of the Late-Pleistocene and Holocene sand and clay sedimentation during the past 25-30.000 years, before the human impact, in the lagoon of Venice, are reported. The multidisciplinary investigation of clay and sand sediments and the development and application of new analytical techniques and methodologies, allowed the detailed mineralogical, geochemical and textural characterisation of the recent sediments.*

*The new data obtained not only may contribute to better understand the paleoevolutionary events that took place in the Venetian basin and the impact of the paleoclimatic variations on the depositional environments, but also they may be used as a sediment natural reference base for a more accurate quantification of the pollution level in the bottom sediments of the lagoon of Venice.*

## RIASSUNTO

Gli strati di sabbia e di argilla sottostanti il bacino veneziano conservano le tracce dei processi paleoevolutivi che hanno influenzato la laguna di Venezia ed il suo litorale. Lo studio multidisciplinare dei sedimenti sabbiosi ed argillosi depositatisi durante gli ultimi 25-30.000 anni, prima dell'impatto antropico, e lo sviluppo ed utilizzo di nuove metodologie analitiche, hanno permesso una caratterizzazione mineralogica, geochimica e tessiturale dettagliata dei sedimenti recenti.

I nuovi dati ottenuti possono non solo contribuire a meglio comprendere gli eventi paleoevolutivi succedutisi nel bacino veneziano e l'impatto delle variazioni paleoclimatiche sugli ambienti deposizionali, ma possono anche servire come base naturale di riferimento per una più accurata quantificazione dei livelli di inquinamento dei sedimenti di fondo soggetti ad antropizzazione della laguna di Venezia.

## 1. INTRODUZIONE

Un ruolo di particolare importanza per la progettazione di interventi a salvaguardia della città storica e delle altre isole lagunari, notoriamente soggette ad allagamenti a seguito di maree eccezionali, è lo sviluppo di un modello di previsione evolutiva dell'assetto morfologico del bacino lagunare che non può prescindere dalla conoscenza dei processi paleoevolutivi della laguna di Venezia e del suo litorale.

I sedimenti sottostanti il cordone litoraneo veneziano conservano impressi nelle caratteristiche degli ambienti di deposizione gli effetti delle diverse condizioni climatiche tardo-quadernarie. In particolare negli ultimi trenta metri di sedimentazione la deposizione continentale e la successiva marino-lagunare ben documentano le condizioni climatiche glaciali del tardo-pleistocene ed il riscaldamento globale olocenico.

## 2. MATERIALI E METODI

Per lo studio mineralogico dei livelli sabbiosi sono stati analizzati circa 170 campioni provenienti da 18 sondaggi (Fig. 1), eseguiti a carotaggio continuo, profondi 25-30 metri dal piano campagna ed ubicati lungo il litorale veneziano compreso tra la foce del Fiume Brenta a Sud e del Fiume Sile a Nord.

I campioni sono stati preventivamente lavati con acqua distillata, filtrati, asciugati, privati della parte organica e montati su sezioni lucide.

Le analisi mineralogiche sono state eseguite utilizzando una microsonda elettronica (EPMA) CAMECA/CAMEBAX equipaggiata con EDS (*Energy Dispersion Spectrometer*), WDS (*Wavelength Dispersion Spectrometer*) e con BSD (*Backscattered Detector*) in grado di produrre analisi non distruttive con un alto livello di automatismo.

Preliminari all'analisi mineralogica sono stati eseguiti dei test di taratura per determinare il numero ottimale di grani rappresentativi della

granulometria media e della composizione mineralogica del campione prelevato. I test hanno indicato che 200 grani soddisfano questo requisito. Infatti la distribuzione granulometrica e' ben rappresentata da circa 140-160 grani<sup>1,2</sup> mentre la composizione mineralogica da 200 grani<sup>3,4</sup>.

Questa strumentazione permette la corretta identificazione di tutti i minerali presenti. Tuttavia, la metodologia analitica utilizzata, identificando un minimo di 200 grani per campione, ha consentito una rapida analisi modale dei minerali più frequenti presenti quali: Quarzo, feldspati, Calcite, Dolomite, Muscovite, Biotite, Clorite.

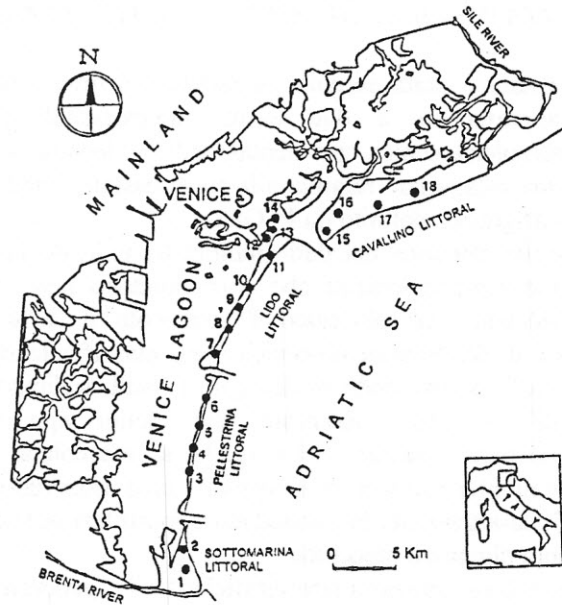


Fig. 1

In totale sono stati analizzati circa 36.000 grani di sabbia di campioni opportunamente scelti e rappresentativi della sedimentazione tardo-pleistocenica ed olocenica.

Per lo studio mineralogico e geochimico dei livelli argillosi sono stati analizzati 60 campioni rappresentativi della sedimentazione del limite Pleistocene-Olocene provenienti da 13 sondaggi (lito 1-13) (v. Fig 1)

utilizzando le seguenti strumentazioni: Scanning Electron Microscope (SEM), Electron Microprobe (EPMA), Backscattered Detector (BSD), Energy Dispersion Spectrometer (EDS), X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), Induced Coupled Plasma (ICP-ES), Atomic Absorption (AA).

Lo studio tessiturale dei livelli di argilla e' stato eseguito analizzando i campioni di argilla sovraconsolidata montati su sezioni sottili lucide mediante SEM equipaggiato di EDS e di BSD.

Le informazioni paleoclimatiche e le radiodatazioni utilizzate provengono da studi di vari Autori noti in letteratura<sup>5,6,7,8,9,10,11</sup>.

### 3. CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA DEI LIVELLI SABBIOSI

In questo studio e' stata eseguita la caratterizzazione mineralogica dei livelli sabbiosi appartenenti a due eventi deposizionali principali: la sedimentazione tardo-pleistocenica continentale sulla paleopianura würmiana e quella olocenica marino-lagunare relativa alla trasgressione flandriana, distinte secondo il limite stratigrafico definito da P. Gatto<sup>12</sup>.

L'elaborazione statistica dei dati analitici ha indicato la distribuzione dei campioni in due raggruppamenti che corrispondono bene ai due eventi deposizionali pleistocenico ed olocenico e solamente il 20% di campioni appartenenti a livelli di deposizione olocenica viene classificato statisticamente di "tipo pleistocenico". Analizzando in dettaglio i livelli sedimentari di questi campioni "anomali" e' stato osservato che alcuni appartengono alla sedimentazione olocenica basale, nella quale si mescolano i sottostanti sedimenti continentali pleistocenici rimaneggiati dalla trasgressione, altri ad eventi deposizionali caratterizzati da abbondanti apporti terrigeni dovuti a brevi fasi di deterioramento climatico olocenico.

Sulla base di considerazioni stratigrafiche<sup>12,13,14</sup>, geocronologiche<sup>15,16</sup> e su altre di carattere micropaleontologico<sup>17,18</sup> i campioni di deposizione pleistocenica ed olocenica sono stati suddivisi come segue:

- *tipo a*), sabbie di deposizione olocenica in ambiente marino-lagunare;
- *tipo b*), sabbie di deposizione pleistocenica in ambiente continentale;
- *tipo c*), sabbie di deposizione olocenica in ambiente fluvio-deltizio;
- *tipo d*), sabbie di deposizione olocenica precedente la trasgressione marina.

La composizione mineralogica media di tutti i campioni suddivisi sulla base dei quattro tipi di deposizione descritti e' riportata in Figura 2.

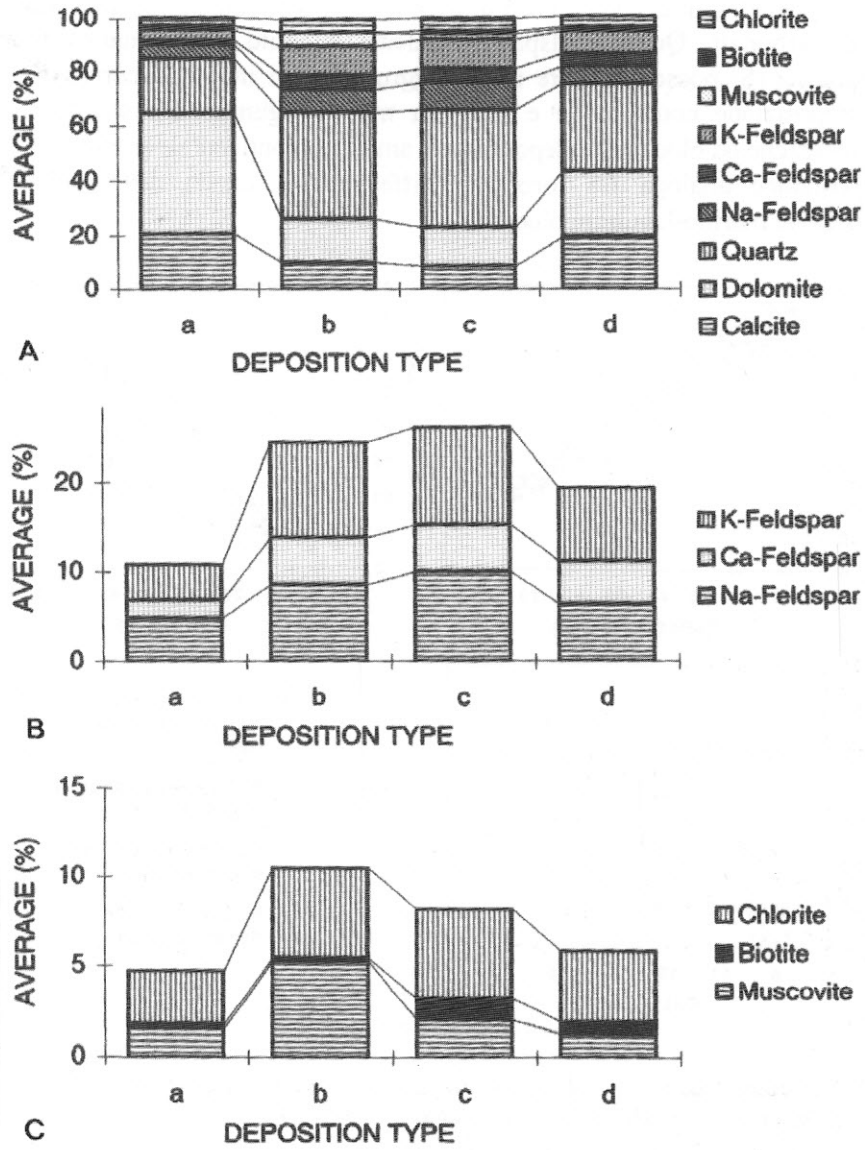


Fig. 2. Composizione mineralogica media secondo il tipo di deposizione dei sedimenti sabbiosi: a) di tutti i minerali presenti; b) dei feldspati totali; c) della Muscovite, Biotite e Clorite.

Nella Figura 3 vengono rappresentate rispettivamente le relazioni tra silicati-carbonati, Quarzo-Feldspati e Calcite-Dolomite per i quattro tipi di deposizione. Si possono notare i due raggruppamenti maggiori corrispondenti alla deposizione continentale e a quella marino-lagunare. Le sabbie tardo-pleistoceniche ed oloceniche depositate in ambiente continentale presentano una composizione analoga tra loro, ma differente da quella delle sabbie di deposizione marino-lagunare olocenica.

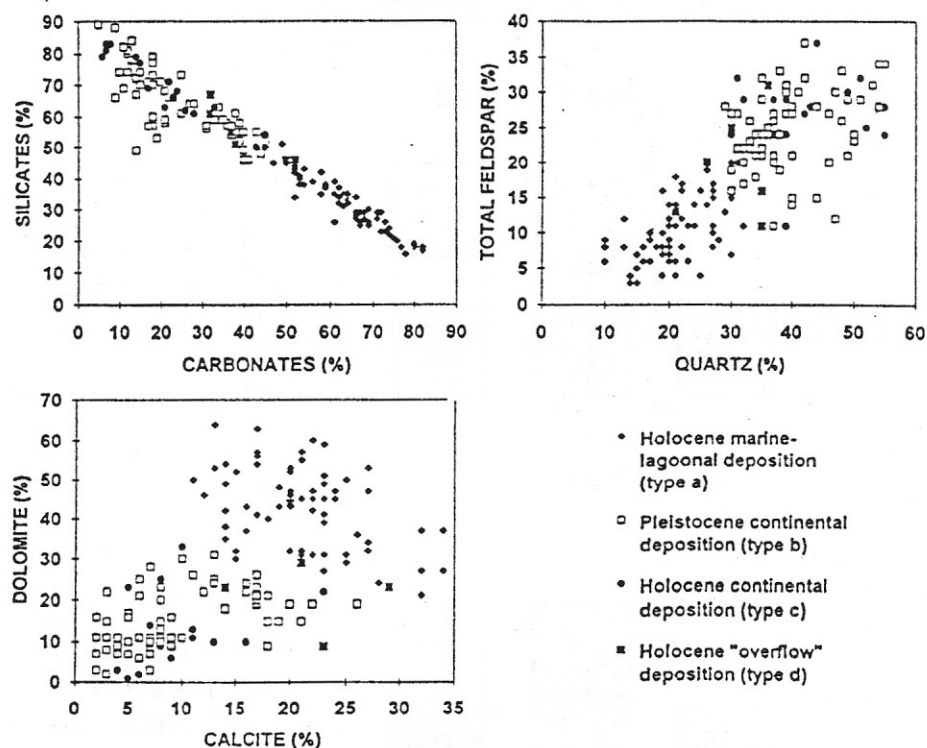


Fig. 3. Variazioni delle percentuali dei silicati (Quarzo, feldspati, plagioclasti) e dei carbonati (Calcite, Dolomite) delle sabbie a seconda del tipo di deposizione.

Sono emerse anche due variazioni molto significative: una verticale in relazione alla profondità ed una areale tra il settore litoraneo meridionale e quello settentrionale.

Le differenze mineralogiche verticali sono molto marcate e consentono una buona discriminazione tra le sabbie pleistoceniche fluvio-lacustri e quelle

oloceniche marino-lagunari. Per le prime infatti, le percentuali dei silicati sono sempre prevalenti su quelle dei carbonati, viceversa, per le seconde, prevalgono i carbonati sui silicati.

In particolare questa netta differenza e' stata sempre riscontrata per il Quarzo, il Feldspato potassico e la Dolomite ma non per il Plagioclasio sodico, il Plagioclasio calcico, la Calcite e le miche.

Per quanto riguarda le variazioni composizionali areali lungo il litorale uno studio preliminare<sup>3</sup> basato sulle percentuali medie dei carbonati e dei silicati di ogni sondaggio ha indicato la differenziazione in tre zone: una meridionale più ricca in silicati, una settentrionale prevalentemente carbonatica ed una centrale di composizione intermedia. Tale differenziazione corrisponde anche all'interpretazione di altri Autori<sup>15,12,14</sup> che suggeriscono un contributo di sedimenti più ricchi in silicati da parte dei fiumi Po ed Adige nell'area più meridionale ed uno più ricco in carbonati da parte dei fiumi Sile, Tagliamento e Piave in quella settentrionale.

Per migliorare l'interpretazione dei risultati, si e' ritenuto opportuno differenziare informalmente la sedimentazione olocenica, in "inferiore" e "superiore" in quanto avvenuta, come evidenziato da Fairbridge<sup>5</sup>, con un innalzamento eustatico inizialmente molto rapido e successivamente, a partire da 5.000-6.000 b.p. più lento. Sulla base di numerose radiodazioni eseguite sui campioni provenienti dai sondaggi in esame<sup>16</sup> si ritiene che la sedimentazione "superiore" mediamente corrisponda agli ultimi 6-8 metri.

In Figura 4 sono state rappresentate le percentuali medie dei silicati, dei carbonati e delle miche dei depositi sabbiosi pleistocenici ed olocenici per i settori meridionale e settentrionale.

Come si può osservare, la composizione mineralogica media dei sedimenti tardo-pleistocenici non presenta differenze tra il settore Sud (sondaggi 1-10) e quello Nord (sondaggi 11-18) ed indica per entrambi la prevalenza dei silicati sui carbonati.

Viceversa, nella deposizione olocenica "inferiore" e' stata riscontrata una discreta differenza tra i due settori litoranei con la prevalenza dei carbonati sui silicati più marcata nella zona meridionale rispetto alla zona settentrionale.

Infine, la deposizione olocenica "superiore" presenta le differenze areali di composizione mineralogica media più evidenti con prevalenza dei carbonati nel settore settentrionale, e dei silicati in quello meridionale.

Le percentuali medie di ogni sondaggio dei minerali principali e loro variazioni lungo l'intero cordone litorale vengono rappresentate in Figura 5.



E' evidente la diminuzione dei silicati ed il contemporaneo aumento dei carbonati, da Sud verso Nord, nella deposizione olocenica e l'andamento pressoché costante in quella pleistocenica. A differenza di Quarzo, Ca-feldspati e K-feldspati il *trend* dei plagioclasti sodici si discosta dal quello dei silicati totali.

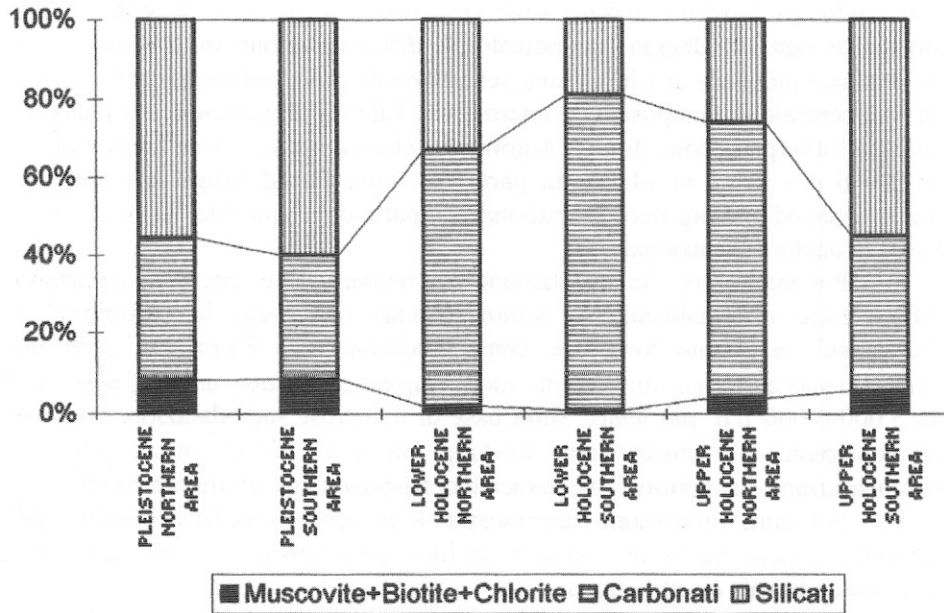


Fig. 4. Composizione mineralogica media dei sedimenti sabbiosi tarso-pleistocenici ed olocenici per il settore settentrionale e meridionale del litorale veneziano.

Le percentuali della Calcite e della Dolomite nei depositi marini olocenici (*tipo a*), indicano andamenti opposti, crescente da Sud verso Nord la Dolomite e decrescente la Calcite; in quelli continentali pleistocenici (*tipo b*) entrambi i minerali assumono invece valori medi abbastanza costanti per i settori meridionale e settentrionale.

Come si e' potuto osservare, le maggiori differenze areali delle percentuali di Quarzo, feldspati, Calcite e Dolomite sono riscontrabili nella sedimentazione marino-lagunare olocenica; al contrario, per le miche e la Clorite, queste differenze sono più marcate nella sedimentazione pleistocenica (*tipo b*).

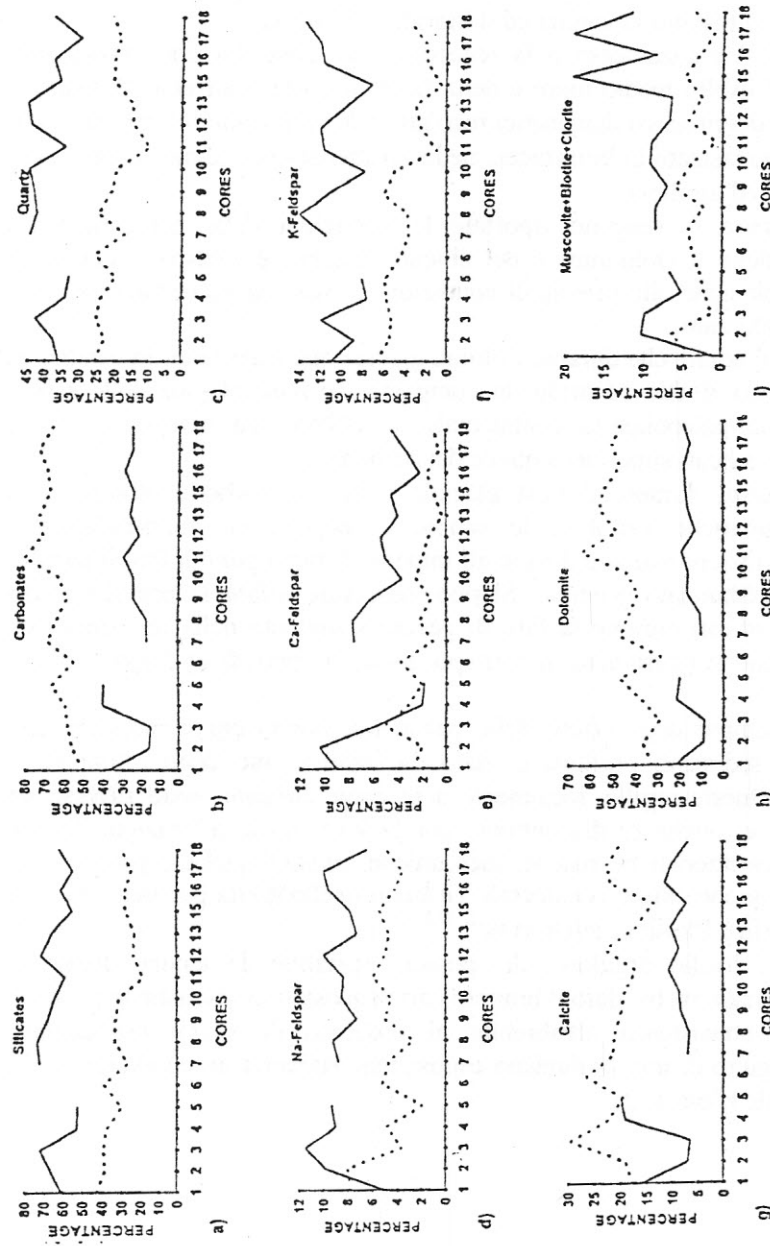


Fig. 5. Variazioni delle percentuali medie dei principali minerali delle sabbie di deposizione marino-lagunare olocenica, tipo a, (linea tratteggiata) e continentale tardo pleistocenica, tipo b, (linea continua), ubicazione dei sondaggi in Fig. 1.

#### 4. CONTRIBUTO ALLO STUDIO PALEOCLIMATICO

Gli effetti dei maggiori cambiamenti climatici durante il Pleistocene Superiore e l'Olocene sono ben riconoscibili nelle sequenze sedimentarie stratigrafiche sottostanti la laguna ed il litorale di Venezia<sup>19</sup>.

Infatti, l'avanzamento o la recessione dei ghiacciai con conseguente variazione del livello medio mare e della linea di costa, l'attività fluviale, di dilavamento e dei processi diagenetici regolati dalle variazioni di temperatura ed umidità, hanno lasciato la loro traccia nelle caratteristiche sedimentologiche dei livelli sabbiosi ed argillosi

In Figura 6 vengono riportate le variazioni delle percentuali dei carbonati (Calcite e Dolomite) e dei silicati (Quarzo e feldspati) nei livelli sabbiosi, in relazione alle principali condizioni climatiche succedutesi durante gli ultimi 25.000 anni.

Si può notare che durante l'ultima glaciazione würmiana, in condizioni costanti di clima freddo ed arido, la composizione mineralogica delle sabbie depositate sulla paleopianura continentale, è abbastanza omogenea con le percentuali dei silicati superiori a quelle dei carbonati.

Viceversa, durante il post glaciale e la trasgressione olocenica, in condizioni climatiche variabili, le sabbie di deposizione marino-lagunare presentano variazioni marcate dovute all'impatto di brevi periodi freddi durante la fase di riscaldamento generale. Si può osservare infatti la prevalenza dei carbonati sui silicati durante la fase di generale aumento della temperatura e quella dei silicati sui carbonati in corrispondenza dei periodi di deterioramento climatico.

Un esempio degli effetti delle particolari condizioni climatiche sulla diagenesi dei sedimenti argillosi è dato dall'indurimento degli ultimi strati pleistocenici. Queste argille, localmente note come *caranto*, sono ritenute un paleosuolo<sup>13,12</sup> e, anche se discontinue, per la loro tipica colorazione bruno-giallastra, le caratteristiche fisiche, meccaniche, mineralogiche e geochimiche (Figg. 7, 8) possono essere considerate un buon livello guida per individuare il limite stratigrafico Pleistocene/Olocene<sup>22,20,21,12,13</sup>.

Questo livello argilloso, di spessore variabile da alcune decine di centimetri ad alcuni metri, dato il limitato carico geostatico sovrastante presenta una anomala consistenza attribuibile al processo di sovraconsolidazione avvenuto a seguito di una prolungata esposizione subaerea in condizioni aride di clima glaciale (Foto 1, 2).

Queste condizioni climatiche e le peculiari caratteristiche di plasticità e di granulometria di quest'argilla hanno consentito il drenaggio ed il disseccamento.

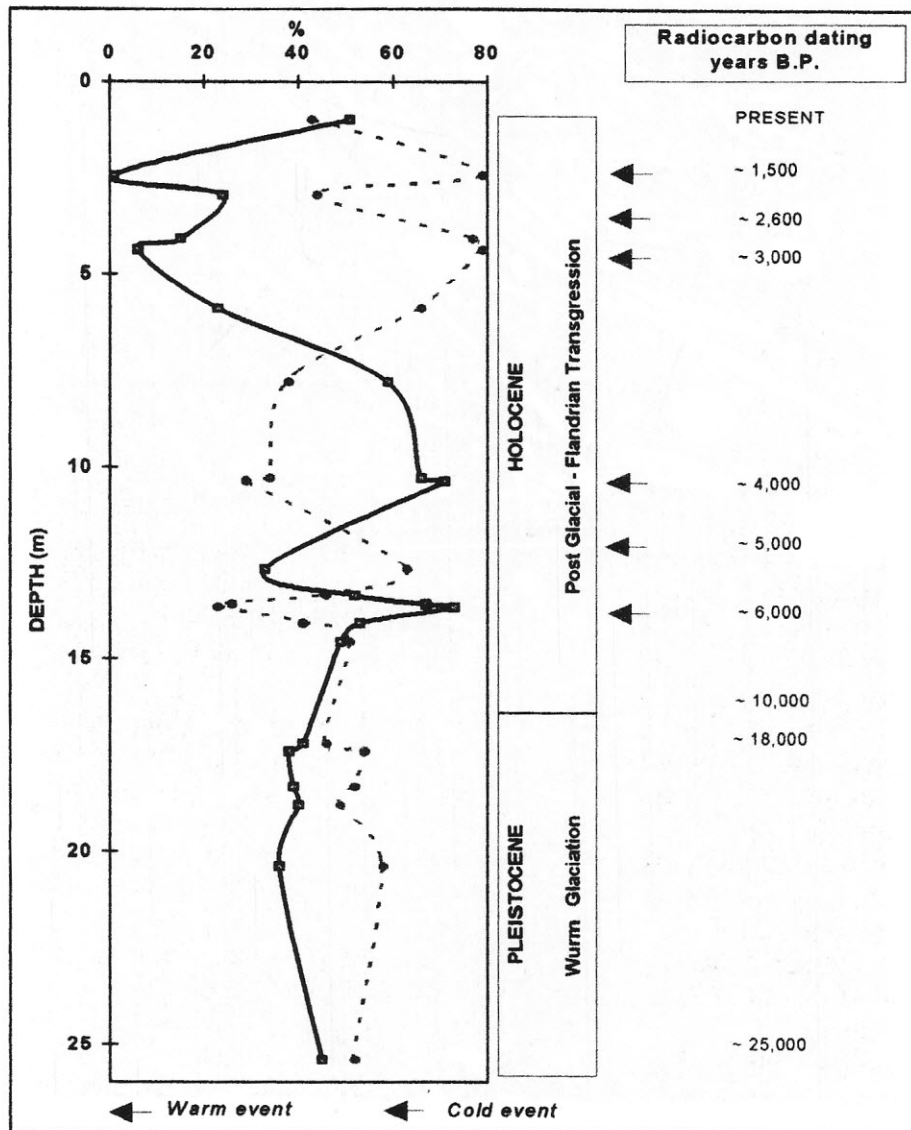


Fig. 6. Variazioni delle percentuali dei silicati (linea tratteggiata) e dei carbonati (linea continua) dei sedimenti sabbiosi in relazione ai cambiamenti paleoclimatici.



Foto 1. Allineamento preferenziale dei fillosilicati nel *caranto*: A) parallelo, B) circolare

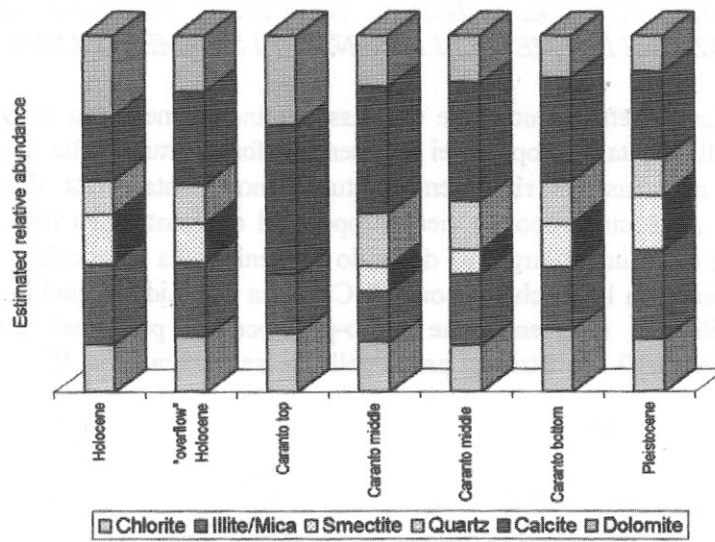


Fig. 7. Composizione mineralogica del *caranto* e dei livelli argillosi sopra e sottostanti

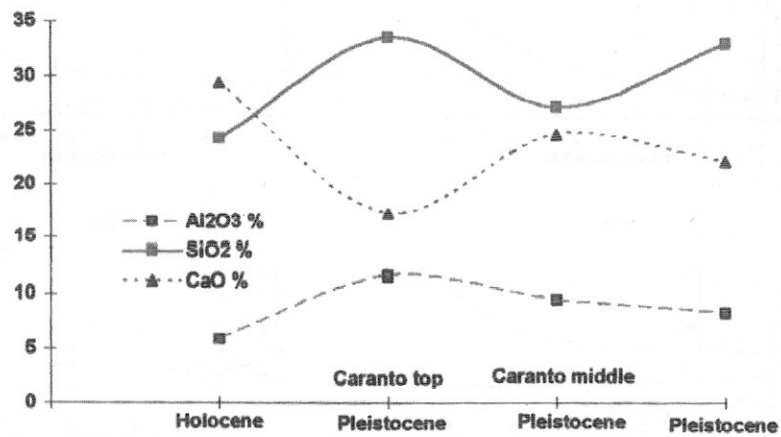


Fig. 8. Composizione geochimica del *caranto* e dei livelli argillosi sopra e sottostanti

### 5. RIFERIMENTO GEOCHIMICO NATURALE PER UNA CORRETTA VALUTAZIONE DEI METALLI PESANTI NEI SEDIMENTI ANTROPIZZATI.

La corretta valutazione del tasso di inquinamento da metalli pesanti dovuto all'attività antropica nei sedimenti di fondo attuali della laguna veneta richiede una base di riferimento naturale non contaminata dalle attività umane<sup>23</sup>. A questo proposito viene proposto il confronto tra i dati analitici di campioni di sedimenti argillosi di fondo provenienti da sei località all'interno della laguna, tra le bocche di porto di Chioggia e di Lido, e quelli di campioni attribuibili alla sedimentazione tardo-pleistocenica presi nel sottosuolo a profondità di 10-15 metri, nei pressi delle stesse località (Fig. 9).

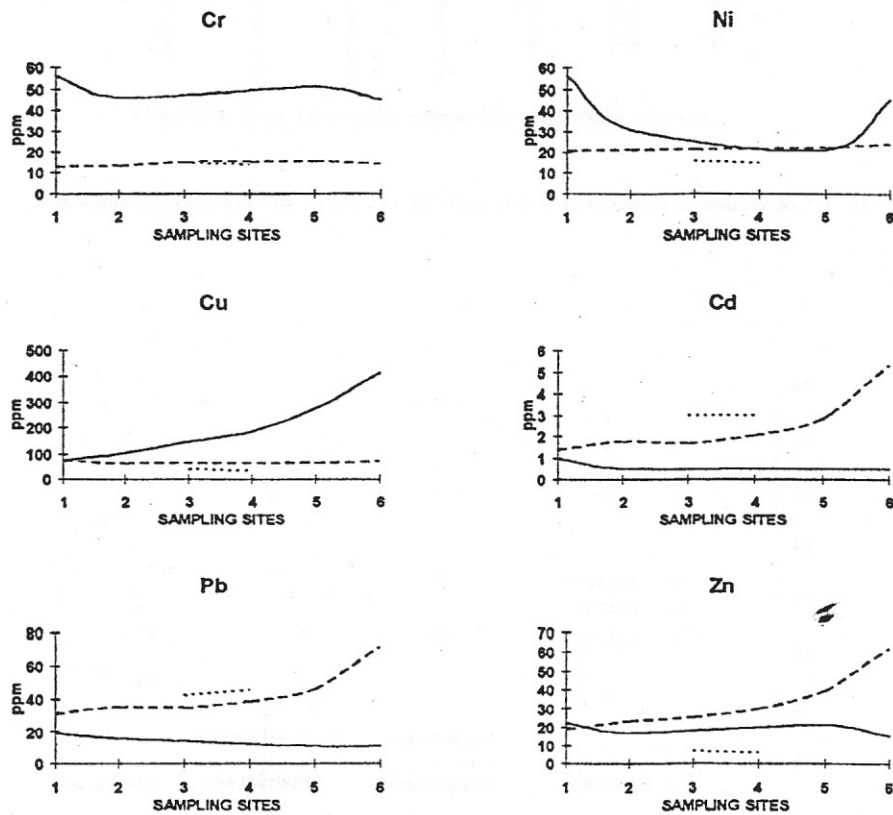


Fig. 9. Confronto tra i valori di alcuni metalli pesanti dei sedimenti di antica deposizione (circa 15-20.000 anni fa) (linea continua) e quelli di fondo attuali antropizzati<sup>24</sup> e quelli di fondo attuali antropizzati<sup>24</sup> e quelli di fondo attuali antropizzati<sup>24</sup> campionamento 1976-'78 linea tratteggiata, campionamento 1995 linea punteggiata<sup>25</sup>.

La linea continua si riferisce alla composizione geochimica dei sedimenti indisturbati antichi, mentre per i sedimenti di fondo recenti, la linea tratteggiata riporta i valori di un campionamento effettuato nel periodo 1976-1978<sup>24</sup> e quella punteggiata riporta i valori dei campioni prelevati nel 1995<sup>25</sup>.

Uno studio dettagliato<sup>23</sup> mediante SEM, BDS e EDS dei campioni profondi indisturbati ha inoltre evidenziato la presenza di grani naturali di Monazite e Uraninite con valori in p.p.m. di Ce, La, Nd, Cr, U e Th che potrebbero essere considerati nocivi.

### CONCLUSIONI

Lo studio mineralogico delle sabbie ha permesso inizialmente la differenziazione dei sedimenti olocenici da quelli tardo-pleistocenici e successivamente è stato riscontrato che le variazioni della composizione mineralogica sono correlate a quelle degli ambienti deposizionali generalmente in relazione ai paleoclimi.

Le differenze verticali delle percentuali mineralogiche tra la sedimentazione tardo pleistocenica e quella olocenica sono da attribuirsi alla successione dei diversi ambienti di deposizione legata principalmente alle variazioni climatiche, all'eustatismo e, secondariamente, a variazioni del rapporto tra i tassi di subsidenza e quelli di sedimentazione. Le differenze areali invece, tra i settori settentrionale e meridionale, sono imputabili alle diverse caratteristiche petrografiche degli apporti solidi fluviali, prevalentemente carbonatici a Nord e silicatici a Sud.

La relazione tra la composizione mineralogica, geochimica e tessiturale dei sedimenti e le condizioni climatiche è stata evidenziata con alcuni esempi.

Nel caso dei sedimenti sabbiosi è stato evidenziato un aumento dei silicati durante le fasi di deterioramento climatico (periodi a clima freddo) ed un aumento invece dei carbonati durante le fasi di miglioramento climatico.

Per i sedimenti argillosi è stato riportato l'esempio dell'impatto del clima glaciale arido sull'ultimo livello di argille pleistoceniche (*caranto*). In questo caso, gli effetti del clima sono stati ben evidenziati, mediante lo studio tessiturale, nell'allineamento preferenziale dei minerali lamellari che ha conferito una elevata consistenza a questo livello.

Infine è stata evidenziata l'importanza di determinare una base geochimica di riferimento quale background naturale per una corretta valutazione dell'impatto antropico sui contenuti di metalli pesanti nei sedimenti attuali.



## Bibliografia

- 1 BONARDI M., TOSI L., CALLIARI I., *Studio granulometrico mediante I. A. (Image Analysis) delle sabbie tardo quaternarie del cordone litoraneo della Laguna di Venezia*. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, C.N.R., Techn. Rep. 187, Venezia, 1994.
- 2 BONARDI M., TOSI L., *Image analysis: a tool for sedimentological investigations*. «Microscopy and Analysis» 35, 37-39, 1995.
- 3 BONARDI M., CARBOGNIN L., *Late Quaternary sediments differentiation and characterization by EMPA-EDS mineral assemblage study*. Electron Microscopy 1992. Proc. 10th EUREM 92, 2, 603. Granada, 1992.
- 4 BONARDI M., SOCCORSO C., ALDIGHERI F., *A new approach to the study of the sediments of the Lagoon of Venice (Italy)*. «Marine Geoscience», 4 (1), 36-39, 1992.
- 5 FAIRBRIDGE R.W., *Quaternary shoreline problems at Inqua, 1969*. «Quaternaria», XV, 1-18, Roma, 1971.
- 6 BORTOLAMI G.C., FONTES J.C.H., MERKGRAF V., SALIEGE J.F., *Land sea and climate in the northern Adriatic region during late Pleistocene and Holocen*. Paleogeogr., «Paleoclimatol. Paleoecol.», 21, 139, 1977.
- 7 VEGGIANI A., *I deterioramenti climatici dell'Eta' del Ferro e dell'Alto Medioevo*, «Bull. Soc. Torricelliana di Scienze e Lettere» 45 l'enza, 1994.
- 8 ORTOLANI F., PAGLIUCA S., *Variazioni climatiche e crisi dell'ambiente antropizzato*, «Il Quaternario» 7 (1) 351, 1994.
- 9 GATTO P., CARBOGNIN L., *The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man induced modification*. «Hydr. Sc. Bull. », 26 (4), 370-391, 1981.
- 10 MARABINI F., VEGGIANI A., *Evolutional trend of the coastal zone and influence of the climatic fluctuations*. Proc. 2nd International Symp. on Coastal Ocean Space Utilization, Long Beach, CA (USA), 1991.
- 11 BONARDI M., MARABINI F., *Environmental Evolution in the Lagoon of Venice (Italy)*. «Geophytology», Vol. 22, 1992.
- 12 GATTO P., *Il sottosuolo del litorale veneziano*. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, C.N.R., Techn. Rep. 108, Venezia, 1980a.
- 13 GATTO P., PREVIA TELLO P., *Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella laguna di Venezia di un argilla sovraconsolidata nota come "caranto"*. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, C.N.R., Techn. Rep. 70, Venezia, 1974.
- 14 GATTO P., *I processi costieri nel tratto antistante il litorale di Venezia*. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, C.N.R., Techn. Rep. 109, Venezia, 1980b.
- 15 FONTES J.C.H., BORTOLAMI G., *Subsidence in the Venice area during the past 40.000 years*. «Nature», 244, 339-341, 1973.
- 16 BORTOLAMI G., CARBOGNIN L., GATTO P., *The natural subsidence in the Lagoon of Venice, Italy*. Proc. 3th International Symp. on Land Subsidence. IAHS, Publ. 151, 777-785, 1984.

- 17 TOSI L., *Rapporto e prime interpretazioni sulle analisi paleontologiche condotte su campioni tardo-quadernari del sottosuolo del litorale veneziano*. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse C.N.R., Techn. Rep. 182, Venezia, 1994a.
- 18 TOSI L., *L'evoluzione paleoambientale tardo quadernaria del litorale veneziano nelle attuali conoscenze*. «Il Quaternario», 7 (2) 589-596, 1994b.
- 19 BONARDI M., TOSI L., *Evidences of climatic variations in Upper Pleistocene and Holocene sediments from the Lagoon of Venice (Italy) and the Yellow Sea (China)* «World Resources Review», 1996 (in stampa).
- 20 TOSI L., *Caratteristiche geotecniche del sottosuolo del litorale veneziano*. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, C.N.R., Techn. Rep. 171, Venezia, 1993.
- 21 TOSI L., *I sedimenti tardo quadernari dell'area litorale veneziana: analisi delle caratteristiche fisico-meccaniche*, «Geologia Tecnica & Ambientale», 3, 47, 1994c.
- 22 BONARDI M., TOSI L., *Climatic and sea level fluctuations evidenced in the mineralogical composition of the Late Quaternary sediments from the Venetian littoral (Italy)*. Proc. 14th International Sedimentological Congress, E5-7, Recife, Brazil, 1994b.
- 23 BONARDI M., TOSI L., *The choice of a natural sediment reference base for a proper pollution quantification in a coastal environment: the case study of the Lagoon of Venice (ITALY)*. Atti di Italian Water Pollution Control Association Conference, Aprile 1995 (in stampa).
- 24 DONAZZOLO R., ORIO A., PAVONI B., PERIN G., *Heavy metals in sediments of the Venice Lagoon*. «Oceanologica Acta »,7, 25-32, 1984.
- 25 PERIN G., BONARDI M., SCOTTO S., FABRIS R., SIMONCINI A., MANENTE S., TOSI L., *Heavy metal pollution in central Venice Lagoon bottom sediments: evaluation of the metal bioavailability by geochemical speciation procedure*. «Environmental Technology», 1996 (in stampa).

