



Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISMAR - Istituto di Scienze Marine
Sede di Bologna
Via Gobetti, 101 – 40129 Bologna, Italy
Tel +39 051 6398896 Fax +39 051 6398944



“STUDIO RADIOCHIMICO DEI SEDIMENTI INCLUSI NEL SIN DEI LAGHI DI
MANTOVA E POLO CHIMICO, VOLTO A DETERMINARE LE VELOCITÀ DI
SEDIMENTAZIONE DELL’AREA E L’EVOLUZIONE TEMPORALE
DELL’INQUINAMENTO ANTROPICO”

Dr. Leonardo Langone
CNR-ISMAR, Istituto di Scienze Marine, sede di Bologna
Via Gobetti 101, 40129 Bologna

RAPPORTO TECNICO
Relazione preliminare - Luglio 2009

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



1. INTRODUZIONE

L'ISPRA, l'Istituto per la Protezione Ambientale, già ICRAM (Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare), e l'ISMAR-CNR, Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche, sede di Bologna, in ottobre 2008 hanno stipulato un'apposita Convenzione che ha per oggetto lo "*Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico*".

Il programma delle attività delle ricerche è stato definito nell'allegato tecnico della Convenzione e prevede lo studio di 4 carote di sedimento.

Le carote dovevano essere tagliate in senso longitudinale, fotografate e subcampionate, determinando la porosità dei singoli subcampioni. E' stato stimato che siano preparati circa 40 campioni per ciascuna carota, tra questi dovevano essere scelti 15-20 campioni per ciascuna carota da analizzare mediante spettrometria gamma per la determinazione del ^{137}Cs e in spettrometria alfa per la determinazione del ^{210}Pb .

I risultati delle analisi di laboratorio devono essere riportati su uno specifico Rapporto Tecnico che deve contenere, tra l'altro:

- la descrizione delle metodiche di analisi utilizzate;
- i risultati ottenuti in forma grafica e tabellare;
- il calcolo delle velocità di sedimentazione e dei tassi di accumulo ottenuti sia mediante il ^{137}Cs che mediante il ^{210}Pb , con descrizione del metodo/modello di calcolo utilizzato.

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



Le carote di sedimento sono state consegnate presso la sede di Bologna di ISMAR-CNR in data 12 novembre 2008 a cura della ditta Nautilus.

Alla data della presente relazione, le carote sono state misurate per la suscettività magnetica "whole core" (non prevista dalla convenzione), tagliate in senso longitudinale, fotografate, subcampionate, seccate per la misura della porosità. Sono state inoltre misurate le attività del ^{210}Pb in spettrometria alfa su un numero totale di 60 campioni, il ^{137}Cs in spettrometria gamma su un numero totale di 35 campioni.

In questa prima relazione verranno presentati i dati finora prodotti, con alcune considerazioni preliminari utili per la scelta dei successivi livelli di carota da analizzare.



2. METODICHE DI ANALISI UTILIZZATE

Suscettività magnetica "whole core"

La suscettività magnetica misura la capacità di magnetizzazione di un materiale in presenza di un campo magnetico applicato, e può essere usata per correlazioni stratigrafiche e determinazione di province mineralogiche. L'unità di misura della suscettività magnetica (C_m) è adimensionale (SI 10^{-6}).

La carota è stata analizzata intera (metodo "whole core"). Tale approccio ha il vantaggio di poter essere effettuato a carota chiusa, risultando così in un'analisi abbastanza rapida e, fondamentalmente, non distruttiva. La misura è stata effettuata con anello ad induzione Bartington di 12.5 cm di diametro a passo 2 cm e lettura ogni 10 secondi, utilizzando il sistema di avanzamento automatico della carota mod. ISMAR SAAS-1 (L. Masini, 2001). I dati misurati sono stati corretti per il diametro del sensore e per lo spessore di sedimento, ripuliti da 'spikes', filtrati e plottati vs. profondità. Si tenuto conto sia del fondo che della deriva dello strumento, per i quali ogni misura è stata poi corretta, eseguendo alcune letture a vuoto sia prima che dopo la scansione, secondo gli standard di misura del laboratorio di Paleomagnetismo dell'ISMAR-CNR, Sede di Bologna.

Taglio, fotografia e subcampionamento delle carote

Le carote sono state per prima cosa tagliate in spezzoni da un metro di lunghezza. Ogni spezzone è stato quindi numerato in modo progressivo partendo dal basso.



Gli spezzoni sono stati successivamente tagliati in senso longitudinale utilizzando la sezionatrice per carote di ISMAR-CNR messa a punto da A. Magagnoli (1980).

Una metà della carota è stata opportunamente ripulita, lisciata e preparata per la fotografia. Le carote sono state fotografate con macchina digitale Panasonic mod. DMC-TZ5, con i seguenti dettagli operativi: dimensione dell'immagine, 3456 x 2592; risoluzione, 180 x 180 dpi; profondità in bit, 24.

Carota	9	27B	49C	63
F-stop	f/4	f/4	f/4.2	f/4
Tempo di esposizione	1/30 s	f/4	1/30 s	1/30 s
Sensibilità ISO	ISO-160	ISO-125	ISO-200	ISO-160
Distanza focale	7 mm	7 mm	8 mm	7 mm
Massima apertura	3.44	3.44	3.44	3.44
Flash	no	no	no	no
Lunghezza focale 35mm	43	43	48	43

L'altra metà carota è stata subcampionata in livelli da 1-2 cm per le successive analisi di laboratorio.

Contenuto d'acqua, porosità e densità apparente

Background

Nella analisi del profilo di attività dei radionuclidi è importante considerare il problema della compattazione dei sedimenti, cioè il progressivo decremento del contenuto di acqua negli

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico”



strati via via che vengono seppelliti e cresce il peso che grava su di loro. Per far sì che il profilo del radionuclide non sia influenzato da questo fenomeno occorre usare la profondità espressa come massa cumulativa (g cm^{-2}); questa procedura è di gran lunga migliore perché è un sistema univoco e permette di calcolare un tasso di accumulo (T_a) in $\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$ che, a differenza della velocità di sedimentazione (V) in cm a^{-1} , è indipendente dal contenuto di acqua. Tra i due valori esiste la relazione:

$$T_a = V (1 - \phi_m) \rho_s$$

dove ϕ_m è la porosità media nell'intervallo considerato e ρ_s è il peso specifico del sedimento (g cm^{-3}). Il tasso di accumulo del sedimento esprime il flusso netto di particelle all'interfaccia acqua-sedimento ed ha una importanza fondamentale per il calcolo dei flussi di altre sostanze legate al trasporto di particelle verso il sedimento (ad es., metalli, nutrienti, sostanza organica o inquinanti). Rappresenta un'informazione di base per elaborare qualsiasi bilancio di massa.

Procedura analitica

Per il calcolo del contenuto d'acqua, della porosità e della densità apparente (*dry bulk density*) dei sedimenti è stata utilizzata la perdita in peso ottenuta seccando il sedimento alla temperatura di 50°C . Questa quantità costituisce il peso dell'acqua contenuta nel sedimento e permette il calcolo della porosità secondo la formula suggerita da Berner (1971):

$$\phi = w \rho_s / [w \rho_s + (1 - w) \rho_w]$$

dove w corrisponde alla frazione d'acqua sul peso totale, ρ_s alla densità media delle particelle di sedimento e ρ_w alla densità dell'acqua interstiziale. I valori utilizzati di ρ_s e ρ_w sono stati



rispettivamente 2.6 e 1.029 g cm⁻³. Dalla relazione precedente è possibile quindi ricavare il valore della densità apparente (ρ_a) in g cm⁻³:

$$\rho_a = \rho_s (1 - \phi)$$

A questo punto la profondità di massa (Z , in g cm⁻²) viene calcolata come la sommatoria dello spessore di ogni fetta (s) moltiplicato per la sua densità apparente:

$$Z_n = S_1 \rho_{a1} + S_2 \rho_{a2} + \dots S_n \rho_{an}$$

Profili di attività ¹³⁷Cs

Background

Il ¹³⁷Cs è un radionuclide artificiale prodotto dalla fissione nucleare. Ha un tempo di dimezzamento di circa 30 anni. La sua immissione in atmosfera è iniziata nei primi anni '50 con l'inizio degli esperimenti nucleari nell'atmosfera ed ha raggiunto i valori massimi negli anni 1954-58 e 1962. L'incidente alla centrale termonucleare di Chernobyl (aprile 1986) ha determinato un'ulteriore massiccia ricaduta a vasta scala sull'Europa. Esiste un modello di deposizione per il ¹³⁷Cs che è valido per tutto l'emisfero settentrionale che mostra un andamento temporale che dipende dall'energia liberata dalle esplosioni o dagli incidenti nucleari. Le sorgenti principali del ¹³⁷Cs nei sedimenti sono rappresentate essenzialmente dalla ricaduta atmosferica diretta all'interfaccia acqua-sedimento e dagli apporti di acque dolci drenate dai bacini idrografici trasportanti l'elemento depositatosi al suolo. Il secondo input è difficilmente stimabile con precisione, soprattutto perché le modalità di rimozione del ¹³⁷Cs dai suoli non sono costanti e dipendono da diversi fattori come, ad esempio, l'adsorbimento

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



preferenziale su particelle fini ($d < 64 \mu\text{m}$), l'affinità del radionuclide per determinati minerali, in particolare fillosilicati potassici, la natura dei suoli erosi, con un'attività specifica massima per il Cesio delle particelle provenienti da suoli adibiti a pascolo e minima per quelli coltivati, dove avviene un rimescolamento degli orizzonti.

Le interazioni del Cs con il particolato in sospensione sono regolate dalla salinità, dalla temperatura e dalla natura delle particelle (la presenza di cationi con raggi ionici simili e con la stessa valenza del Cs^+ , come K^+ e Na^+ , nei minerali argillosi inibisce le reazioni di scambio ionico che coinvolgono il radionuclide). Esiste inoltre una relazione inversa tra adsorbimento e dimensioni granulometriche, anche se questa è riconducibile più alla natura mineralogica delle particelle che alla loro superficie specifica. Il desorbimento del ^{137}Cs avviene a velocità molto inferiori rispetto a quelle di adsorbimento.

L'attività del ^{137}Cs nei sedimenti dipende soprattutto dalla variazione temporale degli input, quindi dovrebbe essere proporzionale, per ogni livello, al flusso di radionuclide alla superficie del corpo idrico relativo all'anno di deposizione.

I profili di attività del ^{137}Cs sono utilizzati per la datazione e per la valutazione dei fenomeni di mescolamento nella colonna sedimentaria; nel primo caso vengono considerati i picchi di attività corrispondenti ai periodi di massima immissione atmosferica. Questi picchi dovrebbero corrispondere al materiale depositato rispettivamente nel 1963 e nel 1986. La data corrispondente alla base del profilo dovrebbe essere il 1954, tuttavia questo riferimento è quasi sempre non corretto a causa dei fenomeni di diffusione nelle acque interstiziali.

In genere, il ^{137}Cs viene misurato per verificare i risultati ottenuti mediante l'utilizzo del ^{210}Pb . Infatti, se la profondità del picco di ^{137}Cs è in perfetto accordo con la profondità prevista attraverso il ^{210}Pb , il sedimento non è affetto da mescolamento e i tassi di sedimentazione forniti dai 2 radionuclidi sono attendibili.



Procedura analitica

La misura dell'attività del ^{137}Cs è stata effettuata attraverso spettrometria gamma. La durata della misura è stata generalmente di 24 ore. Il ^{137}Cs emette radiazioni gamma con energia caratteristica di 661.66, 31.82 e 32.19 keV.

Per la misurazione dell'attività del ^{137}Cs è stato considerato il picco corrispondente ai 661.66 keV poiché per questa energia la resa (frazione di atomi che decade emettendo radiazioni) è più alta. La rilevazione è stata effettuata direttamente sul sedimento, precedentemente essiccato e disaggregato, posto in recipienti cilindrici di plexiglas. Sono state utilizzate diverse geometrie alle quali corrispondono indicativamente determinate quantità in peso di sedimento:

volume (ml)	peso (g)
10	12
15	18
20	24
35	42
50	60

Il sedimento è stato compattato con una pressa manuale fino al volume desiderato, quindi è stato posto nel rivelatore. Sono stati utilizzati due rivelatori coassiali Ortec EG&G al germanio intrinseco collegati all'analizzatore multicanale. Tutti i rivelatori sono alloggiati in pozzetti di piombo e criostatati con azoto liquido.

L'attività del campione è stata ricavata dalla formula:

$$\text{Attività} = \text{cpm} / \text{efficienza} \cdot \text{resa} \cdot \text{peso}$$



dove cpm sono i conti per minuto netti, corretti cioè per il fondo e la resa corrisponde a 0.851 per il picco con energia di 662 keV. L'efficienza esprime la percentuale di radiazioni emesse dal campione che viene effettivamente letta dal detector e dipende dalle geometrie del campione e del detector e dall'energia di emissione dei raggi gamma. L'efficienza di rivelazione per un dato isotopo si ricava dal rapporto tra i conti per minuto per grammo misurati per un campione standard e l'attività specifica certificata. Il calcolo dell'errore include l'errore di conteggio del campione, l'errore di conteggio e l'errore statistico dello standard. Le attività, corrette per il decadimento, sono state riportate alla data di campionamento.

Profili di attività di ^{210}Pb

Background

Il ^{210}Pb è un isotopo radioattivo naturale appartenente alla serie di decadimento dell' ^{238}U . La principale sorgente di ^{210}Pb per gli ambienti acquatici è costituita dall'atmosfera, dove è prodotto dal decadimento del ^{222}Rn , il quale a sua volta proviene in massima parte per emanazione dai suoli.

Ambienti lacustri e marini costieri sono influenzati da significativi apporti terrestri di ^{210}Pb ; al contrario, in ambienti marini profondi, il ^{210}Pb è principalmente derivato dal decadimento del ^{226}Ra disciolto nell'acqua di mare.

Il ^{210}Pb una volta in mare viene facilmente adsorbito alle particelle sedimentarie in caduta nella colonna d'acqua e si accumula sul fondo del mare. Nel sedimento esiste anche un ^{210}Pb "supportato" (o di background) che deriva dal decadimento *in situ* del ^{226}Ra . Le attività di ^{210}Pb "totale" misurate rappresentano quindi la somma di una frazione "supportata" e di una frazione "in eccesso" proveniente dall'esterno, relativa a quella parte che si è attaccata alle particelle durante il ciclo descritto. Per il calcolo delle velocità di sedimentazione e dell'età dei

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



sedimenti viene utilizzata la distribuzione del ^{210}Pb "in eccesso" in funzione della profondità nel sedimento.

In condizioni ottimali il profilo di ^{210}Pb totale ha una forma esponenziale, decrescente verso il basso e tendente ad un valore costante che rappresenta l'attività di ^{210}Pb supportato.

Geocronologia e modelli di calcolo

Ci sono diversi modi in cui un profilo di ^{210}Pb si può formare nel sedimento. Per una corretta cronologia dei sedimenti occorre conoscere il meccanismo di formazione del profilo o quanto meno formulare delle ipotesi realistiche. Ad ogni assunzione corrisponde un determinato modello da applicare nel calcolo dei tempi e quindi dei tassi di sedimentazione.

In via generale il profilo di ^{210}Pb in eccesso dipende dalla sedimentazione, dai processi di mescolamento, considerati diffusivi, e dal decadimento radioattivo. Tutto questo è descritto dall'equazione di avvezione-diffusione:

$$D \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} - V \frac{\partial A}{\partial z} - \lambda A = 0$$

dove D è il coefficiente di mescolamento, V la velocità di sedimentazione, A l'attività del radionuclide, λ la costante di decadimento e z la profondità. Poste le opportune condizioni al contorno l'equazione differenziale può essere risolta per ottenere la velocità di sedimentazione:

$$V = \left(\lambda z / \ln \frac{A_0}{A_z} \right) - \frac{D}{z} \left(\ln \frac{A_0}{A_z} \right)$$



Dove A_0 è l'attività del radioisotopo all'interfaccia ed A_z è l'attività ad una distanza z dall'interfaccia. Se il mescolamento è trascurabile ($D=0$), l'equazione si semplifica:

$$V = \lambda z / \ln \frac{A_0}{A_z} \quad \text{ovvero} \quad V = -\lambda / M$$

dove M è il coefficiente angolare della retta di regressione che si ottiene dal diagramma semilogaritmico dalle attività in eccesso in funzione della profondità.

In pratica quest'ultima formula si riferisce ad un modello basato sulla assunzione che gli apporti sia di sedimento che di radionuclide siano costanti nel tempo. Questo modello è stato chiamato CF-CS (Constant Flux-Constant Sedimentation) (Robbins, 1978).

Naturalmente esistono diversi problemi connessi alla determinazione delle età dei livelli sedimentari e dei tassi di accumulo che possiamo così riassumere:

- a) distorsione dovuta al mescolamento (fisico o per bioturbazione) superficiale o anche profondo;
- b) mobilitazione del tracciante nelle acque interstiziali e sua migrazione lungo la colonna sedimentaria;
- c) assenza di un modello semplice che descriva l'apporto di particellato e di radionuclide al fondale marino.

Nel caso vi sia mescolamento limitato ad uno strato superficiale ben definito possiamo calcolare la velocità di sedimentazione applicando il modello CF-CS alla parte sottostante del profilo.



Procedura analitica

Il ^{210}Pb ($t_{1/2}=22.26$ anni) decade a ^{210}Bi e poi a ^{210}Po ($t_{1/2}=138.38$ giorni) emettendo particelle beta e radiazioni gamma a bassa energia. L'attività del ^{210}Pb può essere quindi ottenuta sia mediante misura diretta in spettrometria gamma o attraverso la misura del suo figlio, ^{210}Po in spettrometria alfa. In questo caso, la determinazione si basa sul presupposto che i due radionuclidi si trovino in equilibrio secolare (cioè che le loro attività siano uguali) e sulla caratteristica del polonio di depositarsi spontaneamente sull'argento quando si trova disciolto in soluzioni acide. Questo fa in modo che gli isotopi del polonio vengano separati selettivamente dagli altri alfa emettitori presenti in soluzione, senza effettuare procedure cromatografiche.

Le fasi del metodo utilizzato in questo esperimento fanno riferimento alla metodologia messa a punto da Frignani & Langone (1991) e Frignani et al. (1993) e possono essere così schematizzate:

- o estrazione chimica dai campioni seccati del ^{210}Po con attacco acido (HNO_3 8N) a caldo (110°C), rimozione della sostanza organica con H_2O_2 30%, evaporazione fino a piccoli volumi, eliminazione dell' HNO_3 mediante aggiunte di HCl concentrato, diluizione in 60 ml di HCl 1.5 N, riduzione del Fe mediante aggiunta di acido ascorbico, deposizione spontanea del ^{210}Po su dischetti d'argento. Con l'aggiunta di uno standard interno (^{209}Po) in quantità nota si può valutare l'efficienza di estrazione e deposizione sul dischetto;
- o conteggio per circa 2 giorni delle emissioni alfa tramite rilevatori a barriera superficiale al silicio. Gli errori analitici sono compresi tra 5-10%;
- o calcolo dell'attività del ^{210}Po .



RISULTATI

Le 4 carote di sedimento analizzate sono denominate: MN08-9, MN08-27B, MN08-49C, MN09-63.

In Tabella vengono forniti alcuni dettagli del subcampionamento delle carote.

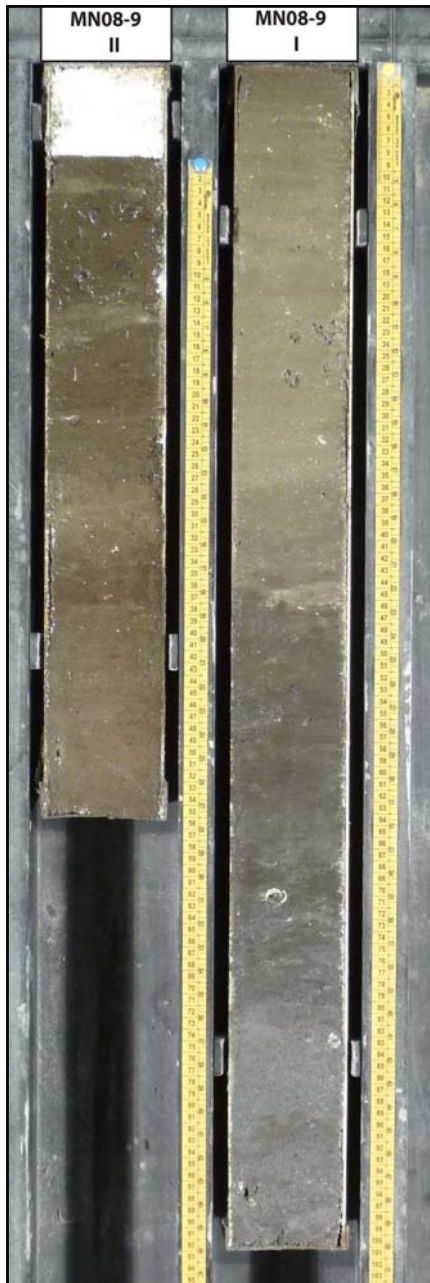
Carota	Lunghezza complessiva (cm)	Numero spezzoni	Spezzone	Strato (cm)	Frequenza fette	Spessore fette (cm)
9	155	2	II	0-55	tutte	1
			I	55-155	nessuna	-
27B	165	2	II	0-65	tutte	1
			I	65-100	tutte	2
49C	183	2	II	0-83	0-40, tutte	1
			I	83-183	40-83, ogni 10 cm	1
63	148	2	II	0-48	tutte	1
			I	48-148	tutte	2

Nelle pagine seguenti verranno mostrate le foto, e i dati in forma grafica e tabellare.



FOTO DELLE CAROTE

Carota **MN08-9**



Carota **MN08-27B**



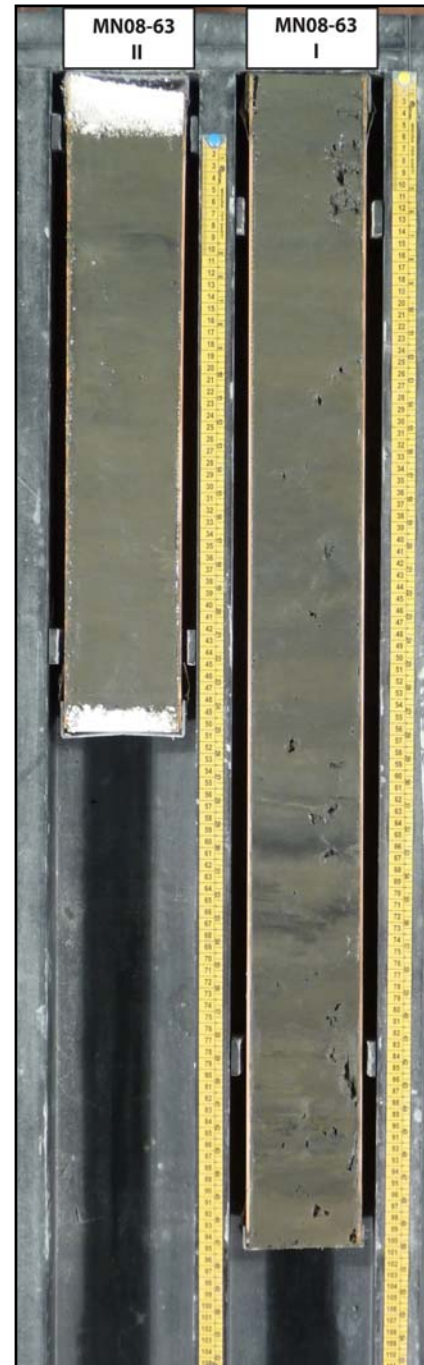
“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Carota **MN08-49C**



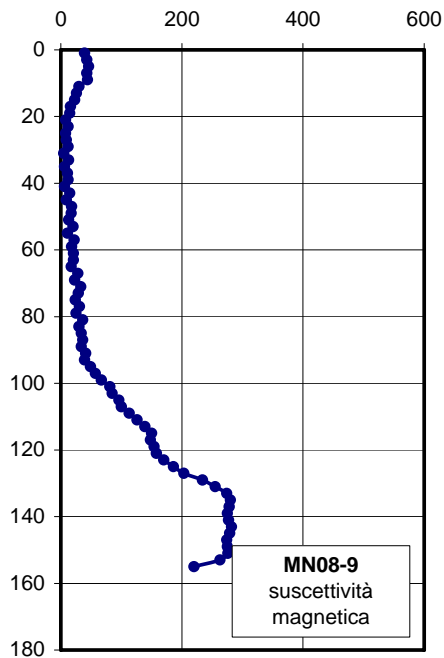
Carota **MN08-63**



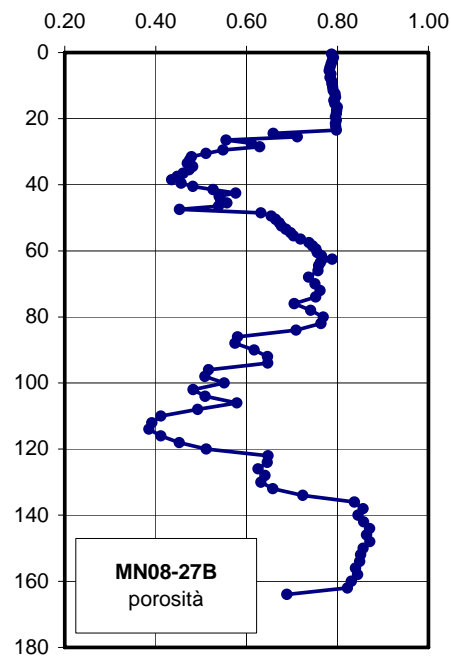
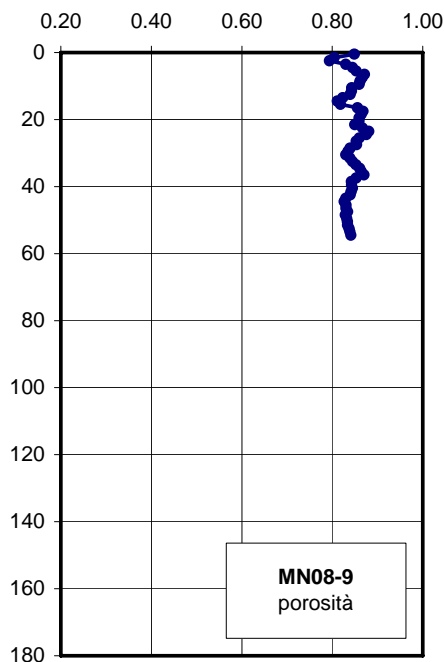
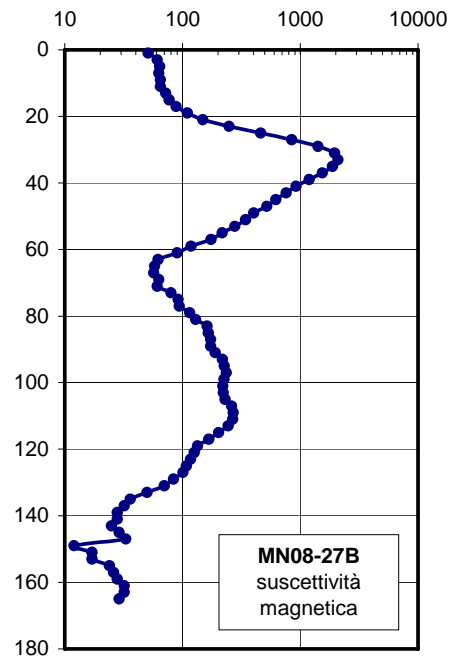
“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Carota **MN08-9**



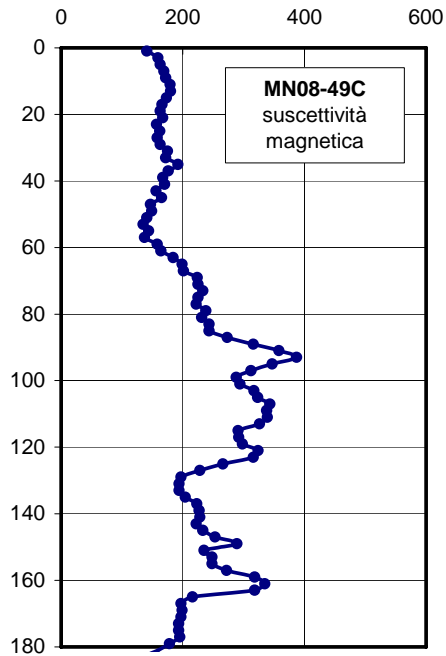
Carota **MN08-27B**



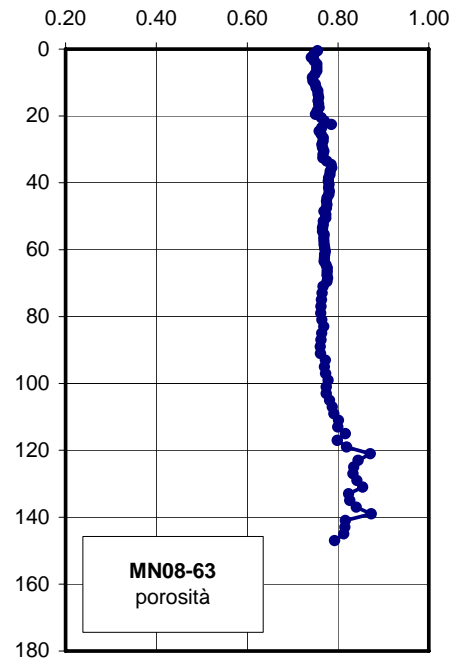
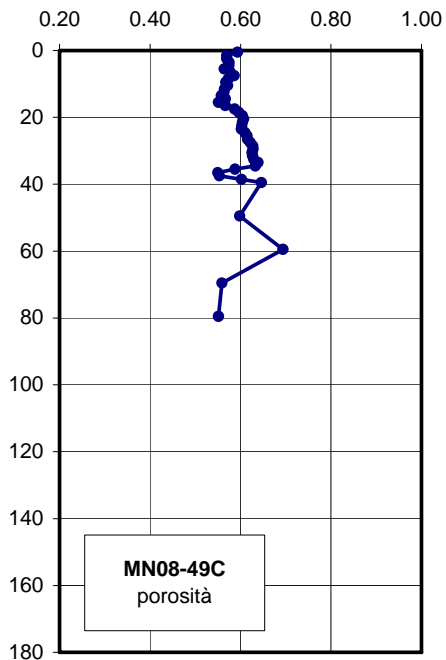
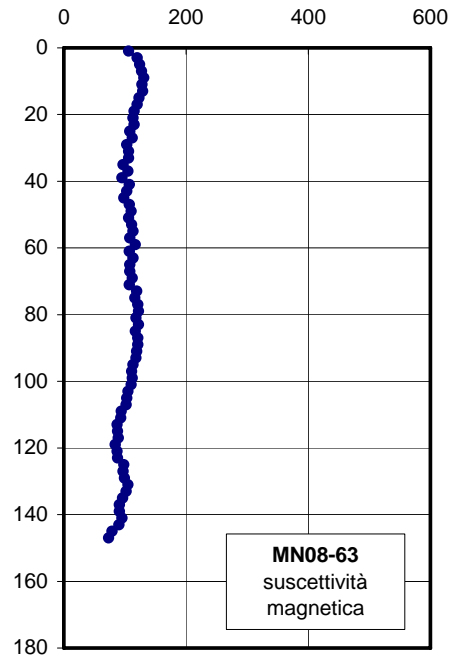
“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



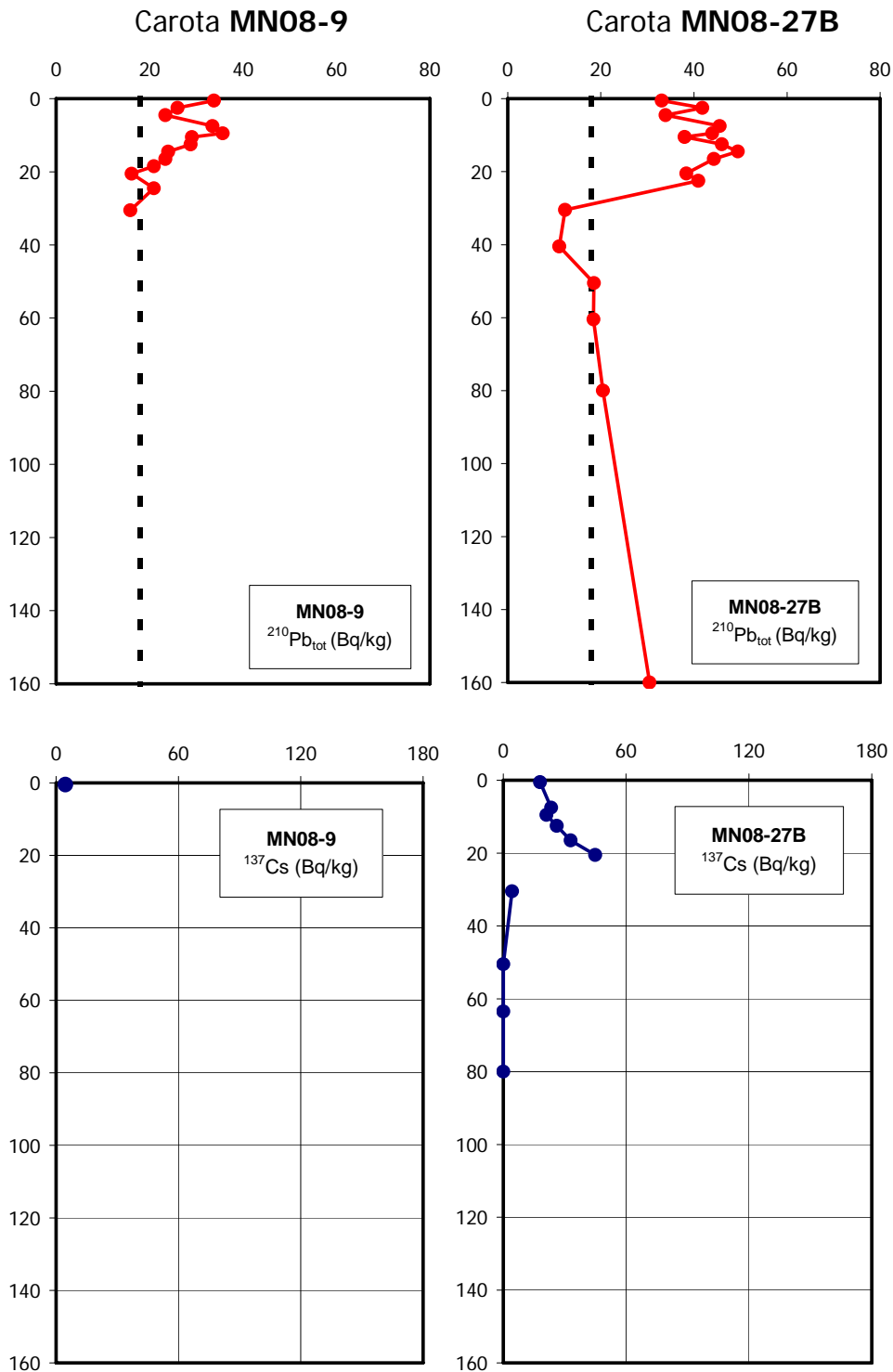
Carota **MN08-49C**



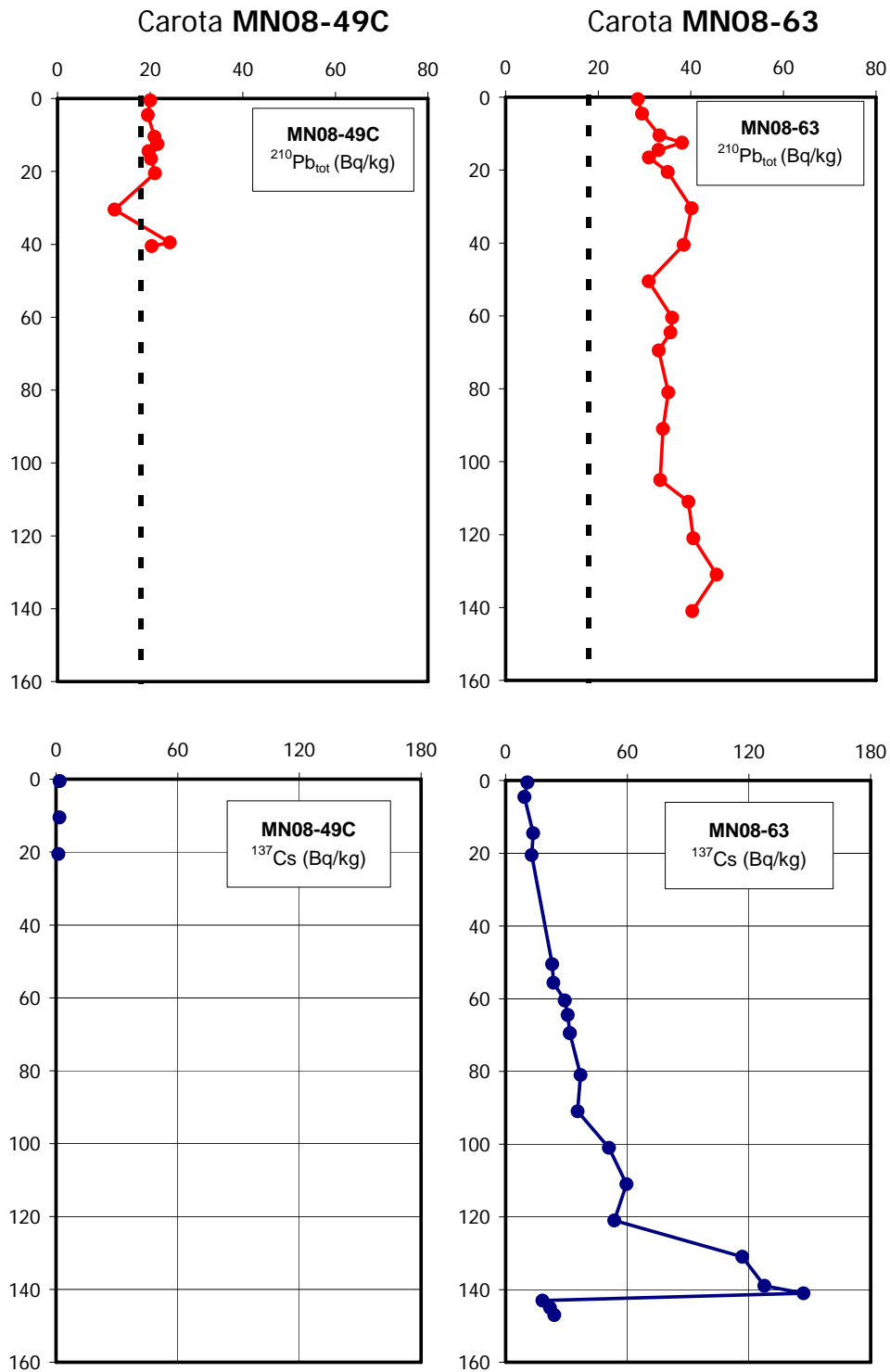
Carota **MN08-63**



“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Tabella dei dati di suscettività magnetica, contenuto d'acqua, porosità e dry density relativa alla carota **MN08-9**

Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
1	39	0.5	68.97	0.849	0.393
3	43	1.5	61.96	0.805	0.508
5	46	2.5	60.37	0.794	0.536
7	43	3.5	65.90	0.830	0.442
9	44	4.5	68.25	0.844	0.404
11	30	5.5	69.63	0.853	0.383
13	26	6.5	72.83	0.871	0.335
15	23	7.5	71.93	0.866	0.348
17	16	8.5	71.10	0.861	0.360
19	15	9.5	70.72	0.859	0.366
21	8	10.5	68.01	0.843	0.408
23	12	11.5	67.94	0.843	0.409
25	8	12.5	67.45	0.840	0.417
27	9	13.5	64.80	0.823	0.460
29	12	14.5	62.94	0.811	0.491
31	5	15.5	64.08	0.818	0.472
33	13	16.5	70.14	0.856	0.375
35	6	17.5	72.25	0.868	0.343
37	11	18.5	71.56	0.864	0.353
39	12	19.5	70.74	0.859	0.366
41	6	20.5	70.65	0.859	0.367
43	15	21.5	69.11	0.850	0.391
45	9	22.5	71.96	0.866	0.347
47	18	23.5	74.55	0.881	0.309
49	17	24.5	73.54	0.875	0.324
51	13	25.5	70.87	0.860	0.364
53	20	26.5	69.65	0.853	0.383
55	11	27.5	69.79	0.854	0.380
57	22	28.5	67.41	0.839	0.418
59	18	29.5	66.69	0.835	0.429
61	21	30.5	65.85	0.830	0.443
63	21	31.5	67.38	0.839	0.418
65	17	32.5	68.28	0.845	0.404

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico”



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
67	28	33.5	69.57	0.852	0.384
69	23	34.5	70.94	0.860	0.363
71	33	35.5	71.55	0.864	0.354
73	29	36.5	72.60	0.870	0.338
75	24	37.5	69.64	0.853	0.383
77	31	38.5	67.85	0.842	0.411
79	25	39.5	67.95	0.843	0.409
81	36	40.5	68.28	0.845	0.404
83	30	41.5	67.82	0.842	0.411
85	34	42.5	67.40	0.839	0.418
87	36	43.5	65.87	0.830	0.443
89	34	44.5	65.36	0.827	0.451
91	41	45.5	66.00	0.831	0.440
93	39	46.5	65.98	0.830	0.441
95	49	47.5	66.55	0.834	0.431
97	57	48.5	65.74	0.829	0.445
99	67	49.5	66.17	0.832	0.438
101	81	50.5	66.47	0.834	0.433
103	85	51.5	66.57	0.834	0.431
105	96	52.5	67.02	0.837	0.424
107	100	53.5	67.36	0.839	0.418
109	113	54.5	67.73	0.841	0.413
111	126				
113	139				
115	150				
117	148				
119	154				
121	158				
123	170				
125	186				
127	203				
129	234				
131	255				
133	274				
135	280				
137	278				

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
139	275				
141	277				
143	282				
145	279				
147	274				
149	275				
151	276				
153	263				
155	220				

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Tabella dei dati di suscettività magnetica, contenuto d'acqua, porosità e dry density relativa alla carota **MN08-27B**

Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
1	51	0.5	59.43	0.787	0.553
3	61	1.5	59.97	0.791	0.543
5	64	2.5	59.59	0.788	0.550
7	63	3.5	59.29	0.786	0.556
9	65	4.5	58.87	0.783	0.563
11	65	5.5	58.68	0.782	0.567
13	72	6.5	59.18	0.786	0.558
15	77	7.5	58.90	0.784	0.563
17	88	8.5	59.37	0.787	0.554
19	110	9.5	59.54	0.788	0.551
21	149	10.5	59.76	0.790	0.547
23	249	11.5	59.90	0.791	0.545
25	461	12.5	60.47	0.794	0.534
27	845	13.5	60.65	0.796	0.531
29	1415	14.5	60.15	0.792	0.540
31	1955	15.5	60.45	0.794	0.535
33	2093	16.5	61.21	0.799	0.521
35	1875	17.5	61.05	0.798	0.524
37	1540	18.5	60.96	0.798	0.526
39	1192	19.5	60.64	0.796	0.531
41	924	20.5	60.93	0.798	0.526
43	761	21.5	60.64	0.796	0.531
45	620	22.5	60.70	0.796	0.530
47	520	23.5	60.98	0.798	0.525
49	403	24.5	43.34	0.659	0.887
51	343	25.5	49.43	0.712	0.749
53	278	26.5	33.03	0.555	1.157
55	217	27.5	38.28	0.610	1.013
57	175	28.5	40.16	0.629	0.964
59	118	29.5	32.44	0.548	1.175
61	90	30.5	29.22	0.511	1.273
63	62	31.5	26.68	0.479	1.355
65	58	32.5	26.34	0.475	1.366

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
67	57	33.5	25.94	0.470	1.379
69	63	34.5	26.88	0.481	1.348
71	61	35.5	26.29	0.474	1.368
73	80	36.5	25.26	0.461	1.402
75	92	37.5	24.26	0.447	1.437
77	94	38.5	23.38	0.435	1.468
79	115	39.5	24.90	0.456	1.415
81	129	40.5	26.90	0.482	1.347
83	162	41.5	30.57	0.527	1.231
85	166	42.5	35.00	0.576	1.101
87	173	43.5	31.68	0.540	1.197
89	173	44.5	31.96	0.543	1.189
91	190	45.5	33.22	0.557	1.152
93	218	46.5	31.58	0.538	1.200
95	226	47.5	24.65	0.453	1.423
97	235	48.5	40.40	0.631	0.958
99	225	49.5	42.80	0.654	0.899
101	220	50.5	43.86	0.664	0.874
103	222	51.5	44.77	0.672	0.853
105	230	52.5	45.32	0.677	0.840
107	261	53.5	46.46	0.687	0.814
109	269	54.5	47.62	0.697	0.788
111	267	55.5	48.43	0.704	0.771
113	244	56.5	50.27	0.719	0.732
115	203	57.5	52.65	0.737	0.683
117	167	58.5	53.65	0.745	0.662
119	134	59.5	54.66	0.753	0.643
121	126	60.5	55.02	0.756	0.636
123	117	61.5	56.29	0.765	0.611
125	108	62.5	59.59	0.788	0.550
127	101	63.5	55.96	0.762	0.618
129	84	64.5	55.43	0.759	0.628
131	70	66.0	55.27	0.757	0.631
133	50	68.0	52.52	0.736	0.685
135	36	70.0	54.39	0.751	0.648
137	32	72.0	55.85	0.762	0.620

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
139	28	74.0	54.55	0.752	0.645
141	28	76.0	48.61	0.705	0.767
143	25	78.0	53.07	0.741	0.674
145	29	80.0	56.86	0.769	0.600
147	33	82.0	56.10	0.764	0.615
149	12	84.0	49.12	0.709	0.756
151	17	86.0	35.35	0.580	1.092
153	17	88.0	34.85	0.575	1.106
155	24	90.0	38.91	0.617	0.997
157	26	92.0	41.95	0.646	0.920
159	28	94.0	42.01	0.647	0.919
161	32	96.0	29.71	0.516	1.257
163	32	98.0	29.02	0.508	1.279
165	29	100.0	32.69	0.551	1.167
		102.0	26.95	0.482	1.346
		104.0	29.08	0.509	1.277
		106.0	35.23	0.579	1.095
		108.0	27.77	0.493	1.319
		110.0	21.66	0.411	1.531
		112.0	20.29	0.391	1.582
		114.0	19.85	0.385	1.599
		116.0	21.68	0.412	1.530
		118.0	24.62	0.452	1.424
		120.0	29.28	0.511	1.271
		122.0	42.05	0.647	0.918
		124.0	41.88	0.645	0.922
		126.0	39.77	0.625	0.974
		128.0	41.34	0.640	0.935
		130.0	40.41	0.631	0.958
		132.0	43.23	0.658	0.889
		134.0	50.92	0.724	0.718
		136.0	67.03	0.837	0.424
		138.0	70.26	0.856	0.373
		140.0	68.43	0.846	0.401
		142.0	70.47	0.858	0.370
		144.0	72.71	0.871	0.336

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
		146.0	71.54	0.864	0.354
		148.0	72.80	0.871	0.335
		150.0	70.29	0.857	0.373
		152.0	69.35	0.851	0.387
		154.0	68.96	0.849	0.393
		156.0	67.48	0.840	0.416
		158.0	68.26	0.845	0.404
		160.0	66.01	0.831	0.440
		162.0	64.68	0.822	0.462
		164.0	46.68	0.689	0.809

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Tabella dei dati di suscettività magnetica, contenuto d'acqua, porosità e dry density relativa alla carota **MN08-49C**

Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
1	141	0.5	36.61	0.593	1.057
3	159	1.5	34.38	0.570	1.119
5	163	2.5	34.38	0.570	1.119
7	169	3.5	34.86	0.575	1.105
9	172	4.5	34.79	0.574	1.107
11	179	5.5	33.88	0.564	1.133
13	180	6.5	35.10	0.577	1.099
15	173	7.5	35.89	0.586	1.077
17	166	8.5	34.71	0.573	1.109
19	163	9.5	34.18	0.568	1.124
21	167	10.5	34.55	0.572	1.114
23	157	11.5	33.93	0.565	1.132
25	162	12.5	33.84	0.564	1.134
27	158	13.5	33.26	0.557	1.151
29	163	14.5	34.11	0.567	1.126
31	175	15.5	32.73	0.551	1.166
33	172	16.5	34.10	0.567	1.127
35	192	17.5	35.98	0.587	1.074
37	176	18.5	36.87	0.596	1.050
39	167	19.5	37.67	0.604	1.029
41	170	20.5	37.91	0.607	1.023
43	156	21.5	37.67	0.604	1.029
45	165	22.5	37.52	0.603	1.033
47	147	23.5	37.42	0.602	1.036
49	149	24.5	38.21	0.610	1.015
51	141	25.5	38.71	0.615	1.002
53	135	26.5	38.79	0.616	1.000
55	144	27.5	39.43	0.622	0.983
57	137	28.5	39.99	0.627	0.969
59	158	29.5	40.05	0.628	0.967
61	164	30.5	39.81	0.626	0.973
63	184	31.5	39.92	0.627	0.971

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico”



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
65	199	32.5	40.16	0.629	0.964
67	201	33.5	41.19	0.639	0.939
69	224	34.5	40.57	0.633	0.954
71	225	35.5	36.08	0.588	1.072
73	233	36.5	32.60	0.550	1.170
75	225	37.5	32.91	0.553	1.161
77	222	38.5	37.50	0.603	1.033
79	238	39.5	41.94	0.646	0.920
81	231	49.5	37.05	0.598	1.045
83	243	59.5	47.30	0.694	0.796
85	243	69.5	33.43	0.559	1.146
87	273	79.5	32.71	0.551	1.167
89	316				
91	358				
93	387				
95	347				
97	312				
99	288				
101	294				
103	317				
105	323				
107	343				
109	338				
111	339				
113	326				
115	291				
117	292				
119	298				
121	324				
123	316				
125	266				
127	228				
129	197				
131	194				
133	194				

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Profondità (cm)	Suscettività magnetica (SI 10 ⁻⁶)	Profondità (cm)	Contenuto acqua (% in peso)	Porosità	Dry density (g cm ⁻³)
135	204				
137	223				
139	227				
141	228				
143	222				
145	233				
147	253				
149	289				
151	235				
153	248				
155	248				
157	272				
159	318				
161	335				
163	318				
165	216				
167	197				
169	199				
171	197				
173	193				
175	193				
177	195				
179	178				
181	160				
183	134				
185	131				

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Tabella dei dati di suscettività magnetica, contenuto d'acqua, porosità e dry density relativa alla carota **MN08-63**

Profondità cm	Suscettività magnetica SI 10 ⁻⁶	Profondità cm	Contenuto acqua % in peso	Porosità	Dry density g cm ⁻³
1	120	0.5	54.92	0.75	0.64
3	124	1.5	53.94	0.75	0.66
5	127	2.5	53.12	0.74	0.67
7	131	3.5	54.03	0.75	0.65
9	128	4.5	54.75	0.75	0.64
11	129	5.5	54.76	0.75	0.64
13	123	6.5	54.76	0.75	0.64
15	120	7.5	54.21	0.75	0.65
17	115	8.5	53.48	0.74	0.67
19	113	9.5	53.63	0.75	0.66
21	115	10.5	54.27	0.75	0.65
23	108	11.5	54.52	0.75	0.65
25	112	12.5	54.99	0.76	0.64
27	103	13.5	55.11	0.76	0.63
29	106	14.5	55.29	0.76	0.63
31	106	15.5	55.07	0.76	0.63
33	97	16.5	55.31	0.76	0.63
35	105	17.5	55.44	0.76	0.63
37	95	18.5	54.89	0.75	0.64
39	107	19.5	54.31	0.75	0.65
41	103	20.5	56.05	0.76	0.62
43	98	21.5	57.05	0.77	0.60
45	107	22.5	59.19	0.79	0.56
47	110	23.5	56.21	0.76	0.61
49	106	24.5	55.43	0.76	0.63
51	111	25.5	56.01	0.76	0.62
53	113	26.5	56.68	0.77	0.60
55	108	27.5	56.57	0.77	0.61
57	117	28.5	56.27	0.76	0.61
59	107	29.5	56.47	0.77	0.61
61	113	30.5	56.88	0.77	0.60
63	108	31.5	56.59	0.77	0.61
65	108	32.5	56.54	0.77	0.61

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico”



Profondità cm	Suscettività magnetica SI 10 ⁻⁶	Profondità cm	Contenuto acqua % in peso	Porosità	Dry density g cm ⁻³
67	112	33.5	57.72	0.78	0.58
69	107	34.5	59.10	0.78	0.56
71	119	35.5	59.27	0.79	0.56
73	116	36.5	58.82	0.78	0.56
75	121	37.5	58.72	0.78	0.57
77	122	38.5	58.26	0.78	0.57
79	118	39.5	58.26	0.78	0.57
81	122	40.5	58.47	0.78	0.57
83	117	41.5	58.28	0.78	0.57
85	121	42.5	58.49	0.78	0.57
87	121	43.5	58.38	0.78	0.57
89	119	44.5	57.81	0.78	0.58
91	118	45.5	57.66	0.77	0.59
93	113	46.5	57.77	0.78	0.58
95	111	47.5	57.64	0.77	0.59
97	112	48.5	56.87	0.77	0.60
99	110	49.5	57.44	0.77	0.59
101	105	50.5	57.42	0.77	0.59
103	103	51.5	56.66	0.77	0.60
105	102	52.5	56.69	0.77	0.60
107	94	53.5	56.44	0.77	0.61
109	93	54.5	56.48	0.77	0.61
111	87	55.5	56.92	0.77	0.60
113	88	56.5	56.81	0.77	0.60
115	89	57.5	56.89	0.77	0.60
117	84	58.5	56.96	0.77	0.60
119	87	59.5	57.11	0.77	0.60
121	88	60.5	57.32	0.77	0.59
123	98	61.5	57.10	0.77	0.60
125	97	62.5	56.99	0.77	0.60
127	99	63.5	56.98	0.77	0.60
129	105	64.5	57.53	0.77	0.59
131	102	65.5	57.88	0.78	0.58
133	96	66.5	57.88	0.78	0.58
135	91	67.5	57.80	0.78	0.58
137	91	68.5	58.02	0.78	0.58

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Profondità cm	Suscettività magnetica SI 10 ⁻⁶	Profondità cm	Contenuto acqua % in peso	Porosità	Dry density g cm ⁻³
139	95	69.5	57.83	0.78	0.58
141	90	71	56.56	0.77	0.61
143	79	73	56.28	0.76	0.61
145	73	75	56.09	0.76	0.62
		77	55.98	0.76	0.62
		79	55.93	0.76	0.62
		81	56.23	0.76	0.61
		83	56.80	0.77	0.60
		85	56.17	0.76	0.61
		87	55.98	0.76	0.62
		89	55.80	0.76	0.62
		91	55.81	0.76	0.62
		93	57.27	0.77	0.59
		95	57.00	0.77	0.60
		97	57.35	0.77	0.59
		99	58.18	0.78	0.58
		101	57.55	0.77	0.59
		103	57.59	0.77	0.59
		105	58.62	0.78	0.57
		107	59.46	0.79	0.55
		109	59.98	0.79	0.54
		111	61.49	0.80	0.52
		113	61.26	0.80	0.52
		115	63.79	0.82	0.48
		117	61.10	0.80	0.52
		119	64.19	0.82	0.47
		121	72.77	0.87	0.34
		123	68.24	0.84	0.40
		125	66.62	0.83	0.43
		127	66.43	0.83	0.43
		129	67.77	0.84	0.41
		131	69.90	0.85	0.38
		133	64.83	0.82	0.46
		135	65.30	0.83	0.45
		137	67.56	0.84	0.42
		139	73.18	0.87	0.33

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



Profondità cm	Suscettività magnetica SI 10 ⁻⁶	Profondità cm	Contenuto acqua % in peso	Porosità	Dry density g cm ⁻³
		141	63.77	0.82	0.48
		143	63.61	0.82	0.48
		145	63.24	0.81	0.49
		147	60.19	0.79	0.54

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell’area e l’evoluzione temporale dell’inquinamento antropico”



COMMENTO AI DATI

Carota MN08-9

Nel II spezzone (0-55 cm), la carota è caratterizzata da valori bassi di suscettività magnetica e relativamente alti di porosità. Nello spezzone più profondo (I spezzone, 55-155 cm), la suscettività magnetica aumenta progressivamente fino a raggiungere un valore di picco tra i 130 e 150 cm di profondità. La foto mostra maggiori variazioni dicolore a circa 101 cm e a 133 cm, più altre di minore entità nello spezzone superficiale, che si correlano bene con l'andamento dei 2 parametri precedentemente citati.

Litologicamente si tratta di un fango ossidato ed idrato in superficie (0-101 cm). Sotto 130-133 cm, il sedimento è costituito da fango grigio, nettamente più compatto. Un'unità tra 101-133 cm mostra caratteristiche di compattazione e colore intermedie. Seppure le 3 unità sembrano in continuità stratigrafica, i passaggi tra un'unità e l'altra sono piuttosto netti.

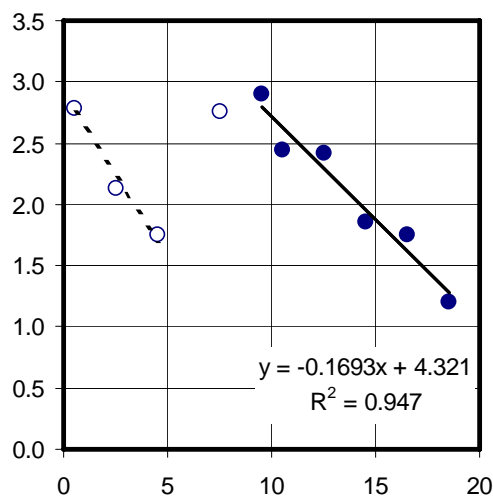
Il ^{137}Cs misurato nella prima fetta è molto basso, prossimo al limite di rilevabilità, il che farebbe pensare che il sito sia caratterizzato da accumulo di sedimento recente molto basso o trascurabile. Per aumentare il grado di confidenza di questa conclusione, occorrerebbe misurare il ^{137}Cs in altre fette subsuperficiali (es., livello 9-10 cm).

Il ^{210}Pb totale è stata determinato su 13 livelli della carota compresi tra la superficie e 31 cm. L'attività del $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ cala in maniera grosso modo esponenziale, ma con un minimo relativo nella fetta 4-5 cm. Tale andamento sembra condizionato dalle variazioni di granulometria del sedimento, come si può dedurre dall'andamento pressoché parallelo del $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ rispetto a quello della porosità.

“Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico”



Da 20 cm in giù, il $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ si stabilizza su un valore pressoché costante pari a 17.6 Bq kg^{-1} , che è stato preso come valore di ^{210}Pb supportato (valore di background). Il valore di $^{210}\text{Pb}_{\text{bkg}}$ è stato poi sottratto a tutti i valori allo scopo di ottenere l'attività di ^{210}Pb in eccesso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$). Applicando un modello di Constant Flux – Constant Sedimentation al profilo di $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ tra 9 e 18 cm, è stata calcolata una **velocità di sedimentazione media per gli ultimi 100 anni pari a 0.18 cm y^{-1}** .



Logaritmo naturale del ^{210}Pb in eccesso (y) plottato vs. la profondità nella carota (x), relativamente alla carota MN08-9. Sono anche mostrati i best fitting, la relativa equazione e il valori del coefficiente di correlazione.

Si è provato a calcolare la velocità di sedimentazione utilizzando anche l'allineamento determinato dai valori di $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ delle prime 3 fette della carota (best fitting in tratteggio nella figura). Il risultato da' un valore di 0.12 cm y^{-1} , non molto diverso da quello precedentemente calcolato.

Sulla base del tasso di sedimentazione di 0.18 cm y^{-1} , un cm di sedimento equivale a 5.4 anni, che rappresenta quindi la risoluzione temporale massima per fette di carota da un cm.

L'unica misura di ^{137}Cs finora prodotta su questa carota non sembra confermare le conclusioni basate sul metodo del ^{210}Pb . Ulteriori misure saranno quindi necessarie per affinare la cronologia di questa carota.



Carota MN08-27B

La suscettività magnetica mostra un valore di picco molto elevato ($>2000 \cdot 10^{-6}$ SI) a circa 30 cm di profondità. Per esigenze grafiche si è quindi deciso di plottare questo parametro su scala logaritmica. Un picco secondario di suscettività magnetica è stato inoltre registrato a circa 110 cm di profondità.

La porosità mette in mostra un'alternanza di livelli con valori elevati (0-24 cm, 50-85 cm, 135-fondo carota) e valori bassi (24-50 cm, 85-135 cm), ben correlati (in maniera inversa) con i dati di suscettività magnetica.

L'osservazione visiva ha mostrato che i picchi di suscettività magnetica e i valori minimi di porosità (inferiori anche a 0.4) sono stati misurati in 2 livelli di sedimento grossolano (ghiaia sabbiosa), ricco di resti conchigliari, posizionati rispettivamente a 24-50 cm di profondità e a 108-135 cm.

Le unità litologiche caratterizzate da bassi valori di suscettività magnetica e alti di porosità sono invece costituite da fanghi idrati di colore variabile, ma tendenzialmente scuro per probabile presenza di sostanza organica abbondante. In particolar modo l'unità litologica più profonda (>135 cm) presenta l'aspetto di un suolo agrario (forse un vecchio argine?).

I radionuclidi a vita breve misurati in questa carota hanno fornito risultati non ottimali per calcolare un tasso di sedimentazione per l'area. Il $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ infatti presenta valori omogenei fino a 24 cm di profondità, poi passa a valori bassi e costanti che rappresentano probabilmente il valore di background dell'area di studio. Un valore di $^{210}\text{Pb}_{\text{tot}}$ superiore è stato nuovamente misurato a 161 cm di profondità, quasi alla base della carota.

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



Il ^{137}Cs , misurato su 10 livelli, mostra valori debolmente crescenti fino a 21 cm di profondità. Il livello di sedimento grossolano è invece caratterizzato da attività di ^{137}Cs trascurabili (prossime allo zero).

La presenza di ^{210}Pb e ^{137}Cs nel livello più superficiale (0-24 cm) fa pensare che questo rappresenti un sedimento "fresco", che si è accumulato cioè in meno di 100-150 anni se si usa il ^{210}Pb , o addirittura in meno di 50-60 anni se prendiamo in considerazione il ^{137}Cs . Il che porterebbe ad una **stima grossolana del tasso di sedimentazione di circa 0.4 cm y^{-1}** .

In realtà diverse incongruenze minano l'affidabilità di questa stima. Innanzitutto, il profilo di ^{210}Pb fa pensare ad un sedimento completamente rimescolato o addirittura a materiale di scarico, ad es. da dragaggio di aree limitrofe. Il profilo di ^{137}Cs invece mostra il caratteristico andamento decrescente nel tempo come conseguenza della riduzione degli input di questo radionuclide in atmosfera.

Non avendo avuto a disposizione la mappa di campionamento, non sono in grado di interpretare la sequenza stratigrafica di questa carota. Inoltre, la mancanza assoluta di informazioni sul contesto delle attività antropiche in questa area non mi permette neppure di definire se questa sequenza sia "naturale" (ad es. un argine che è stato progressivamente sommerso) o se invece il risultato di opere antropiche di varia natura.

La tessitura grossolana dei livelli 24-50 cm e 108-135 cm fa pensare a condizioni energetiche dell'ambiente piuttosto elevate. Siamo forse nel greto del fiume?

Tra condizioni pienamente naturali o scarico antropico esiste anche un'ipotesi intermedia, che andrebbe verificata. E' possibile che nell'area di prelievo della carota, o nelle sue vicinanze,

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



siano state effettuate opere idrauliche (es., diversione di un canale) che hanno determinato una variazione delle condizioni ambientali e del regime della sedimentazione.

Specialmente per quest'area, per poter meglio interpretare i dati forniti dai radionuclidi, è necessario quindi ottenere maggiori informazioni sull'evoluzione storica. Da parte di ISMAR-CNR invece verrà misurato il ^{137}Cs anche in profondità, negli altri livelli fangosi. Se infatti venisse individuato ^{137}Cs a 161 cm di profondità, così come è stato rintracciato il ^{210}Pb , si potrebbero inquadrare le variazioni della sedimentazione nell'ambito degli ultimi 50-60 anni, portando ad una stima delle velocità di sedimentazione molto maggiore, superiore a 3 cm y^{-1} .



Carota MN08-49C

La suscettività magnetica mostra valori abbastanza elevati anche in superficie ($>150 \cdot 10^{-6}$ SI). Sotto gli 80 cm questo parametro aumenta ulteriormente. Da foto e descrizione visiva si tratta di sedimenti fangosi grigio medio abbastanza compatti. Tale caratteristica è stata poi confermata anche dai bassi valori di porosità, che si aggirano per tutte le fette analizzate intorno a 0.60. Alcuni livelli sono caratterizzati da un cambio di colore passando alle tonalità del marroncino. Tali livelli sono di spessore diverso, variando da centrimetrici a decimetrici, senza un chiaro trend. I livelli più spessi si trovano a 54-66 cm e sotto 163 cm di profondità.

L'attività del ^{210}Pb è stata determinata su 10 livelli della carota compresi tra 0 e 41 cm. Il profilo non mostra un andamento esponenziale, bensì l'attività del ^{210}Pb totale è bassa e praticamente costante. Il valore medio di tutte le determinazioni ($20.0 \pm 3.0 \text{ Bq kg}^{-1}$) è molto vicino al livello di background della carota MN08-9. Questo potrebbe significare che il sedimento in questo sito è più vecchio di 100-150 anni.

Il ^{137}Cs misurato in 3 livelli fino a 20 cm di profondità è sempre sotto il limite di rivelabilità, andando a supportare l'ipotesi che si tratta di sedimenti antichi, sui quali una geocronologia basata su radionuclidi a vita breve non può fornire indicazioni significative, se non quella che **nel sito 49C non vi è accumulo di sedimento recente.**



Carota MN08-63

E' la carota più omogenea tra quelle studiate, caratterizzata da valori bassi e costanti di suscettività magnetica (ca. $100 \cdot 10^{-6}$ SI) e abbastanza alti di porosità (media, 0.78). I colori del sedimento in questo caso sono decisamente più scuri, forse per un maggior contenuto di sostanza organica. Alcuni livelli, ancora più scuri, caratterizzano lo spezzone più profondo.

Questi dati ci hanno fatto pensare che questo sito è caratterizzato da sedimentazione fine (fangosa) piuttosto rapida. Un'alta velocità di sedimentazione infatti non permette una efficiente espulsione dei fluidi dalla colonna sedimentaria (processo di compattazione) che risulta quindi in una porosità alta e, per effetto della presenza di acqua, da valori di suscettività magnetica piuttosto bassi.

Purtroppo anche in questo caso però non abbiamo ottenuto un profilo di ^{210}Pb con andamento esponenziale. Le attività di ^{210}Pb sono state misurate su 20 livelli dalla superficie fino a 142 cm di profondità. I valori variano da un minimo di 28.5 Bq kg^{-1} ad un massimo di 45.6 Bq kg^{-1} , con una media di 35.6 Bq kg^{-1} . In questo caso però tutte le fette hanno attività di ^{210}Pb superiori a quelle di background della carota MN08-9 (18 Bq kg^{-1}), che possiamo ragionevolmente pensare sia simile anche per il sito in esame. Quindi il sito riceve materiale "fresco", ma è la modalità di messa in posto di questo sedimento che non è chiara.

Per interpretare questo andamento piuttosto anomalo del profilo di ^{210}Pb possiamo suggerire 2 ipotesi. La prima prevede un mescolamento post-deposizionale dei sedimenti piuttosto energetico, in grado di rimescolare il sedimento fino a 140 cm di profondità. Nel caso, cause naturali (bioturbazione ad opera di organismi o risospensione per onde e correnti) sarebbero



da escludere. Bisognerebbe quindi concentrarsi sulle attività antropiche svolte nell'area di recente.

In alternativa, possiamo supporre che la velocità di sedimentazione in questo sito sia altissima. In questi casi il flusso di ^{210}Pb non riesce a bilanciare l'alto flusso di particolato. Il risultato è che il ^{210}Pb sarà più diluito, cioè l'attività iniziale sarà molto bassa.

In questa carota è stata misurata l'attività del ^{137}Cs su 21 livelli. Questa mostra un andamento crescente verso il basso fino a raggiungere un valore di picco di 147 Bq kg^{-1} a 141 cm di profondità.

Se l'area oggetto di studio è in condizioni di sedimentazione "quasi" naturale, ossia se è possibile escludere scarichi antropici puntuali e circoscritti nel tempo, allora il picco di attività di ^{137}Cs a 141 cm di profondità può essere ascritto all'evento di contaminazione determinato dall'incidente nucleare al reattore di Chernobyl occorso nell'aprile 1986, cioè 22.5 anni prima della data di prelievo di questa carota.

Da questi dati è possibile calcolare **una velocità di sedimentazione pari a 6.27 cm y^{-1}** ($141\text{cm}:22.5 \text{ anni}$). In queste circostanze sarebbe giustificabile anche il profilo anomalo del ^{210}Pb .

Per concludere, l'effetto dell'attività antropica sull'accumulo dei sedimenti nell'area di studio è stato messo in luce anche da un piccolo ritrovamento all'interno della carota di sedimento. Nel livello 142-148 cm sono state infatti rintracciate piccole sferule di plastica (?) dal diametro di 1-2 mm, che ricordano i granuli base per la produzione di manufatti in PVC. Come questi siano finiti incorporati nel sedimento non possiamo definirlo nel presente studio. Certo è che

"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"



questo è un ulteriore indizio che l'accumulo sedimentario in quest'area è estremamente elevato. Conoscendo infatti la data di scarico del materiale, o almeno la data di installazione dello stabilimento petrolchimico di Mantova, questo ritrovamento può essere utilizzato a scopo chemiostratigrafico.



"Studio radiochimico dei sedimenti inclusi nel SIN dei Laghi di Mantova e Polo Chimico, volto a determinare le velocità di sedimentazione dell'area e l'evoluzione temporale dell'inquinamento antropico"