

Il sistema deltizio del Fiume Ombrone: determinazione delle velocità di sedimentazione mediante metodi radiometrici

Giorgio Belluomini ¹, Marilì Branca ², Salvatore Improta ³, Luigia Manfra ⁴,
Valerio Ruscito ⁵, Pierluigi Vesica ¹, Mario Voltaggio ²

¹Istituto per le tecnologie applicate ai Beni Culturali, Area della Ricerca di Montelibretti (Roma), C.N.R.

²Centro di Studi per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale, Roma, C.N.R.

³Dipartimento di Fisica, Università La Sapienza, Roma.

⁴Dipartimento di Scienze della Terra, Università La Sapienza, Roma.

⁵ICRAM.

Riassunto

È stata determinata la velocità di sedimentazione nell'area antistante il delta del Fiume Ombrone applicando i metodi radiometrici del ¹⁴C, dei disequilibri radioattivi della serie del ²³⁸U e ²³²Th, dei radionuclidi da fall-out sia artificiali (¹³⁷Cs) che naturali (²¹⁰Pb).

La velocità media di sedimentazione nel periodo preistorico (9000-3000 anni B.P.) è risultata di circa 0,05 cm/anno, mentre quella attuale, riferita agli ultimi 50 anni circa, è risultata molto più elevata, pari a 0,3 cm/anno. Tale aumento riflette l'incremento di erosione, dovuto all'azione antropica, all'interno del bacino idrogeologico del Fiume Ombrone e degli altri corsi d'acqua più meridionali che concorrono con il loro materiale alla sedimentazione in questa zona. La distribuzione areale delle velocità di sedimentazione attuali mette in evidenza l'azione delle correnti nella sedimentazione e permette di valutare il volume annuo di materiale (4,4 milioni di metri cubi) che sedimenta nell'area dove sono stati prelevati i campioni analizzati.

Parole chiave: velocità di sedimentazione, radionuclidi, Fiume Ombrone

Abstract

The sedimentation rates in the area of the Ombrone River delta have been estimated by using the radiometric methods of ¹⁴C, of the radioactive disequilibrium of the ²³⁸U and ²³⁰Th series and of the artificial (¹³⁷Cs) and natural (²¹⁰Pb) fallout radionuclides. The average sedimentation rate in the prehistoric period (9000-3000 years B.P.) has been estimated to be close to about 0,05 cm/y about, while the present one, referred to the last 50 years, has proven to be much higher, i.e. about 0,3 cm/y.

This rise reflects the increase of the erosion due to the anthropic action inside the hydrogeologic basin of the Ombrone River and of the other more southern rivers which contribute with their material to the sedimentation of this area. The areal distribution of the rates of the present sedimentation highlights the action of the currents during sedimentation and it allows to evaluate the annual volume of the material (4,4 millions of m³) which settles in the sampled area.

Key-words: sedimentation rate, radionuclides, Ombrone River

Introduzione

Il Fiume Ombrone attraversa un territorio di natura litologica molto varia (i.e. sedimenti del complesso autoctono Toscano, argille con calcari palombini, calcari e marne Triassici della Falda Toscana,

gruppo del Verrucano Autoctono, trachiti quaternarie, etc.) ma esso insiste soprattutto su argille marose grigio azzurre plioceniche (*Structural Model of Italy*, Foglio n. 3, scala 1:500.000 - C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, 1992). Ne consegue che il materiale trasportato e scaricato a mare è alquanto fine, con un rapporto tra trasporto torbido e trascinamento al fondo intorno a 5,3 ed un deflusso solido totale annuo stimato attorno a 1.600.000 m³ (Bartolini, 1983).

Secondo Innocenti e Pranzini (1993), l'apparato deltizio nel periodo storico ha subito momenti di accrescimento ed arretramento: i primi corrisposero probabilmente a momenti di sviluppo demografico della Toscana meridionale, con incremento dell'erosione del suolo conseguentemente alla deforestazione ed espansione dell'agricoltura; i secondi, invece, potrebbero coincidere con crisi economico-demografiche che mitigarono l'azione antropica sugli equilibri naturali della zona.

I sedimenti apportati dall'Ombrone sono notevolmente soggetti all'azione delle correnti costiere, soprattutto quelle più forti dirette verso NO e generate dai venti di scirocco, tuttavia esistono anche correnti dirette verso SE, provocate da venti di ponente e libeccio, che possono portare il materiale solido fino alle coste dell'Argentario, come è stato messo in evidenza dagli studi sui percorsi compiuti da traccianti artificiali (Aiello et al., 1975).

Lo studio della velocità di accumulo dei sedimenti, nel bacino di sedimentazione marina prospiciente la foce del Fiume Ombrone, è stato quindi intrapreso innanzitutto per verificare se e quanto i fattori antropici attuali abbiano modificato l'apporto solido del fiume rispetto al periodo preistorico. Un altro obiettivo è quello di delineare l'andamento areale attuale della sedimentazione per tentare una correlazione con l'andamento delle correnti marine. A tale scopo sono stati utilizzati cinque differenti metodi radiometrici: il metodo del ¹⁴C, il disequilibrio radioattivo ²³⁰Th/²³⁴U, il metodo dell'eccesso del ²³⁰Th, i metodi basati sui radionuclidi da fall-out di prodotti di fissione (¹³⁷Cs) e da fall-out di radionuclidi naturali (²¹⁰Pb).

La velocità di sedimentazione off-shore in una certa area, in effetti, riflette sostanzialmente la velocità di erosione dei bacini idrogeologici dei fiumi che forniscono l'apporto solido in quella zona; pertanto la sua misura rappresenta un punto di riferimento per controllare l'andamento del fluviale ed anche l'efficacia dell'insieme delle singole azioni di difesa del suolo intraprese in quei bacini.

Campionamento e Metodi

I campioni analizzati in questo lavoro sono stati acquisiti nelle Campagne Oceanografiche Ombrone 1994 e Maremma 1996 per mezzo della nave Urania (Fig. 1).

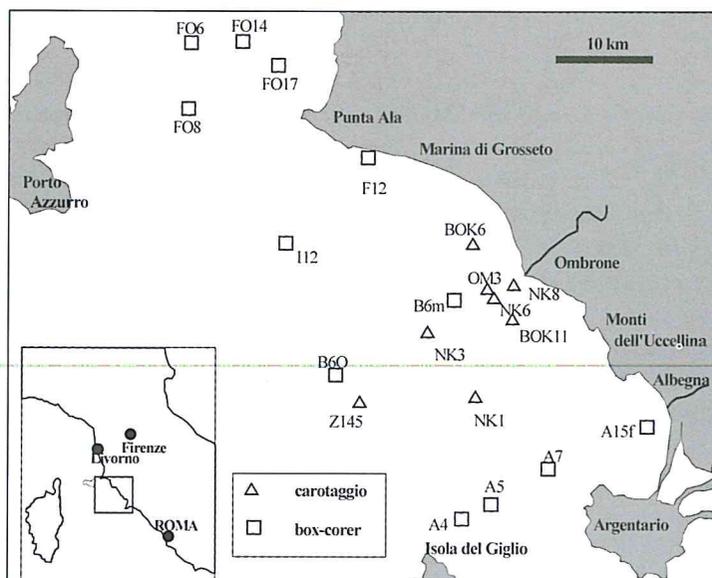


Figura 1 - Localizzazione dei campioni analizzati.

Radiocarbonio

Sono state eseguite più di 30 datazioni Radiocarbonio su sedimenti provenienti da 5 carote prelevate nella coltre sedimentaria del delta sommerso del Fiume Ombrone (NK8, NK6, OM3, BOK6, BOK11) e da 3 carote campionate al largo dell'apparato deltizio (NK3, NK1, Z145).

I campioni sono costituiti da limi argillosi nei quali è presente una frazione carbonatica e una frazione organica, quest'ultima spesso piuttosto scarsa. Le analisi al ^{14}C sono state eseguite col metodo dei contatori proporzionali e con quello dei contatori a scintillatore liquido. Esse sono state condotte, quando possibile, su entrambe le frazioni, tenendo presente che la sostanza organica costituisce un materiale di ampia affidabilità per quanto concerne le determinazioni cronologiche, mentre la datazione sulla frazione carbonatica, più che per scopi cronologici, può essere utile per valutazioni di carattere paleoambientale in quanto risente notevolmente degli apporti di carbonato continentale. Le date sono state calibrate secondo il metodo CALIB 3.0 (Stuiver e Reimer, 1993).

Disequilibrio radioattivo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

Sono stati prelevati due campioni di molluschi provenienti dal carotaggio NK3: un campione di *Ostrea* a 4 m di profondità e un campione di *Cassidaria echinophora* a 1,4 m di profondità (Fig. 2).

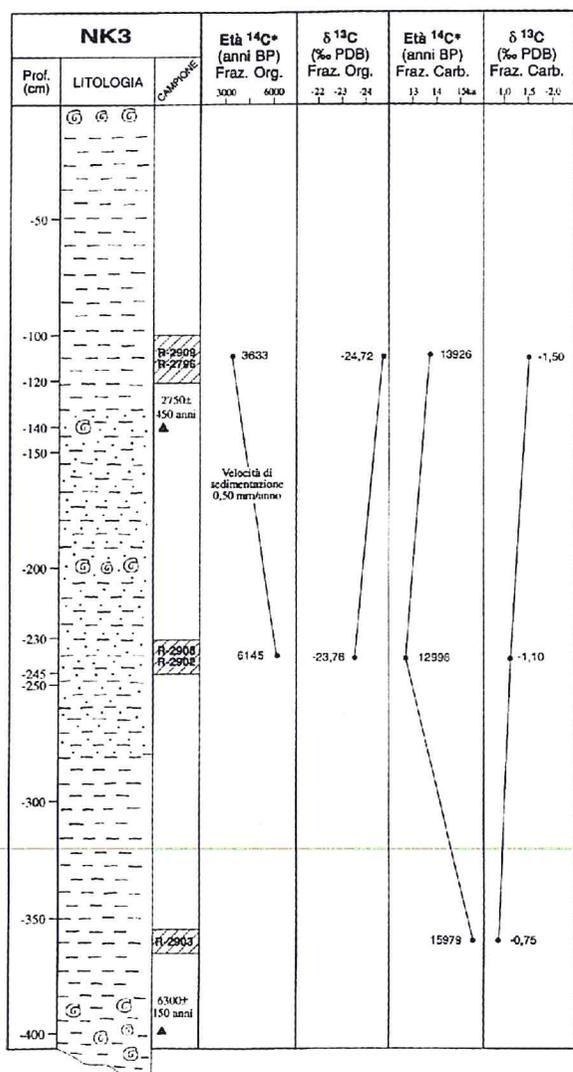


Figura 2 – Stratigrafia ed analisi radiometriche della carota NK3. Età apparente del fondale marino (top-age): 1433 anni. * Età media calibrata.

Il sistema può considerarsi chiuso da un punto di vista geochimico in quanto i campioni si trovavano all'interno di una matrice argillosa, poco permeabile quindi all'azione di fluidi diagenetici. I campioni sono stati trattati ed analizzati utilizzando la metodologia descritta in Romano et al. (1994).

Metodo dell'eccesso del ^{230}Th

Sono stati analizzati 8 campioni di sedimento provenienti dalla carota NK3 per la determinazione del rapporto di attività $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ e della quantità di Torio seguendo la procedura descritta in Goldberg e Koide (1962). Una delle assunzioni del metodo dell'eccesso del ^{230}Th è che la velocità di sedimentazione sia sufficientemente bassa da consentire l'adsorbimento sulle particelle argillose del ^{230}Th generato dall'Uranio presente nell'acqua di mare. Tuttavia i risultati degli altri metodi hanno messo in evidenza che le velocità di sedimentazione nella zona sono in realtà di due ordini di grandezza superiori a quelle presenti nei fondali oceanici, ambiente in cui il metodo è stato applicato con successo.

^{137}Cs e ^{210}Pb

I metodi radiometrici del ^{137}Cs e del ^{210}Pb per la determinazione delle velocità di sedimentazione *off-shore* consentono di coprire intervalli di tempo rispettivamente di circa 50 e 100 anni dal presente (Robbins e Edgington, 1975). Entrambi i metodi si basano sulla capacità del particolato fine di adsorbire con alti coefficienti di adsorbimento il Cesio ed il Piombo.

Nel caso del metodo del ^{137}Cs la velocità di sedimentazione è data dalla distanza in cm dei picchi di concentrazione corrispondenti a due momenti di massiccia introduzione nell'atmosfera di questo radioisotopo prodotto dalla fissione del ^{235}U : il 1963, per *fall-out* radioattivo da esperimenti nucleari nell'atmosfera, ed il 1986, per *fall-out* radioattivo dovuto all'incidente nucleare della centrale di Chernobyl (Fig. 3). Inoltre, quando il tasso di sedimentazione è molto elevato, si può calcolare, dalla larghezza del picco relativo all'evento di Chernobyl, il tempo medio di trasferimento del sedimento fine dal bacino fluviale al bacino di sedimentazione.

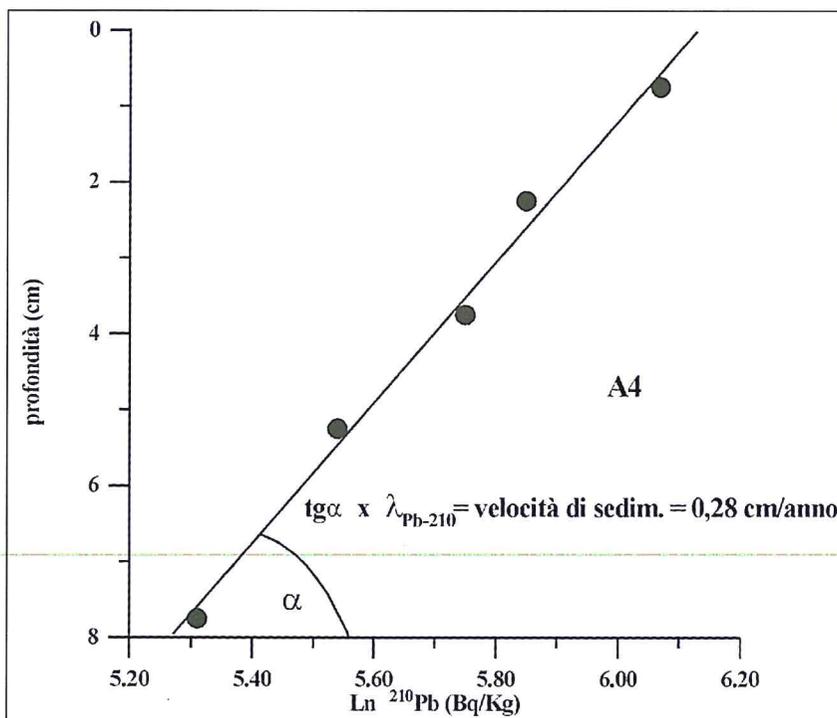


Figura 3 - Concentrazione di ^{137}Cs (Bq/kg) nella carotina B6O. I picchi di concentrazione degli anni 1963 e 1986 consentono di determinare la velocità di sedimentazione. Il ^{137}Cs presenta anche picchi minori, prima del 1963, dovuti alle esplosioni nucleari degli anni '50.

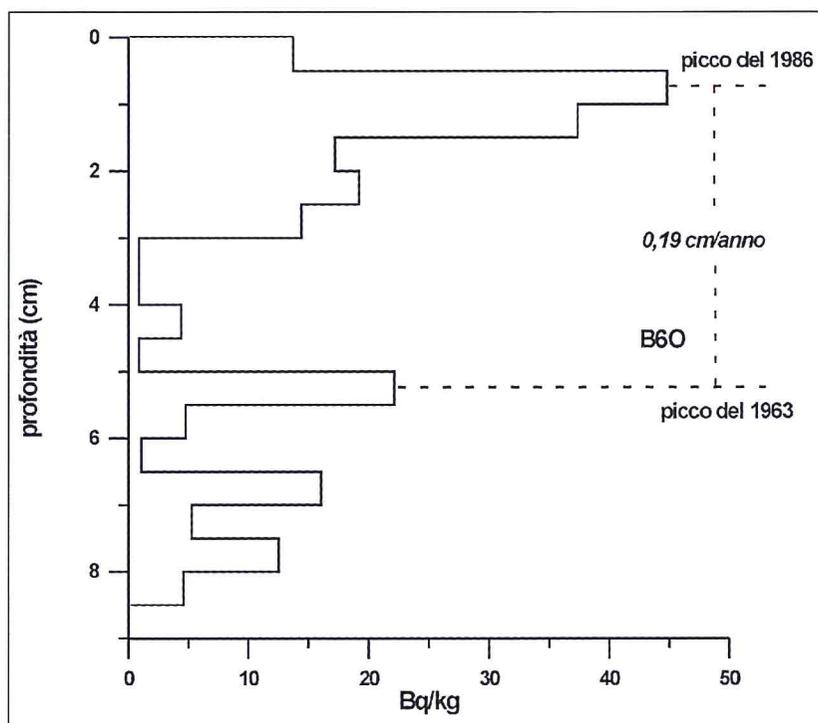


Figura 4 - Velocità di sedimentazione nella carotina A4 misurata con il metodo del ^{210}Pb . λ ^{210}Pb : $0,031 \text{ a}^{-1}$.

Il metodo del ^{210}Pb , radioisotopo prodotto dal decadimento del ^{222}Rn , si basa invece sull'assunzione che la quantità di ^{210}Pb apportato ogni anno dall'atmosfera al suolo attraverso la pioggia sia costante e che il particolato fine, mobilizzato dal bacino, contenga una quantità costante di ^{210}Pb nel corso del tempo. Se queste assunzioni sono rispettate, diagrammando il logaritmo dell'attività del ^{210}Pb contro la profondità del campione, si deve ottenere una retta la cui pendenza è funzione della velocità di sedimentazione (Fig. 4).

Poiché le carote non permettono di conservare i primi centimetri di sedimento che vengono perduti per l'azione meccanica del carotiere, le analisi di ^{137}Cs e ^{210}Pb sono state condotte sul sedimento indisturbato prelevato attraverso il metodo del box-corer, da cui sono state ottenute delle carotine di circa 25 cm di lunghezza.

I campioni analizzati in questo studio sono stati 121 subcampioni per il ^{137}Cs , provenienti da 8 carotine (FO14, B6M, B6O, I12, F12, A7, A4, FO17) e 41 subcampioni per il ^{210}Pb provenienti da 7 carotine (A15, FO6, FO8, A5, A7, A4, FO17).

Tre carotine (A7, A4, FO17) sono state analizzate sia per il ^{137}Cs che per il ^{210}Pb al fine di confrontare i due metodi, per cui le carotine, e quindi i punti per i quali è stata ottenuta la velocità di sedimentazione sono in totale 12 (Fig. 1).

Le analisi, eseguite su sezioni delle carotine aventi uno spessore in alcuni casi di 0,5 ed in altri di 1 cm, sono state effettuate mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione utilizzando un rivelatore planare al Germanio Intrinseco (G.I.) per il ^{210}Pb ed un rivelatore coassiale al G.I. per il ^{137}Cs .

Risultati e Discussione

Radiocarbonio

Soltanto quattro carote (Z145, NK3, BOK6 ed OM3) presentano più di un livello databile con il radiocarbonio (Tab. 1), pertanto è stata calcolata la velocità di sedimentazione solo in queste carote.

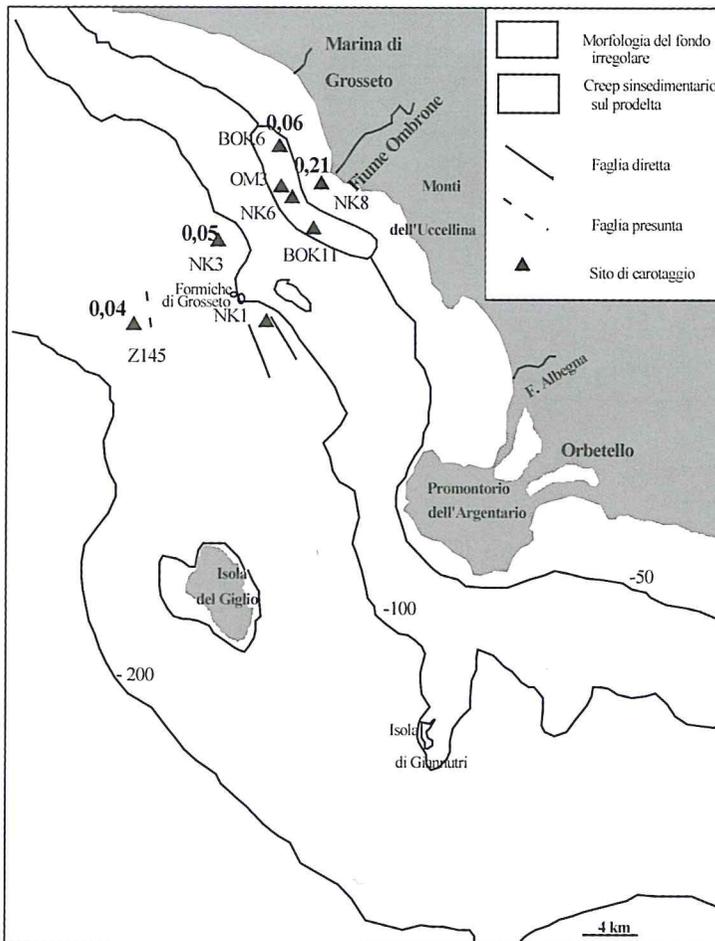


Figura 5 - Siti delle carote analizzate e velocità di sedimentazione preistoriche (valori in grassetto, cm/anno) ottenute con le datazioni C-14.

Infatti, un solo livello datato non permette di ricavare un valore attendibile della velocità di sedimentazione in quanto le top-ages (età dei livelli sedimentari superficiali) sono sempre diverse da zero: in particolare, l'apparente invecchiamento del fondale marino è causato dal tempo naturale di deposizione del Carbonio dalla colonna d'acqua sovrastante (effetto reservoir), da fenomeni di rimaneggiamento e bioturbazione, e dalla perdita meccanica di sedimento che avviene durante il carotaggio. Tale perdita è dimostrabile anche dall'assenza di ^{137}Cs nel livello sommitale delle carote esaminate. Le 4 carote databili sono quasi allineate lungo un transetto a distanza crescente dalla foce del fiume. Le carote OM3 ed BOK6 sono state ottenute ad una distanza rispettivamente di circa 3 e 6 km dalla foce, NK3 a circa 11 km e Z145, la più distale, a più di 20 km (Fig. 5).

Le velocità di sedimentazione risultano comprese tra 0,04 e 0,06 cm/anno tranne che per le carote OM3, per la quale si è ottenuto un valore di 0,21 cm/anno intorno ai 6000 anni B.P., e per la carota BOK6 nella quale, intorno ai 6400 anni B.P., si è avuta una deposizione quasi simultanea di sedimento per circa un metro di spessore. Questi valori sono dovuti probabilmente al fatto che le carote sono state prelevate all'interno di una zona di creep sinsedimentario sul prodelta del fiume Ombrone, zona che potrebbe essere stata interessata da accumuli improvvisi di materiale franato.

Le velocità di sedimentazione di tutte le altre carote si riferiscono ad un periodo compreso tra i 6000 e i 3000 anni B.P. circa, tranne che per la carota Z145, la cui velocità di sedimentazione si riferisce ad un periodo compreso tra 9000 e 5000 anni B.P. Le velocità di sedimentazione calcolate si riferiscono quindi ad un periodo in cui era assente una sensibile influenza antropica sull'ambiente e la loro distribuzione varia in modo congruente con la distanza dalla foce dei punti di campionamento.

Disequilibrio radioattivo $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$

I risultati delle datazioni sui campioni di molluschi della carota NK3 sono riportati in Tabella 2. Le età ottenute sono rispettivamente di 2750 anni B.P. (*Cassidaria echinophora*) e 6300 anni B.P. (*Ostrea*), età da cui è possibile calcolare una velocità di sedimentazione pari a 0,073 cm/anno, coerente quindi con quella calcolata con il ^{14}C per la medesima carota anche se in un intervallo di tempo non identico (Fig. 2).

Tabella 1 – Radiocarbonio: risultati delle analisi.

Sigla lab.	Campione	Profondità (cm)	Età (anni BP)	Età calibrata (anni BP)	$\Delta^{13}\text{C}$ (PDB)
R-2799	C-NK8	121-140	20'937 ± 213	—	-1.68
R-3147*	O-OM3	170-180	4'850 ± 70	5'648 ± 5489	—
R-3148*	O-OM3	295-305	5'373 ± 69	6'278 ± 6'038	-24.78
R-2795	C-NK6	6-29	18'524 ± 152	21'891 ± 21'386	-1.40
R-2407	C-NK6	148-170	18'376 ± 105	21'665 ± 21'235	-1.66
R-2408	C-NK6	335-360	19'458 ± 140	—	—
R-2975	C-BOK11	2-27	18'920 ± 157	—	-1.41
R-2981	C-BOK11	132-160	17'620 ± 200	20'774 ± 20'082	-1.97
R-2983	C-BOK11	242-268	17'415 ± 183	20'463 ± 19'815	-2.13
R-3113	O-BOK11	242-268	5'465 ± 69	6'305 ± 6'196	-24.54
R-2982	C-BOK6	2-34	16'130 ± 159	18'795 ± 18'435	-1.75
R-2986	C-BOK6	122-150	17'580 ± 174	20'691 ± 20'057	-1.53
R-2987	C-BOK6	222-250	17'245 ± 165	20'185 ± 19'609	-2.08
R-2431*	O-BOK6	2-34	2'715 ± 51	2'854 ± 2'760	-25.62
R-2434*	O-BOK6	122-150	5'570 ± 75	6'410 ± 6'294	-26.02
R-2436	O-BOK6	222-250	5'625 ± 65	6'460 ± 6'313	-26.21
R-2796	C-NK3	100-120	12'339 ± 142	14'129 ± 13'723	-1.50
R-2902	C-NK3	230-245	11'485 ± 99	13'104 ± 12'892	-1.10
R-2903	C-NK3	355-365	13'746 ± 140	16'167 ± 15'792	-0.75
R-2909*	O-NK3	100-120	3'395 ± 193	3'873 ± 3'394	-24.72
R-2908*	O-NK3	230-245	5'390 ± 113	6'296 ± 5'995	-23.76
R-2794	C-NK1	0-23	13'207 ± 110	15'347 ± 14'886	-0.97
R-2797	C-NK1	120-143	10'795 ± 74	12'411 ± 12'149	-1.09
R-2911	O-NK1	120-143	2'857 ± 67	3'068 ± 2'865	-22.44
R-2995	C-Z145	4-32	8'760 ± 86	9'456 ± 9'326	-0.43
R-2996	C-Z145	164-192	10'945 ± 90	12'584 ± 12'344	-0.59
R-3100	C-Z145	364-392	29'790 ± 740	—	—
R-2438*	O-Z145	4-32	4'388 ± 94	5'211 ± 4'850	-23.55
R-2439*	O-Z145	164-192	8'034 ± 121	9'141 ± 8'650	-23.50
R-2440	O-Z145	364-392	>37'600	—	-25.00

O = frazione organica; C = frazione carbonatica; * campioni utilizzati per calcolare il tasso di sedimentazione.

Tabella 2 - Risultati delle analisi su *Ostrea* e *Cassidaria Echinophora*. I rapporti isotopici sono espressi in termini di attività radiometrica. L'età è espressa in anni.

Campione	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	U_{ppm}	Profondità (cm)	Età ($\pm 1\sigma$)
<i>Ostrea</i>	0,057 ± 0,002	15.0 ± 1.5	1,126 ± 0,013	2.38 ± 0.06	-395	6320 ± 170
<i>Cassidaria</i>	0,025 ± 0,004	>30	1,170 ± 0,074	0.35 ± 0.02	-140	2750 ± 450
<i>Echin.</i>						

Metodo dell'eccesso del ^{230}Th

Dalla Figura 6 si osserva che la concentrazione di Torio è inversamente correlata al rapporto di attività $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$. Inoltre tale rapporto tende a diminuire nei livelli più superficiali. Questo andamento è l'opposto di quello teorico che si avrebbe se il Torio fosse principalmente di origine marina.

In realtà, il torio presente nei sedimenti è riconducibile totalmente a quello terrigeno, che nella zona tosco-laziale è prevalentemente associato alle vulcaniti quaternarie alcalino potassiche a contenuto in Th assai elevato (Locardi e Siriana, 1985) presenti nei bacini di alimentazione dell'Ombrone e degli altri corsi d'acqua immediatamente a sud dell'Ombrone (Albegna, Fiora, Mignone, Tevere) il cui carico solido può essere trasportato verso la zona in studio. Quindi l'andamento potrebbe essere spiegato con l'aumento nel tempo dell'erosione delle vulcaniti dell'area per azione antropica.

^{137}Cs e ^{210}Pb

Le velocità di sedimentazione misurate vanno da un minimo di 0,07 cm/anno ad un massimo di 0,60 cm/anno con una media di circa 0,28 +/- 0,16 (^{210}Pb) e 0,27 +/- 0,16 (^{137}Cs) cm/anno (Tab. 3).

Le velocità misurate nelle tre carotine di confronto differiscono tra il 3 ed il 24%, una differenza che può ritenersi pienamente accettabile tenendo presente le assunzioni fatte precedentemente.

La distribuzione spaziale delle velocità di sedimentazione ricostruita con il metodo di interpolazione del *kriging ordinario* (Franceschi et al., 1996) (Fig. 7), consente di osservare un massimo di velocità a SE della foce dell'Ombrone, immediatamente a NO del Monte Argentario, ed una tendenza costante al decremento in direzione NO e O. In sostanza le linee di isovelocità tendono a disporsi quasi perpendicolarmente rispetto alla linea di costa a Nord della foce dell'Ombrone per poi assumere un andamento parallelo alla costa in prossimità della stessa foce.

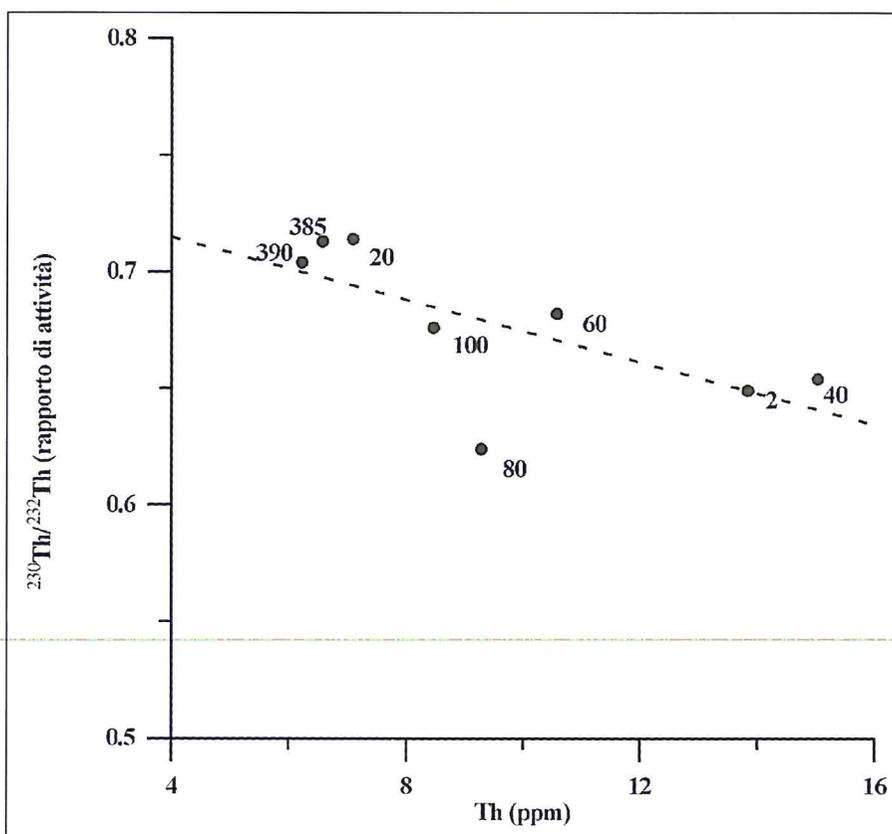


Figura 6 - Andamento del rapporto di attività $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ con la concentrazione di Th nella carota NK3. I numeri accanto ai simboli rappresentano la profondità (in cm) dei campioni all'interno della carota.

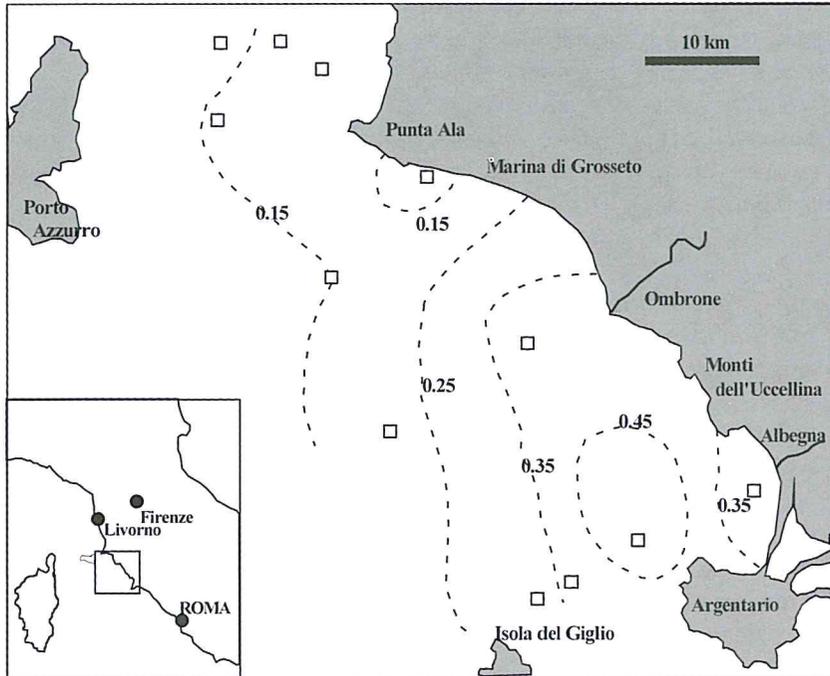


Figura 7 - Carta delle velocità di sedimentazione attuale (cm/anno). I quadrati rappresentano i punti di prelievo delle carotine. La sedimentazione totale annuale nell'area all'interno della quale insistono le isolinee tratteggiate è fdi circa 4,4 milioni di metri cubi di sedimenti. Si noti il massimo valore di velocità a NO del promontorio dell'Argentario.

Tabella 3 - Velocità di sedimentazione attuali ottenute con i metodi del ^{210}Pb e del ^{137}Cs (cm/anno).

Campione	¹ v.s. ^{210}Pb	¹ v.s. ^{137}Cs	² Subcamp. ^{210}Pb	² Subcamp. ^{137}Cs
A15f	0,28	—	5	—
FO6	0,068	—	7	—
FO8	0,16	—	5	—
A5	0,38	—	8	—
FO14	—	0,25	—	16
B6M	—	0,43	—	16
B6O	—	0,19	—	16
I12	—	0,15	—	16
F12	—	0,13	—	16
A7	0,58	0,60	5	13
A4	0,28	0,22	5	16
FO17	0,23	0,24	6	12

¹ velocità di sedimentazione espressa in cm/anno
² numero di subcampioni analizzati con il metodo ^{210}Pb e con il metodo ^{137}Cs .

I valori misurati della velocità di sedimentazione attuale sono notevolmente più alti di quelli ottenuti dalle datazioni con il ^{14}C e con il metodo del $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$. Questa differenza può avere una causa antropica, riconducibile ad attività che hanno causato nel tempo velocità di erosione più alte. Una situazione analoga è stata osservata nel bacino di sedimentazione del Po (Albertazzi et al., 1984) dove le velocità di sedimentazione in periodi preistorici (0,11 cm/anno) sono di un ordine di grandezza più basse di quelle attuali misurate con il ^{137}Cs (0,6–2 cm/anno).

Considerando la larghezza del picco del ^{137}Cs relativo all'evento di Chernobyl nelle carote B6m e A7, caratterizzate da alti tassi di sedimentazione, si può calcolare un tempo medio di trasferimento attuale del particolato fine dal bacino di erosione a quello di sedimentazione di circa 5,5 anni. Infine, considerando quale zona del bacino di sedimentazione del delta dell'Ombrone quella delimitata dai punti dei campioni analizzati e sommando i prodotti della velocità misurata per l'area di isovelocità corrispondente si è calcolato un tasso di materiale trasportato nel bacino pari a circa 4,4 milioni di metri cubi all'anno relativo agli ultimi 50 anni.

Conclusioni

L'approccio con diverse metodiche radiometriche ha consentito di investigare campi temporali differenti operando sulle molteplici componenti del sedimento.

I metodi radiometrici utilizzati hanno permesso di mettere in evidenza una differenza di quasi un ordine di grandezza tra la velocità di sedimentazione nel passato (circa 0,05 cm/anno nel periodo tra 9000-3000 anni B.P.) e nel presente (circa 0,3 cm/anno tra 50-0 anni B.P.). Non si può escludere che questa differenza rappresenti una oscillazione elevata dovuta a fattori naturali. Tuttavia considerando le variazioni del livello del Mar Tirreno negli ultimi 2000 anni (Alessio et al., 1996) si nota un tasso del sollevamento del livello del mare crescente che non dovrebbe essere un fattore di aumento dell'erosione naturale. Pertanto la differenza della velocità di sedimentazione rilevata, che corrisponde anche ad un ordine di grandezza maggiore della velocità di erosione nel passato rispetto a quella attualmente esistente all'interno del bacino idrogeologico del fiume Ombrone, è legata con tutta probabilità all'influenza antropica.

Per quanto riguarda l'attuale distribuzione areale delle velocità di sedimentazione è stato messo in evidenza che a NO del promontorio dell'Argentario esiste una zona di elevata velocità (circa 0,50 cm/anno) da ricondurre all'azione delle correnti dirette verso SE e all'apporto detritico del Fiume Albegna. Infine si è potuto stimare un volume complessivo di materiale sedimentato di circa 4,4 milioni di m^3 /anno nell'area delimitata dai punti di prelievo dei campioni che corrisponde grossolanamente all'intero areale di deposizione dell'Ombrone. Questo valore non è da ricondurre soltanto al materiale trasportato dall'Ombrone ma anche a quello trasportato in zona dalle correnti dirette verso NO e proveniente da corsi d'acqua più meridionali, dall'Albegna al Tevere.

Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Panucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Palmieri E., Picazzo M. e Pranzini E. (1975) - *Il trasporto litoraneo lungo la costa Toscana tra la foce del fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina*. Bollettino Società Geologica Italiana, 94: 1519-1571.
- Albertazzi S., Bopp R.F., Frignani M., Hieke Merlin O., Menegazzo Vitturi L., Ravaioli M., Simpson H.J., Tassi Pelati L. e Triulzi C. (1984) - *Cs- 137 as a tracer for processes of marine sedimentation in the vicinity of the Po river delta (Northern Adriatic Sea)*. Memorie della società geologica Italiana, 27: 447-459.
- Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Improta S., Manfra L. e Preite M. (1996) - *La curva di risalita del Mare Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici*. Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, 52: 235-256.
- Bartolini C. (1983) - *Riduzione dell'apporto solido dei corsi d'acqua ed erosione dei litorali. Il caso del Cecina e quello dell'Ombrone*. Estr. del XII Congresso Geografico Italiano, Catania, 2: 3.
- Franceschi N., Gabbani G. e Gargini A. (1996) - *Analisi geostatistica di misure elettromagnetiche rilevate su griglia di campionamento regolare: un'applicazione idrogeologica*. Atti del V Workshop di Informatica Applicata alle Scienze della Terra, San Sepolcro, settembre 1996, 215-227.
- Goldberg E.D. e Koide M. (1962) - *Geochronological studies of deep sea sediments by the ionium-thorium method*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 26: 417-450.
- Innocenti L. e Pranzini E. (1993) - *Geomorphological evolution and sedimentology of the Ombrone river delta, Italy*. Journal of Coastal Research, 9: 2.

- Locardi E. e Sircana S. (1985) - *Distribuzione dell'Uranio e del Torio nelle vulcaniti quaternarie alcaline del Lazio Settentrionale*. Rendiconti Società Mineralogica Italiana, 15: 163-224.
- Pasquarè G., Chiesa S., Vezzoli L. e Zanchi A. (1983) - *Evoluzione paleogeografica e strutturale di parte della Toscana meridionale a partire dal Miocene Superiore*. Memorie della Società Geologica Italiana, 25: 145-157.
- Robbins J.A. and Edgington D.N. (1975) - *Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-²¹⁰ and Cs-137*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 39: 285-304.
- Romano P., Santo A. e Voltaggio M. (1994) - *L'evoluzione geomorfologica della pianura del fiume Volturno (Campania) durante il tardo Quaternario (Pleistocene medio-superiore-Olocene)*. Il Quaternario, 7: 1A: 41-56.
- Stuiver M. and Reimer P.T. (1993) - *Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program*. Radiocarbon, 35, 1: 215-230.

Manoscritto ricevuto il 16/7/2001, accettato il 28/8/2001.