

STUDIO PRELIMINARE DEI SEDIMENTI DELLA PIATTAFORMA COSTIERA NELLA ZONA DELLA FOCE DEL GARIGLIANO

Confronto fra la distribuzione di alcuni radionuclidi ed i caratteri granulometrici e mineralogici

B. ANSELMI, O. FERRETTI

Laboratorio Geologia Ambientale RAD/CNEN, Casaccia

C. PAPUCCI

Laboratorio Ambiente Marino del CNEN, Fiascherino

RIASSUNTO. — Nell'ambito delle ricerche ambientali condotte dal CNEN sono stati presi in esame i sedimenti costieri della piattaforma corrispondente alla foce del Garigliano. Lo studio ha avuto carattere preliminare e orientativo ed è stato articolato su due linee principali:

- ricerche sulla dinamica costiera mediante l'esame dei caratteri granulometrici e mineralogici dei sedimenti (fascia subacquea fino alla batimetrica dei 10 m);
- riconoscimento del comportamento di alcuni radionuclidi (^{137}Cs e ^{60}Co) in relazione alle variazioni morfologiche locali e al quadro sedimentologico-mineralogico connesso.

La prima fase di studio ha portato all'individuazione di una zona di accumulo sedimentario a nord della foce del Garigliano e di una zona generalmente in fase di equilibrio, con qualche situazione locale di erosione, a sud della foce. La distribuzione dei minerali pesanti sulla piattaforma ha permesso di riconoscere due zone soggette relativamente all'influenza del F. Garigliano e del F. Volturno.

Dal confronto fra i dati radiometrici e quelli granulometrici e mineralogici è emersa l'usuale associazione di tenori più elevati in radionuclidi con le particelle sottili e di una meno marcata associazione con alcuni minerali argillosi specifici.

ABSTRACT. — Studies have been conducted by CNEN on the sediments of coastal shelf included between the Gulf of Gaeta and the river of Volturno.

The purpose of the work was:

- the examination of the granulometric and mineralogical characteristics of the alluvial and coastal sediments to determine the direction of the dominant coast current;
- the relation between the distribution of radio-

nuclides and the sedimentological traits of the coastal sediments.

The first part of the work has allowed to identify a concentration area at North of the river Garigliano and an erosion area at South.

The different areas, on the offshore, have been distinguished on the basis of different associations of heavy minerals.

The comparison among the radiometric, granulometric and mineralogical dates, has showed that the distribution of radionuclides is, essentially function of granulometric variations.

Introduzione

Nell'ambito delle ricerche ambientali condotte dal CNEN sono stati presi in esame i sedimenti costieri della piattaforma corrispondente alla foce del Garigliano.

Lo studio, che ha avuto carattere preliminare e orientativo è stato articolato su due linee principali:

- ricerche sulla dinamica costiera (fascia litorale fino alla batimetrica dei 10 m) sulla base dei caratteri granulometrici dei sedimenti e della distribuzione dei minerali pesanti nella loro funzione di traccianti naturali (1^a Serie);
- verifica del comportamento di alcuni radionuclidi nelle diverse situazioni morfologiche costiere nonché dell'associazione preferenziale fra i radionuclidi e determinate caratteristiche granulometriche e mineralogiche dei sedimenti (2^a Serie).

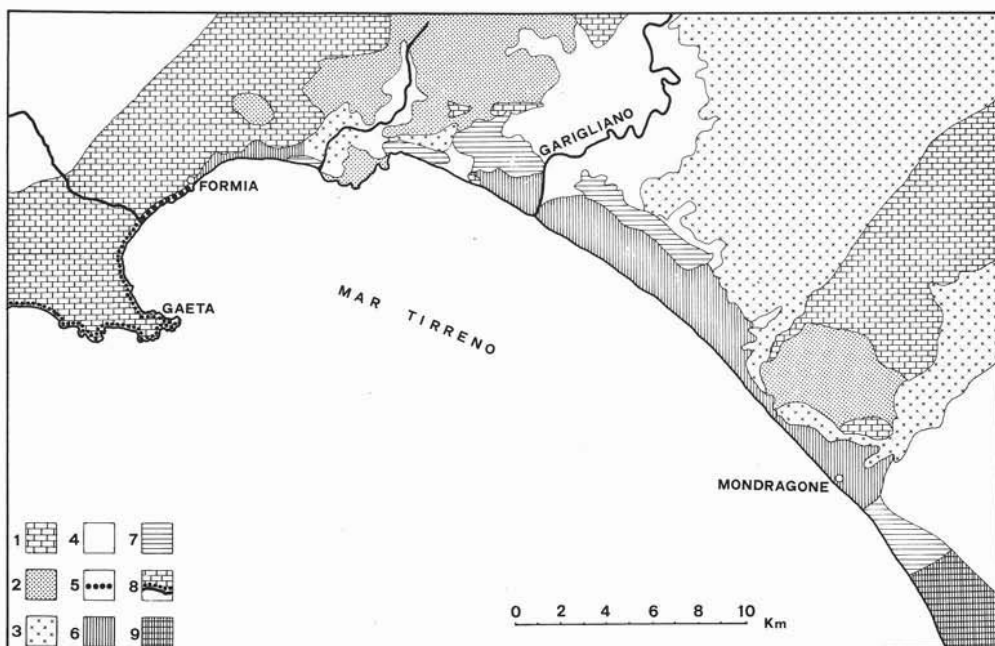


Fig. 1. — Schema litologico e morfotipi costieri. - *Litologia*: 1: Rocce carbonatiche; 2: Rocce sedimentarie clastiche; 3: Rocce vulcaniche; 4: Alluvioni. *Tipi di coste*: 5: Pianura di fiumara; 6: Pianura alluvionale palustre; 7: Pianura di dune; 8: Costa alta carbonatica; 9: Costa mista del tipo 6 e 7.

Morfologia costiera e cenni geologici

Nell'area in esame sono presenti due dei sei tipi costieri fondamentali presenti nel territorio italiano (BRONDI, ANSELMi, FERRETTI, 1978): *a*) la zona di Gaeta; *b*) un'area di pianura alluvionale a costa rettilinea, estesa dalla foce del Garigliano fino al Golfo di Napoli e presentante situazioni distinte di foce e di laguna.

La morfologia sottomarina appare piuttosto uniforme ed è caratterizzata da fondi sabbiosi con andamenti regolari, turbati solo dall'apparato deltizio del Volturno e, in maniera molto più attenuata, da quello del Garigliano. Una certa variabilità, nelle zone di bassa profondità, è dovuta alla presenza dei resti dell'antica città di Minturno, sommersa dal mare. Le ingenti alterazioni morfologico-ambientali dell'area del golfo di Gaeta sono dovute all'attività umana.

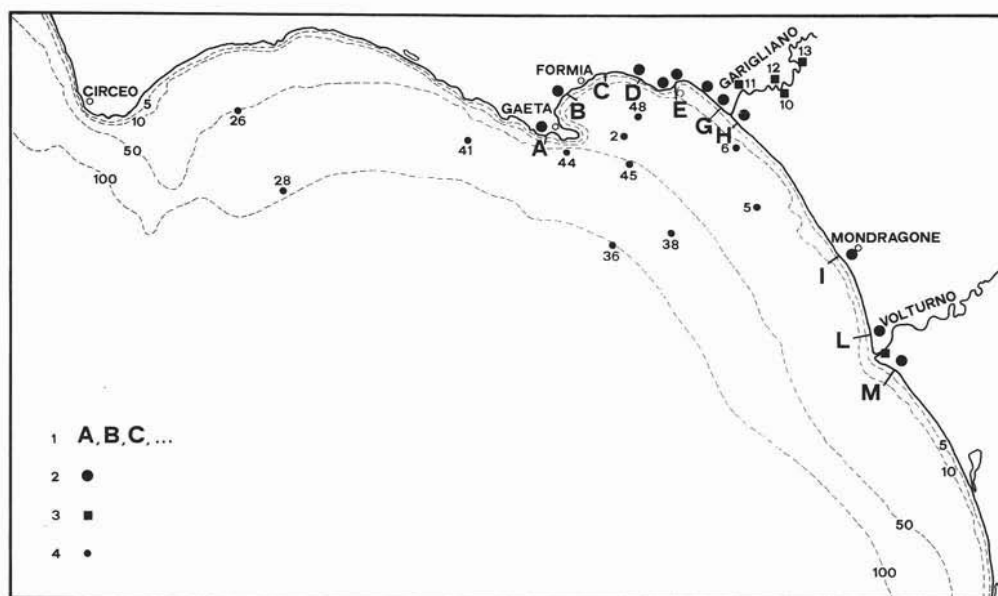
Le formazioni litologiche che affiorano nella zona sono essenzialmente rocce vulcaniche, rocce carbonatiche e rocce sedimentarie clastiche (fig. 1). Nella porzione settentrionale, Golfo di Gaeta, affiorano le formazioni carbonatiche; ai lati del Garigliano, formazioni

sedimentarie arenacee e argillose sono presenti sul versante destro, formazioni vulcaniche del complesso eruttivo di Roccamonfina sul versante sinistro.

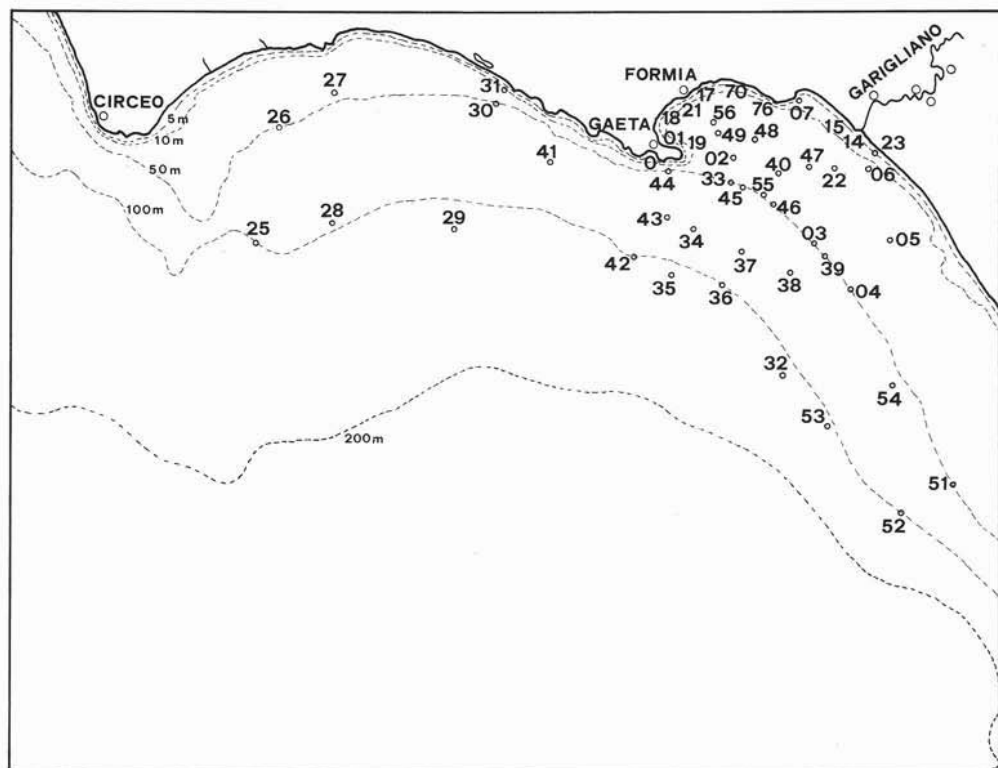
Il bacino del Volturno è caratterizzato esclusivamente, nella parte terminale, da affioramenti vulcanici dello stesso complesso. Gli affioramenti costieri vulcanici fra la foce del Garigliano e quella del Volturno sono intervallati da rocce carbonatiche e arenacee.

Campionamento

Il campionamento effettuato si estende dal promontorio del Circeo fino alla foce del Volturno (fig. 2 *a*-2 *b*). Sono stati prelevati mediante benna, campioni di sedimenti marini lungo 11 filari perpendicolari alla costa alle batimetriche di 1, 5, 10 m (1ª Serie); altri prelevamenti, mediante benna e carotatore, sono stati effettuati alle profondità di 25, 50, 100 m (2ª Serie); questi ultimi campioni non sono stati prelevati secondo un criterio geometrico ma in base alle variazioni sedimentologiche della piattaforma e in particolare rivolgendo la massima attenzione all'area della foce del Garigliano e l'in-



a)



b)

Fig. 2 (a, b). — Campionamento (I Serie - II Serie).

terno del golfo di Gaeta.

Alcuni campioni di sedimenti alluvionali sono stati prelevati alla foce del Volturno e lungo il tratto terminale del Garigliano.

Metodi di analisi

I campioni alluvionali, di spiaggia e di piattaforma, fino alla batimetrica dei 10 m (1^a Serie), sono stati sottoposti ad analisi granulometrica e mineralogica. L'analisi granulometrica della frazione grossolana è stata effettuata mediante stacciatura, quella della frazione sottile mediante l'idrofotometro e il sedigrafo; dai dati ottenuti sono stati ricavati i parametri granulometrici: dimensione media, classamento, skewness e kurtosis.

L'analisi mineralogica della frazione pesante è stata effettuata mediante separazione gravimetrica e magnetica e successivi esami al microscopio.

I campioni alluvionali e una serie di campioni di piattaforma (2^a Serie) sono stati analizzati, per via diffrattometrica, per la determinazione della composizione mineralogica fondamentale (% quarzo, % Na e K-feldspato e % carbonati) e quella della frazione argillosa.

È stata determinata la distribuzione orizzontale e verticale dei radionuclidi artificiali γ -emettitori (^{137}Cs ^{60}Co) sia analizzando la stessa serie di campioni, che altri prelevati a questo scopo. Campioni provenienti da diversi livelli di una carota prelevata alla profondità di 50 m nel Golfo di Gaeta, sono stati esaminati per le distribuzioni dei radionuclidi e per la determinazione della composizione mineralogica della frazione argillosa.

Le misure dei radionuclidi sono state effettuate con rivelatori al Ge(Li) di 50 cm³, con efficienza del 15 % e risoluzione 2 KeV. I campioni, misurati in media per 24 ore, vengono spettrati su un sistema LABEN a 2048 canali, analizzando un intervallo di energie comprese fra i 75 ed i 1900 KeV. Dopo l'acquisizione, lo spettro è elaborato automaticamente per la ricerca dei picchi significativi ed il riconoscimento del nucleo associato. Per i nuclidi riconosciuti vengono espresse le concentrazioni (pCi/kg peso secco, per i sedimenti) e gli errori associati (2,5 σ).

TABELLA 1

Parametri granulometrici (I serie di campioni)

N°	Mz	Sd	Sk	Kg
FILARE A				
a	2.04	0.31	0.34	0.79
b	2.01	0.51	- 0.10	1.16
c	2.10	0.46	- 0.04	1.19
d	2.26	0.51	- 0.09	1.33
FILARE B				
a	2.16	0.42	- 0.10	1.19
b	2.44	0.49	- 0.03	1.26
c	2.53	0.51	- 0.16	0.99
d	5.76	1.92	0.27	0.75
FILARE C				
c	2.41	0.83	- 0.25	1.91
d	2.87	0.84	- 0.01	1.10
FILARE D				
a	2.44	0.29	0.13	0.96
c	2.33	0.46	- 0.04	1.35
d	2.76	0.72	0.22	1.00
FILARE E				
a	2.45	0.41	- 0.013	0.93
b	2.52	0.41	- 0.06	0.91
c	2.47	0.44	0.01	1.01
d	3.04	0.69	0.16	1.17
FILARE F				
a	2.20	0.36	0.07	0.93
b	2.11	0.61	- 0.19	1.23
c	2.90	0.56	- 0.08	1.27
d	2.87	0.56	- 0.08	1.56
FILARE G				
a	1.62	0.60	- 0.10	1.09
b	2.32	0.70	0.08	1.34
c	2.80	0.86	0.12	1.42
d	5.84	1.43	0.12	1.75
FILARE H				
a	1.30	0.67	- 0.14	1.23
b	2.20	0.54	- 0.07	1.19
c	3.10	0.99	0.24	1.30
d	3.71	1.18	0.52	1.80
FILARE I				
a	2.18	0.38	-0.027	1.04
b	2.17	0.47	- 0.14	1.23
c	2.31	0.70	- 0.30	1.51
d	2.36	0.68	- 0.22	1.59
FILARE L				
a	1.82	0.47	0.006	1.23
b	1.69	0.61	- 0.12	1.11
c	2.80	0.42	- 0.09	1.29
d	2.84	0.44	- 0.15	1.62
FILARE M				
a	1.63	0.56	-0.002	1.08
b	1.46	0.56	0.018	1.13
c	1.77	0.60	0.13	1.08
d	2.69	0.76	- 0.41	1.80
Spiegia Scauri				
	2.61	0.36	- 0.28	0.81
" Minturno				
	2.03	0.43	0.21	1.19
11	5.08	1.98	0.27	2.38
12	1.78	0.57	0.09	1.00
13	3.26	1.74	0.57	1.39

Risultati granulometrici e mineralogici dei campioni della 1^a Serie

Dati granulometrici

Nella tabella 1 sono riportati i valori dei parametri granulometrici. Nelle figure 3 (a, b) sono riportate le distribuzioni sulla piattaforma costiera della dimensione media (Mz), dello skewness (Sk); i valori del classamento e del kurtosis non sono stati messi in carta

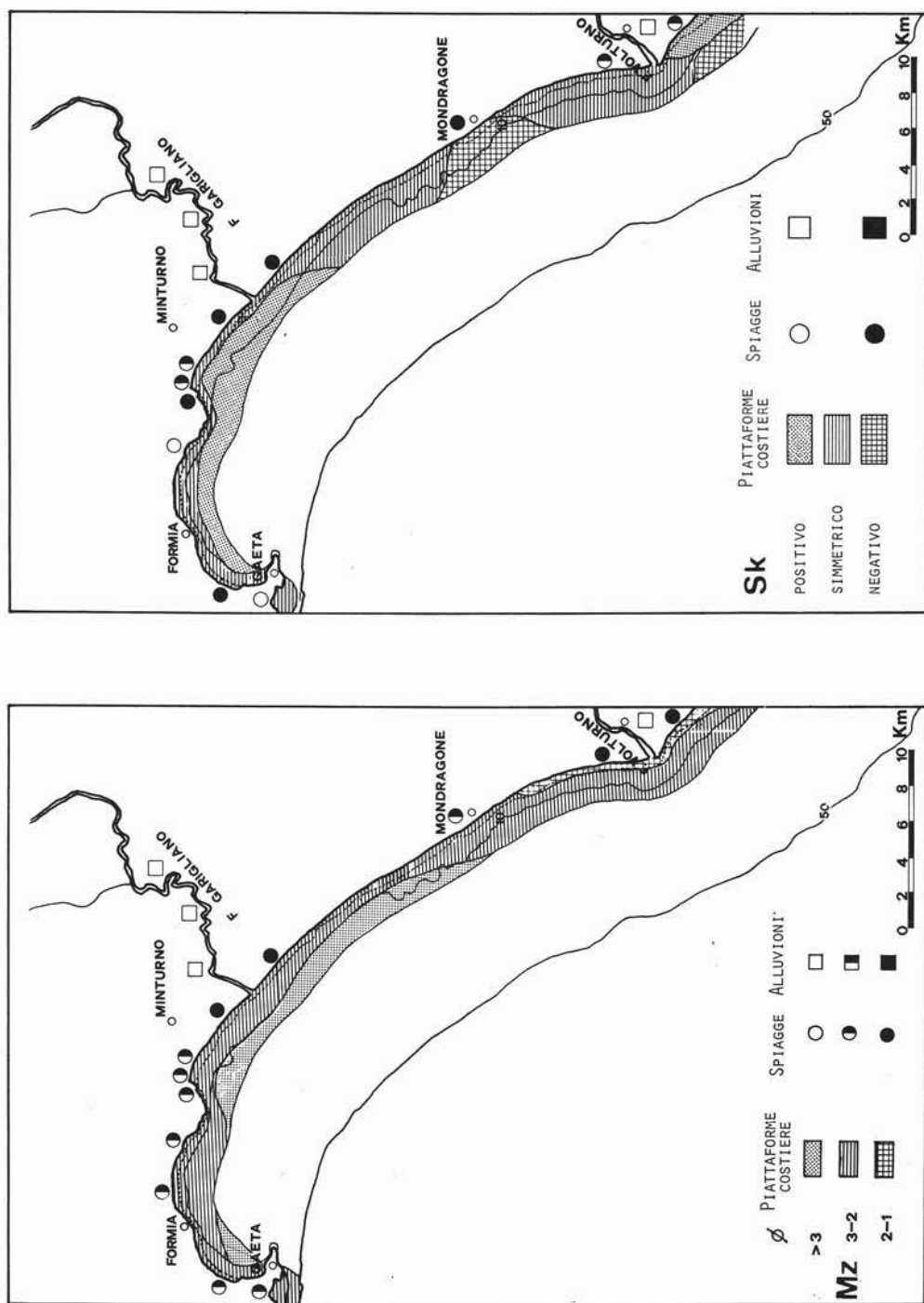


Fig. 3 (a, b). — Parametri granulometrici (Mz e Sk).

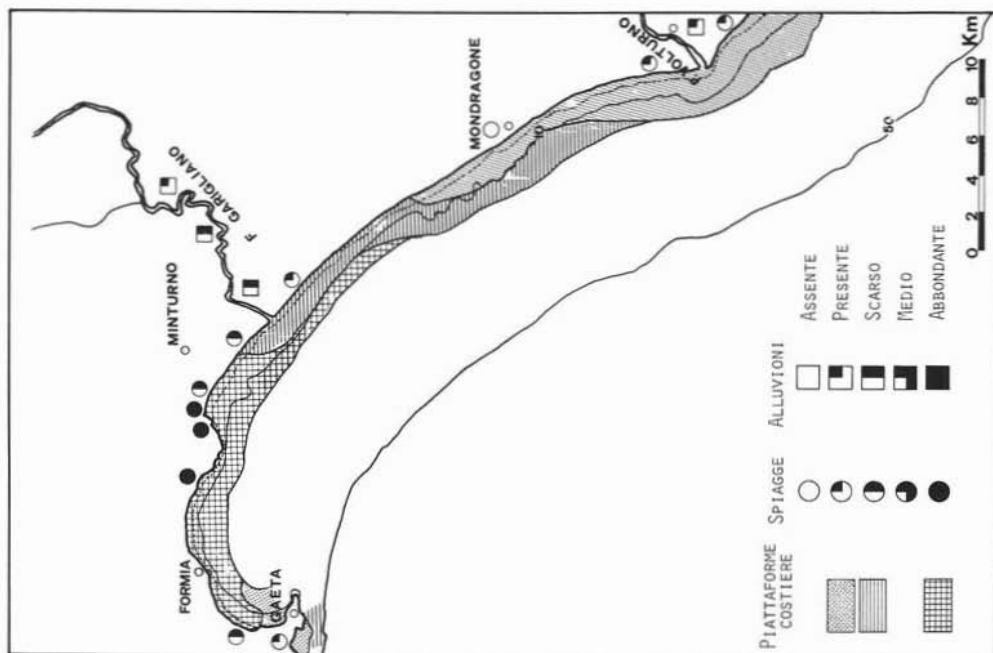


Fig. 5. — Distribuzione di titanite.

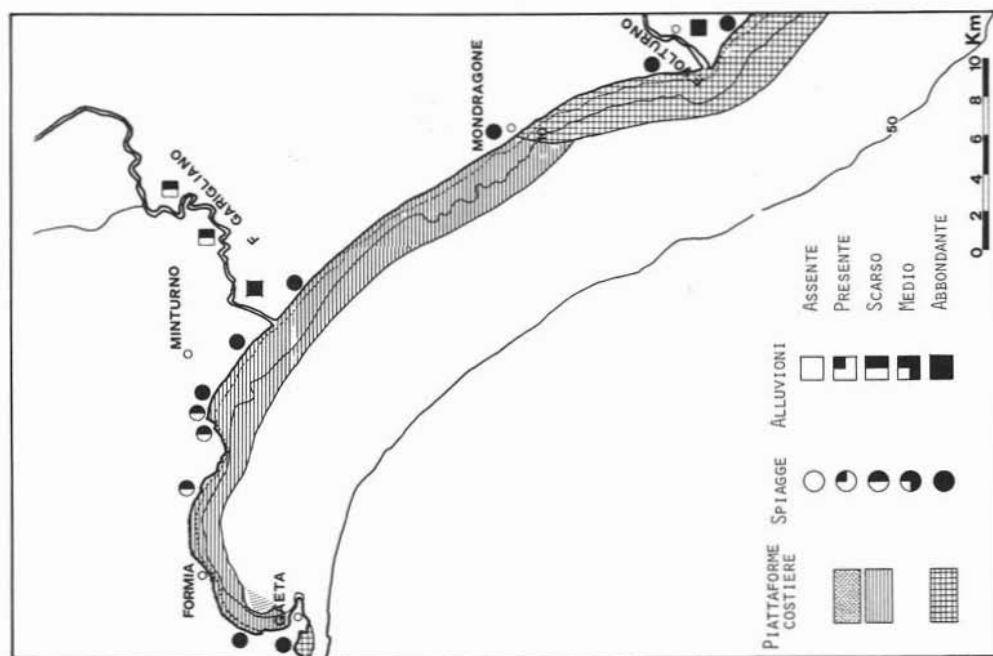


Fig. 4. — Distribuzione % della frazione pesante.

TABELLA 2
Composizione mineralogica % della frazione pesante (I serie di campioni)

	FP	Magn.	Pir	Gran auri	Gran chiaro	Stau	Tit	Apat	Zirc	Rut	Cian	Altri
FILARE A												
a	0,05	10	70	5	5	5	5	5	5	1	1	
b	0,15	10	60	15	5	5	5	5	5	5	5	
c	0,08	12	65	5	3	3	3	3	3	1	1	Andesite
d	0,05	15	60	5	5	5	5	5	5	5	5	
FILARE B												
a	0,10	10	85	10	5	5	5	5	5	5	5	Corundone
b	0,20	35	30	15	20	15	2	1	3	2	5	Staurolite
c	0,25	40	20	15	15	15	5	1	2	2	5	
d	0,50	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	Forssite
FILARE C												
a	0,25	10	40	20	20	5	5	2	2	2	5	Corundone
b	0,25	10	40	20	15	5	5	2	2	2	5	
FILARE D												
a	0,10	10	50	15	15	5	5	5	5	5	5	
b	0,25	5	45	25	20	5	5	5	5	5	5	
c	0,25	10	35	30	20	5	5	5	5	5	5	
FILARE E												
a	0,20	10	50	30	10	5	5	5	5	5	5	
b	0,20	5	40	35	15	5	5	5	5	5	5	
c	0,25	10	40	30	10	5	5	5	5	5	5	
FILARE N												
a	20	50	45	5	5	5	5	5	5	5	5	olivina
b	1	10	75	5	5	5	5	5	5	5	5	
c	1,5	25	40	5	5	5	5	5	5	5	5	
d	0,6	20	45	5	5	5	5	5	5	5	5	
Spiegna												
Scarsi	0,05	21	40	5	15	5	5	5	5	5	5	corundone
Spiegna												
Moltissimi	2	25	40	10	10	5	5	5	5	5	5	corundone
11												
12	1	25	40	10	10	5	5	5	5	5	5	
13	1	25	40	10	10	5	5	5	5	5	5	
Volturno	0,5	10	75	5	5	5	5	5	5	5	5	

FP = Frazione Pesante; Magn = magnetite;
Pir = pirosseni; Gran = granato; Stau = staurolite;
Tit = titanite; Apat = apatite; Zirc = zirconio;
Rut = rutile; Cian = cianite.

in quanto poco significativi e piuttosto uniformi.

La dimensione media (Mz) (fig. 3 a) presenta una diminuzione regolare dalla costa verso la batimetrica dei 10 m. Nel complesso i sedimenti dell'area meridionale risultano mediamente più grossolani. I campioni di spiaggia hanno dimensioni grossolane mentre quelli alluvionali hanno dimensioni sottili.

Il classamento (σ) presenta valori medi e piuttosto uniformi; i sedimenti di piattaforma sono mediamente classati, con l'eccezione

di quelli molto classati del Golfo di Gaeta e della zona di Serapo e di quelli poco classati dell'area della foce del Garigliano. I sedimenti di spiaggia sono molto classati, quelli alluvionali scarsamente classati.

Lo skewness (Sk) (fig. 3 b) presenta valori negativi o simmetrici per i campioni di piattaforma dell'area meridionale; ha valori positivi dalla foce del Garigliano procedendo verso nord. I campioni di spiaggia presentano skewness negativi generalmente, quelli alluvionali sempre positivi.

Come conclusione la distribuzione granulometrica è regolare e manifesta diminuzione delle dimensioni procedendo verso il largo. Il classamento è elevato e uniforme nonostante l'apporto poco classato dei due fiumi; i valori positivi dello Sk indicano stato di costa stabile e fenomeni di accumulo sedimentario nella zona settentrionale; i valori negativi indicano la presenza di tratti di costa sottoposti a erosione nell'area a sud del Garigliano, in un ambito generalmente stabile testimoniato da valori di Sk simmetrici.

Nel complesso quindi i parametri granulometrici confermano quanto deducibile dalla situazione morfologica e dal quadro idrodinamico costiero locale, che permettono appunto di prevedere una zona mediamente in equilibrio nella parte meridionale ed una zona di accumulo nel Golfo di Gaeta.

Dati mineralogici

Nella tabella 2 sono riportati i risultati delle analisi mineralogiche della frazione pesante. Nelle figure 4-5-6-7 sono illustrate le distribuzioni della quantità di frazione pesante e dei minerali pesanti più significativi.

La frazione pesante (fig. 4) presenta massimi di concentrazione alle foci dei fiumi Garigliano e Volturno, valori medi nel Golfo di Gaeta e valori minimi nell'area compresa fra i due fiumi.

Dall'esame delle distribuzioni dei singoli minerali si possono trarre le seguenti considerazioni:

- massimi di magnetite, titanite e zirconio caratterizzano l'area antistante la foce del Garigliano (fig. 5);
- massime concentrazioni di pirosseno e zirconio, con medi contenuti di titanite e magnetite, caratterizzano la foce del Volturno (fig. 6);

— l'area del Golfo di Gaeta (fig. 7) è caratterizzata dalla presenza di cianite, staurolite e massime concentrazioni di granati chiari.

Nel complesso esiste un trasporto litologico di materiali sabbiosi parallelo alla costa e diretto in senso SE-NW, ciò è particolarmente attestato dalla mancanza di diffusione verso sud dei minerali tipici del Golfo di Gaeta (fig. 8).

La collocazione dei limiti dei tratti costieri sotto l'influenza degli apporti terrigeni sono approssimati per la scarsa densità del campionamento e corrispondono alle aree di distribuzione dei minerali pesanti considerati. I materiali più leggeri e sottili presentano senza dubbio aloni di dispersione più ampi e interessano quindi anche aree lontane. I minerali pesanti più che l'estensione delle zone sotto l'influenza delle loro sorgenti, danno il senso della direzione di trasporto. Una diffusione ad esempio, di materiali sottili provenienti dal Volturno è da aspettarsi anche nel Golfo di Gaeta e oltre.

Risultati delle analisi granulometriche e mineralogiche dei campioni della 2ª Serie

Dati granulometrici

La tabella 3 riporta i dati granulometrici dei campioni esaminati. La figura 9 rappresenta la distribuzione delle percentuali di sabbia, limo e argilla mediante istogrammi rappresentativi di gruppi di campioni con caratteri granulometrici simili.

La figura 14 evidenzia le regolarità di distribuzione dei sedimenti che sono sabbiosi fino alla batimetrica dei 10 m, limosi fra i 25 e i 50 m e decisamente argillosi dopo i 50 m. Da notare nella zona del Promontorio del Circeo, uno spostamento dei sedimenti sabbiosi alle batimetrie dei 50 m e dei sedimenti essenzialmente limosi a quelle dei 100 m. Una diminuzione regolare delle granulometrie, procedendo normalmente alla costa esiste comunque in entrambi i casi.

Dati mineralogici

Nella tabella 4 sono riportati i dati della composizione mineralogica fondamentale; sono state determinate le percentuali di quarzo, Na e K-feldspati e carbonati. Nella figura 10 sono riportati gli istogrammi con le per-

TABELLA 3
Composizione granulometrica %
(II serie di campioni)

N.	SABBIA	LIPO	ARGILLA
2	2,55	63,55	34,00
5	78,40	19,20	2,40
6	68,10	25,60	6,10
7	90,00	6,00	4,00
26	67,75	18,40	13,80
28	45,55	19,00	35,45
36	0,50	42,90	56,40
38	0,50	43,80	55,70
41	0,50	44,50	54,70
44	3,50	50,20	46,30
45	0,50	59,50	40,00
48	75,20	19,10	5,70

TABELLA 4
Composizione % mineralogica fondamentale
(II serie di campioni)

N.	Quarzo	K Feldspato	Na Feldspato	Calcite	Dolomite
2	8	P	P	10	1
5	25	10	5-10	12	<5
6	25	10	5-10	12	<5
7	25	10	5-10	12	<5
26	10	12	5-10	15	1
28	25	10	5-10	10	-
36	5	-	-	8	-
38	5	P	P	8	P
41	5	P	P	8	-
44	8	P	-	8	P
45	15	P	-	10	P
48	30	10	5-10	12	<5

tuali di tali minerali per gruppi di campioni omogenei.

La figura 15 evidenzia quanto segue:

- diminuzione progressiva, meno marcata per la calcite, di tutti i componenti detritici in senso normale alla costa;
- presenza, nell'area del promontorio del Circeo, di contenuti elevati di tutti i componenti alle profondità maggiori, in accordo con la presenza di granulometrie più grossolane.

Nella tabella 5 sono riportate le percentuali dei singoli minerali argillosi nella frazione competente. La figura 11 mostra alcuni diffrattogrammi più significativi che evidenziano la variazione della composizione mineralogica della frazione argillosa, procedendo dalla costa verso il largo; si nota in particolare l'aumento nel senso indicato della componente smectitica e del complesso degli interstratificati.

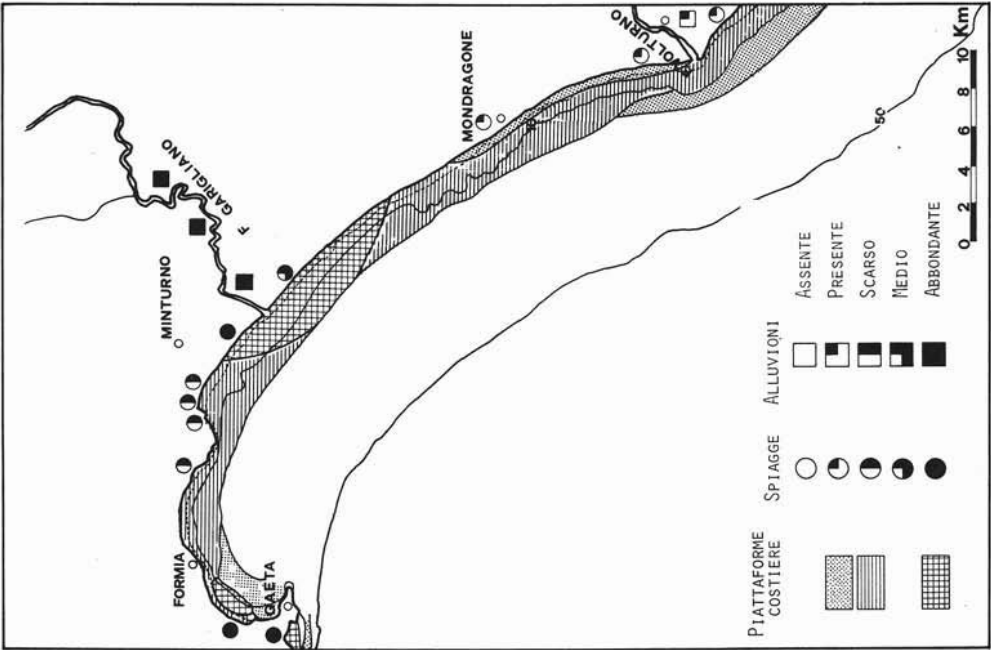


Fig. 7. — Distribuzione di granato chiaro.

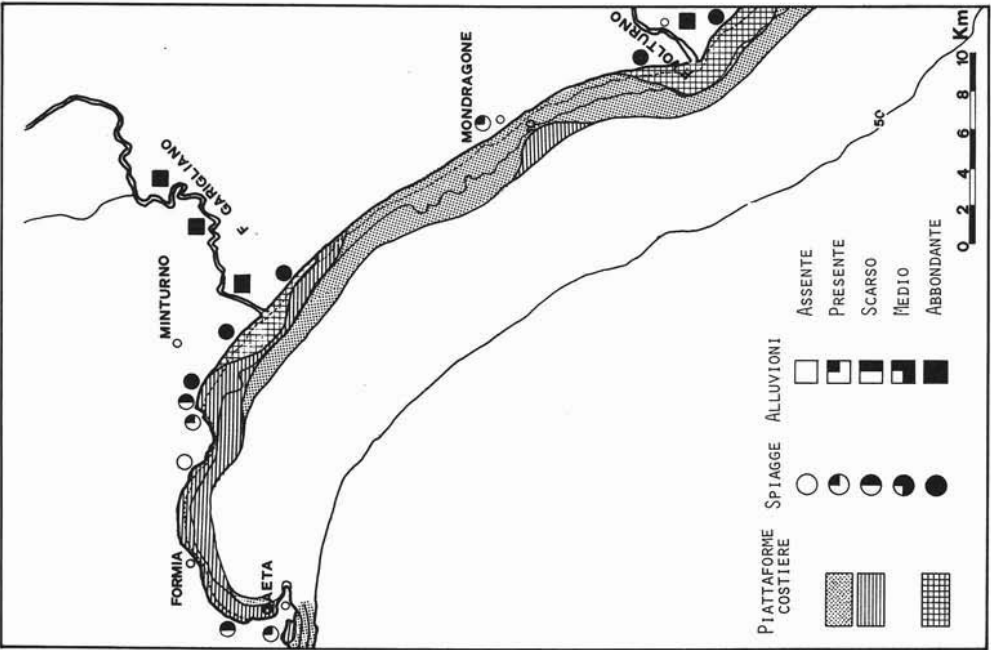


Fig. 6. — Distribuzione di piroclastici.

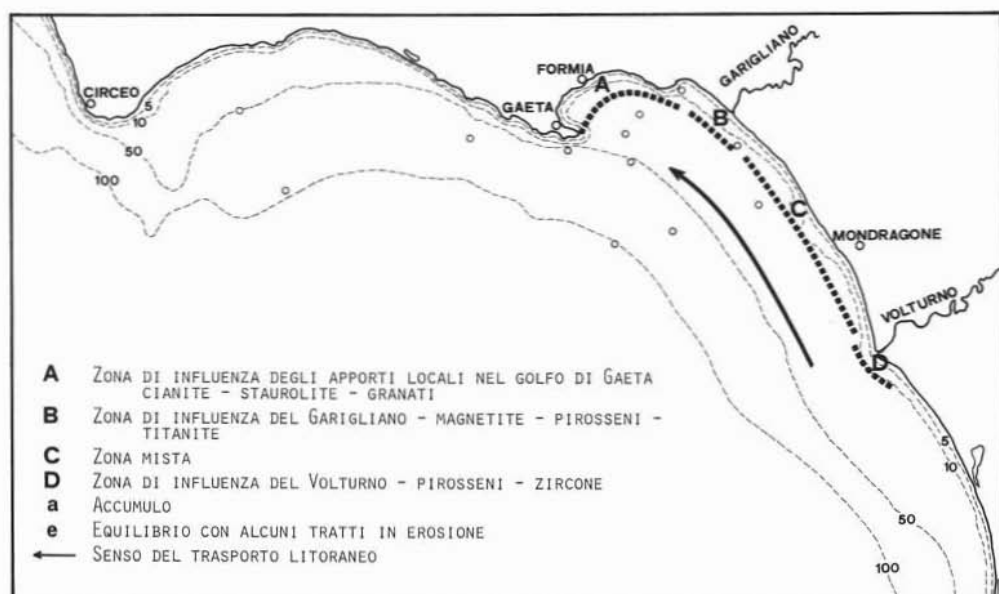


Fig. 8. — Schema riassuntivo dei caratteri granulometrici e mineralogici e direzione del trasporto dei sedimenti (I Serie).

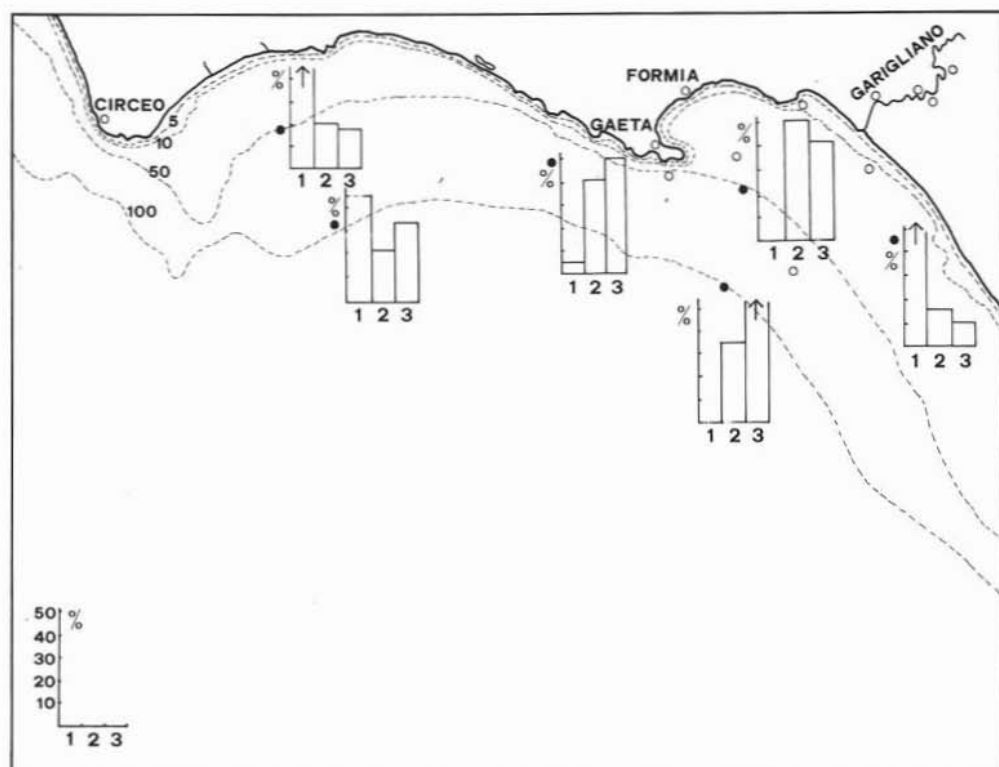


Fig. 9. — Distribuzione % di sabbia (1), limo (2), argilla (3) (II Serie).

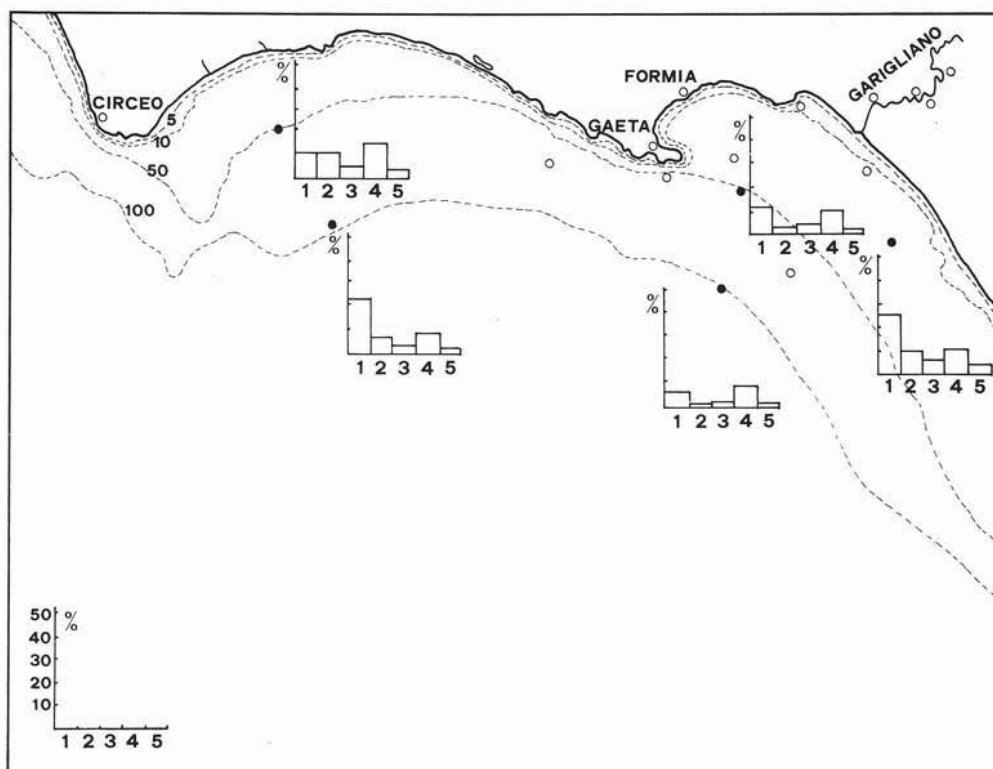


Fig. 10. — Distribuzione % dei componenti mineralogici fondamentali (II Serie): 1 = quarzo; 2 = ortoclasio; 3 = plagioclasio; 4 = calcite; 5 = dolomite.

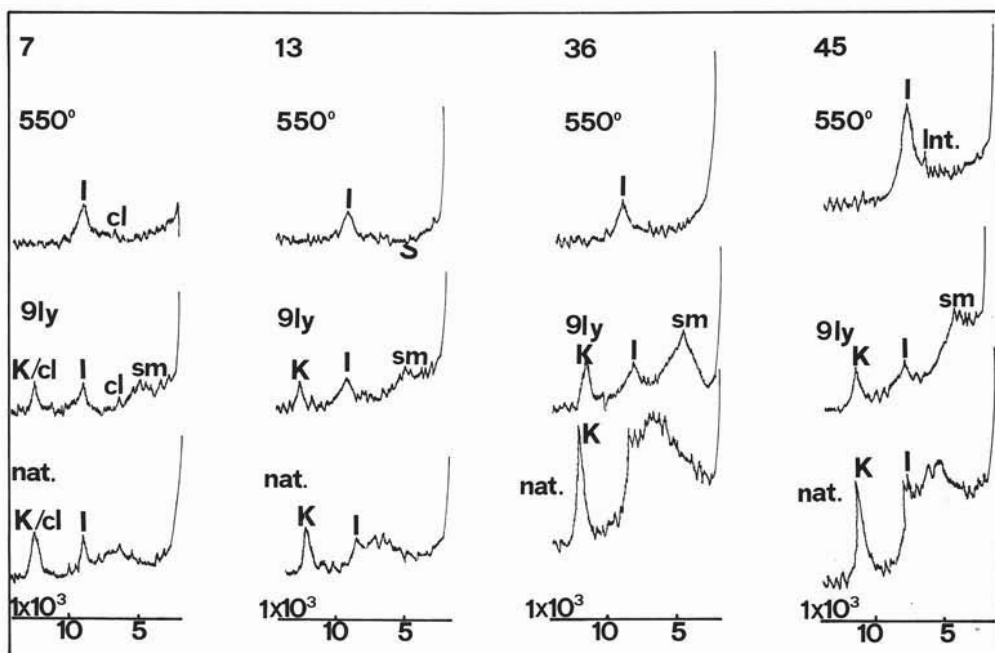


Fig. 11. — Diffratogrammi di alcune frazioni argillose.

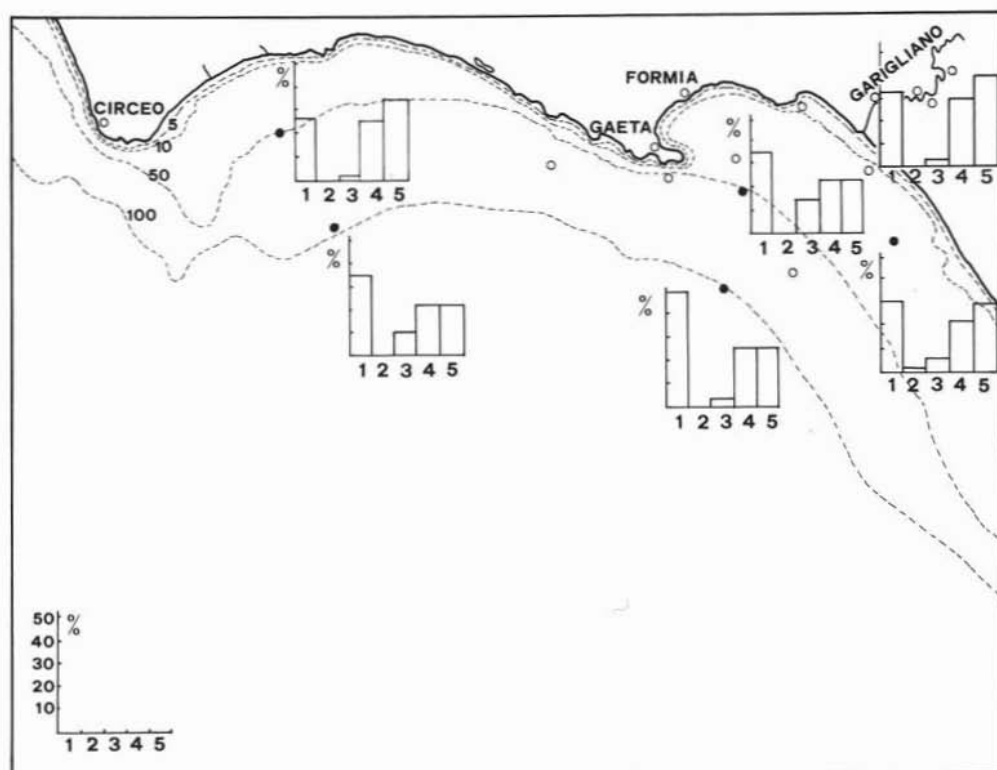


Fig. 12. — Distribuzione dei minerali argillosi nella frazione $< 2 \mu\text{m}$ (1 = smectite; 2 = interstratificati; 3 = clorite; 4 = illite; 5 = caolinite).

Lo stesso andamento è illustrato dalla figura 12 dove sono riportati gli istogrammi relativi alla distribuzione percentuale dei diversi minerali argillosi per gruppi di campioni omogenei.

Quanto osservato è sintetizzato nella figura 16 che permette le seguenti osservazioni:

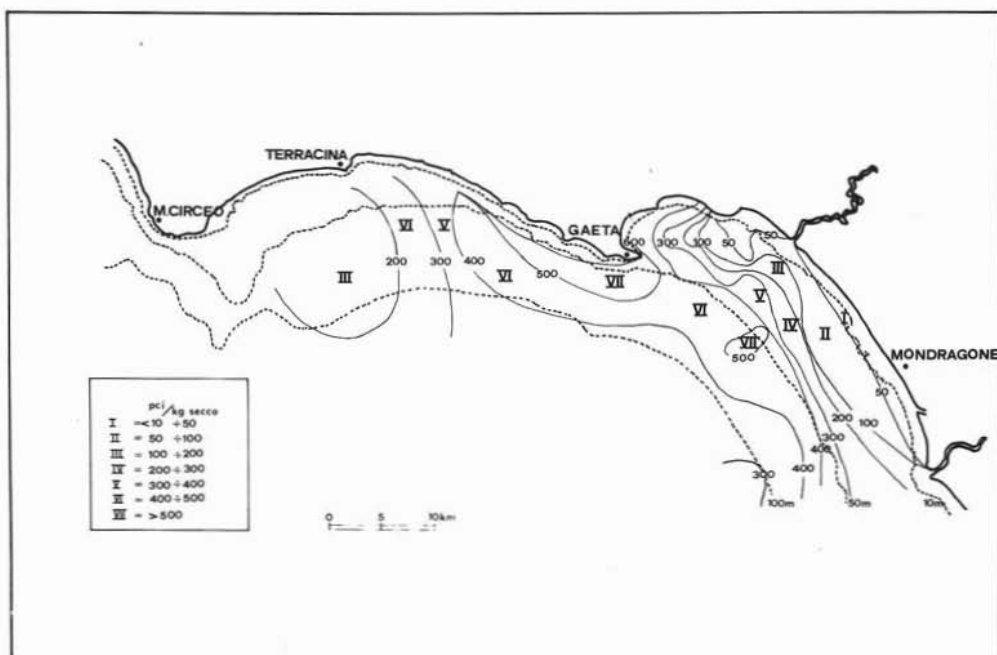
- i sedimenti alluvionali sono caratterizzati da un alto contenuto in caolinite, seguito da illite e smectite;
- i sedimenti della piattaforma delle basse batimetrie, sono sotto l'influenza diretta degli apporti alluvionali, ma hanno già un contenuto in minerali tipici delle batimetrie più elevate;
- i sedimenti della piattaforma, batimetrica di 25 m, presentano un contenuto più elevato in smectite, compare la clorite e gli interstratificati;
- i sedimenti delle batimetrie più elevate, 50-100 m, sono caratterizzati da un contenuto maggiore in smectite e interstrati-

ficati. Da mettere in evidenza quindi una distribuzione regolare di minerali argillosi con diminuzione di caolinite e illite e aumento parallelo di smectite e interstratificati, procedendo dalla costa verso il largo.

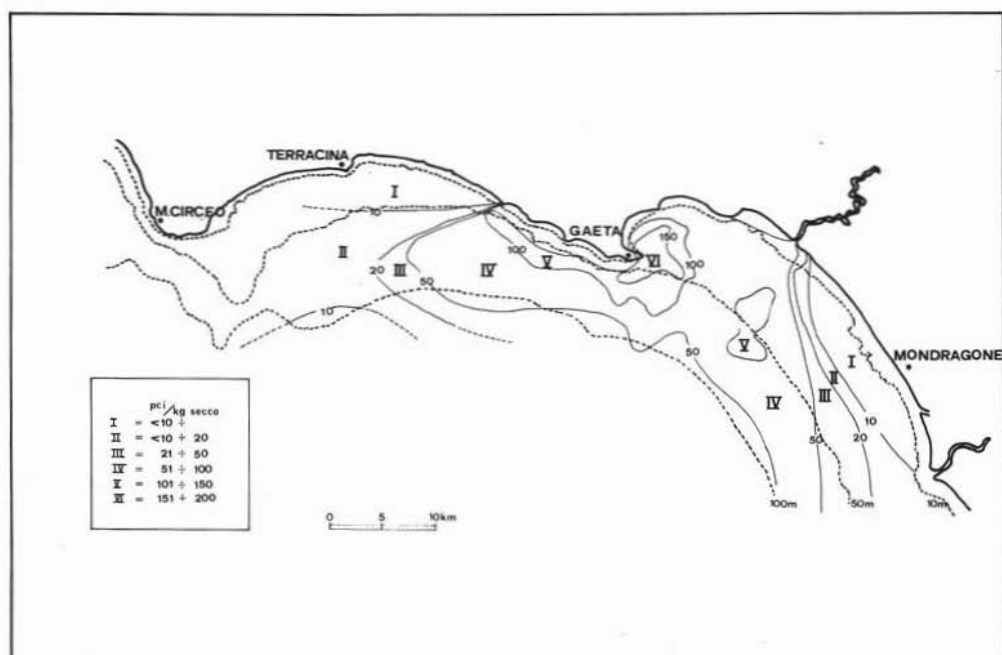
Nell'area del Circeo, come già notato per

TABELLA 5
Composizione % della frazione argillosa
(II serie di campioni)

N°	Smectite	Interstratificati	Clorite	Illite	Caolinite
11	—	—	—	—	9
12	25	—	—	30	45
13	30	9	—	30	40
5	35	0	9	25	40
6	30	5	9	30	35
7	20	5	9	35	40
26	30	9	—	30	40
28	35	10	—	25	25
36	50	9	—	25	25
38	45	5	—	25	30
41	45	9	—	25	30
44	30	15	—	25	25
45	35	15	—	25	25
48	45	9	—	25	30



a)



b)

Fig. 13 (a, b). — Distribuzione di ^{137}Cs (a) e ^{60}Co (b).

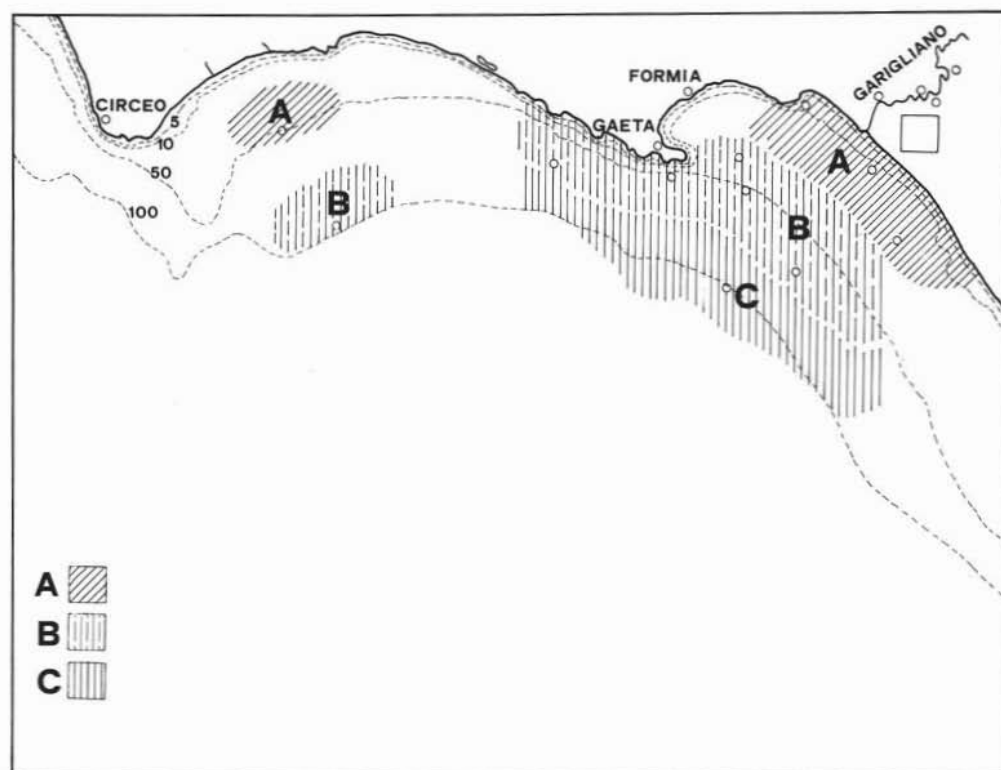


Fig. 14. — Distribuzione areale dei caratteri granulometrici (A = sabbioso; B = limoso; C = argilloso).

la distribuzione granulometrica, le zone intorno alla batimetrica dei 50 e 100 m sono caratterizzate da un'associazione mineralogica che nell'area del Garigliano si rinviene rispettivamente alla batimetrica dei 25 e 50 m. Da notare che all'interno del Golfo di Gaeta si rinviene una composizione della frazione argillosa simile a quella della batimetrica dei 100 m, non associata però a una granulometria ugualmente sottile.

Distribuzione di radionuclidi nei campioni della seconda serie

Nella figura 13 e nella tabella 6 sono riportati i valori di ^{137}Cs e ^{60}Co di alcuni sedimenti fluviali e costieri. Dall'esame dei dati si nota un aumento graduale dell'attività di radionuclidi trasversalmente alla costa fino alla batimetrica dei 50 m, inizia quindi una diminuzione verso le batimetrie più profonde. Valori meno elevati si rinvennero nell'area del promontorio del Circeo.

Confronto fra la distribuzione del ^{137}Cs e ^{60}Co e i caratteri granulometrici e mineralogici dei sedimenti

Dal confronto fra la distribuzione di ^{137}Cs e ^{60}Co i dati mineralogici e granulometrici emerge che (fig. 14, 15, 16, 17):

- la distribuzione granulometrica risulta regolare con una diminuzione graduale della costa verso il largo;
- i componenti fondamentali hanno una distribuzione analoga a quella granulometrica;
- i minerali argillosi hanno una distribuzione regolare con diminuzione di caolino e illite e aumento di smectite e interstratificati verso il largo;
- la distribuzione di radionuclidi presenta un aumento regolare verso il largo con massimi nella fascia fra 25-50 m e diminuzione nella fascia successiva.

Il quadro distributivo sopra illustrato con-

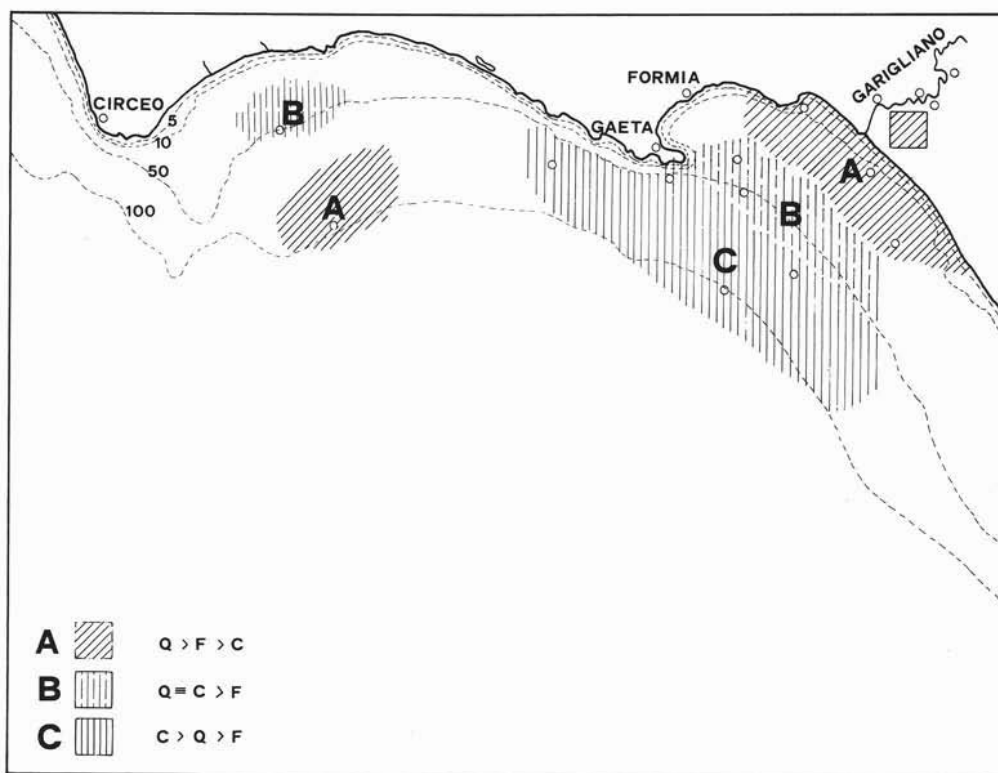


Fig. 15. — Distribuzione areale dei caratteri mineralogici fondamentali (Q = quarzo; F = feldspato; C = calcite).

TABELLA 6
Contenuto di: ^{137}Cs e ^{60}Co
(II serie di campioni)

N.	^{137}Cs	^{60}Co
10	478	1625
11	272	932
12	137	116
13	94	6
2	374	132
5	51	6
6	77	12
7	21	6
26	118	19
28	246	8
36	326	23
38	501	149
41	382	136
44	557	169
45	434	76
48	87	46

ferma ulteriormente le ipotesi già formulate e verificate (BRONDI e altri, 1980) che vedono una stretta correlazione di radionuclidi

e particelle sottili; secondo tali ipotesi il massimo di concentrazione, come di altri contaminanti, si verifica sul fronte di prima deposizione delle particelle sottili stesse. Poiché il luogo di prima deposizione di tali particelle varia a seconda delle condizioni morfologiche costiere, un andamento simile è da aspettarsi da parte di radionuclidi od elementi in tracce ad essi associate. Tenendo conto della localizzazione naturale dei sedimenti sottili, le attività in radionuclidi considerati dovrebbero presentare i valori massimi in prossimità della riva in caso di costa alta e più distanti nei casi di costa bassa. Ciò è quanto si verifica nel caso in esame. Infatti le attività massime riscontrate sono posizionate, per la stessa isobata, immediatamente sotto costa presso il promontorio di Gaeta e a qualche chilometro dalla riva in corrispondenza della costa bassa di Mondragone. Verso l'esterno, isobata dei 100 m, a batimetria maggiore ed a granulometria inferiore, inizia il decremento delle attività.

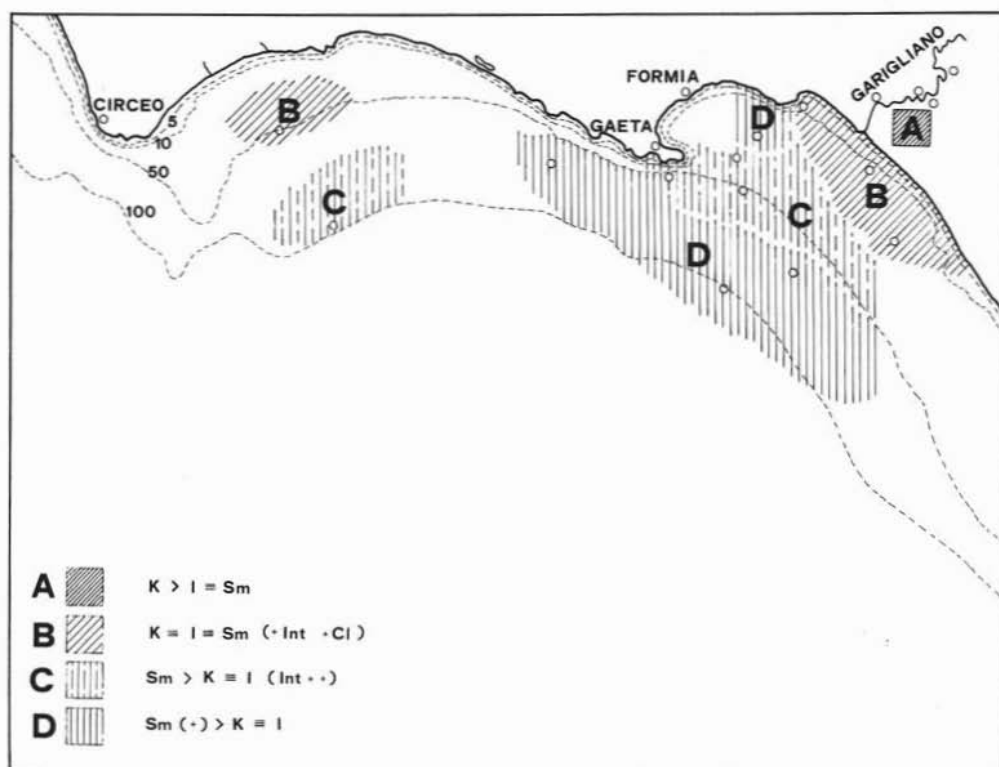
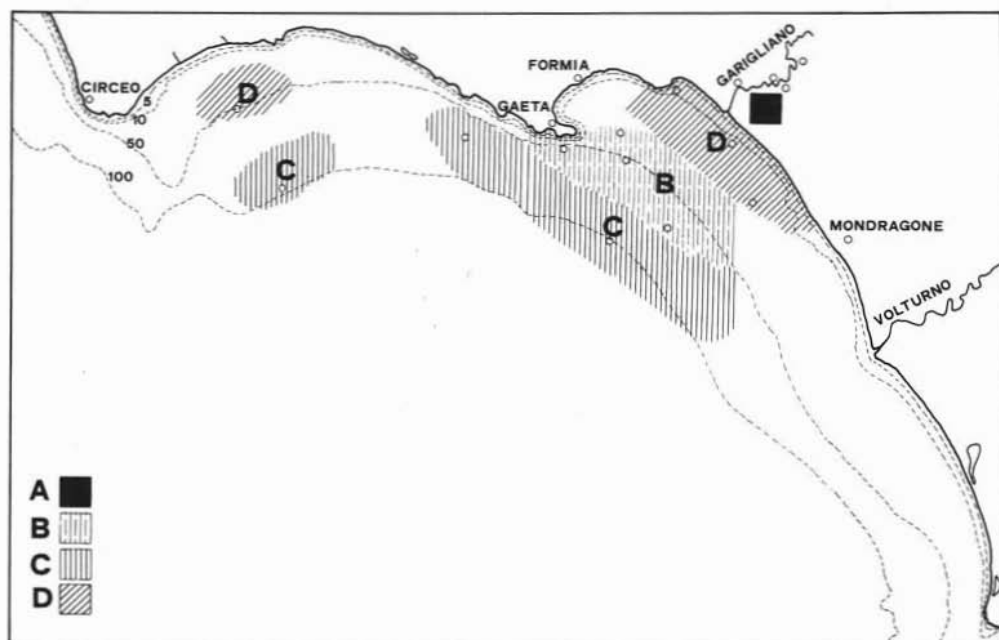


Fig. 16. — Distribuzione areale dei minerali argillosi.

Fig. 17. — Distribuzione areale dei radionuclidi (^{137}Cs e ^{60}Co).
(A = abbondante; B = medio; C = scarso; D = molto scarso)

Importanti concentrazioni di ^{60}Co sono state rintracciate anche in sedimenti prelevati in zone, come l'area di mare davanti a Terracina, relativamente distanti dalla loro origine (che, per questo radionuclide, è la centrale nucleare del Garigliano).

Questa alta mobilità è probabilmente da mettere in relazione con le elevate concentrazioni di Co stabile nei sedimenti del Golfo di Gaeta rispetto a quelli prelevati in altre zone delle coste italiane (BONIFORTI, 1980, comunicazione orale).

Si ha così una maggiore diluizione isotopica del ^{60}Co , un'attività più bassa nei sedimenti ed una più estesa mobilità del radionuclide.

Nel complesso per i radionuclidi artificiali e per gli elementi in tracce terrigeni, l'insieme dei fenomeni di concentrazione in ambiente costiero è quindi il seguente:

- 1) concentrazione nelle particelle sottili fluviali;
- 2) decantazione o precipitazione nella fascia sabbiosa litoranea;
- 3) concentrazione massima sul primo fronte di deposizione delle particelle sottili;
- 4) riduzione della concentrazione alle batimetrie maggiori, anche se queste presentano granulometrie sottili.

Confronto della distribuzione di ^{137}Cs e ^{60}Co con i dati mineralogici in alcuni campioni della carota della stazione 2

Nella tabella 6 sono confrontate le distribuzioni dei radionuclidi con la composizione mineralogica della frazione argillosa di alcuni campioni prelevati lungo l'asse verticale della carota della stazione n. 2 (interno del Golfo di Gaeta). Dall'esame dei dati si può dire che:

- la composizione della frazione argillosa, risulta piuttosto uniforme; da notare un aumento degli interstratificati rispetto alla smectite negli strati più profondi;
- la distribuzione verticale del ^{137}Cs presenta attività uniformi, con un massimo a 10-12 cm. L'attività del ^{60}Co va diminuendo progressivamente dall'alto al basso della carota.

È da tener presente, in questo caso, che l'andamento della distribuzione verticale è influenzato dalla diversa origine dei due ra-

dionuclidi: esclusivamente locale quella del ^{60}Co (derivante dall'esercizio dell'impianto nucleare di potenza, attuato lungo il Garigliano, a circa 7 km dalla foce); e con origine mista quella del ^{137}Cs (locale + ricadute radioattive conseguenti alle esplosioni nucleari nell'atmosfera).

L'accumulo del ^{137}Cs nei sedimenti è quindi iniziato nel 1945 (anno della 1ª esplosione nucleare di Alamogordo), mentre quella del ^{60}Co è iniziata con l'entrata in funzione della centrale (1964). Gli strati interessati alla contaminazione arrivano, nella carota in esame, a 18 cm di profondità. Il che corrisponde, su queste batimetrie, ad una elevata

TABELLA 7

Contenuti di ^{137}Cs e ^{60}Co e caratteri mineralogici della carota n. 2

n.	^{137}Cs (*)	^{60}Co (*)	Smectite%	Inter-strat.	Clorite%	Illite%	Caolinite%
2 cm.	379	134	35	5	p	30	30
4	415	171					
6	459	151	35	5	p	30	30
8	504	109					
10	478	137	30	7	3	27	30
12	536	95					
14	530	90	30	7	3	27	30
16	484	<19					
18	345	<21	30	10	1	29	30
20	231	<22					
22	139	<20					
24	73	<14					

(*) Le attività sono riportate al momento del prelievo: settembre 1980 (p Ci/Kg s).

velocità di sedimentazione, anche tenendo conto di possibili migrazioni verticali dei due radionuclidi, e di fenomeni di bioturbazione. Il fenomeno è già stato osservato più volte in parecchi punti delle coste italiane, ad analoghe batimetrie (La Spezia, La Maddalena, Latina).

L'andamento della distribuzione verticale dei due radionuclidi mostra un andamento omogeneo, analogo a quello della frazione argillosa. Le attività dei nuclidi sono state corrette per il decadimento radioattivo al tempo della ipotizzata sedimentazione (per il ^{137}Cs : strati di massima attività = 1963-65, quando si è avuta la massima concentrazione nelle ricadute; per il ^{60}Co : inizio della deposizione coincidente con l'entrata in funzione della centrale, 1964).

Conclusioni riepilogative

In base ai dati granulometrici (fig. 8), l'area in esame può essere suddivisa in una zona settentrionale con prevalenti fenomeni di accumulo e una zona meridionale, a sud della foce del Garigliano, presentante condizioni di stabilità o limitato stato di erosione.

In base ai caratteri mineralogici e alla composizione della frazione pesante (fig. 4) possono essere distinte quattro zone principali: la prima a nord del Garigliano caratterizzata da cianite, staurolite e granati, di provenienza indubbiamente locale; una seconda, alla foce del Garigliano con massime concentrazioni di magnetite e titanite, dovute agli apporti di questo fiume; una terza, alla foce del Volturno, caratterizzata da contenuti massimi in pirosseni e zircone; una quarta zona mista nell'area di Mondragone.

Il carattere di prevalente accumulo sedimentario nell'area settentrionale e i rapporti reciproci fra le massime concentrazioni di minerali caratteristici provenienti dai singoli fiumi, nonché i rapporti spaziali fra le concentrazioni di vario livello degli stessi, individuano un senso di trasporto litoraneo diretto da SE a NO.

La distribuzione delle classi dimensionali dei sedimenti della piattaforma corrisponde agli schemi usuali di diminuzione granulo-

metrica con la profondità. Ciò non significa che le granulometrie siano costanti da zona a zona sulle singole fasce batimetriche, ma dipendono evidentemente sia dalla litologia dei bacini alimentatori sia da situazioni ereditate da quando il livello marino si trovava a livelli inferiori.

Un buon accordo lega la variazione dei minerali fondamentali e di quelli argillosi alle variazioni granulometriche. Per le argille si verifica la nota zonaltà distributiva da terra alle varie fasce batimetriche. La distribuzione dei radionuclidi appare chiaramente correlabile alla distribuzione dei materiali sottili più che alla variazione mineralogica della frazione sottile. Viene anche in questo caso riscontrato che i massimi livelli di concentrazione dei radionuclidi, e presumibilmente di molti elementi in tracce, corrispondono al primo fronte deposizionale delle particelle sottili. Al di là di questo ultimo si verifica un graduale decremento di concentrazione. Coerente con il quadro sedimentologico è anche il fatto che le concentrazioni dei radionuclidi, sono posizionate molto più vicino a riva nel caso dei tratti di costa alta rispetto a quanto si verifica nel caso dei tratti di costa bassa. Questi risultati sono stati possibili anche con un numero molto limitato di campioni scelti però sulla base della litologia conosciuta e del quadro sedimentologico prevedibile.

BIBLIOGRAFIA

- BRONDI A., FERRETTI O., ANSELMI B. (1977) - *I minerali pesanti nell'ambiente litoraneo I. Ruolo fisiografico - II. Tipi di placers italiani*. Boll. Soc. Geol.
- BRONDI A., BENVENÙ F., FERRETTI O., ANSELMI B. (1978) - *Classificazione geomorfologica delle coste italiane come base per l'impostazione di studi sulla contaminazione marina*. Convegno AIOL, Sorrento.
- BRONDI A., ANSELMI B., FERRETTI O., PAPUCCI C. (1980) - *Latina, Foce Verde - Confronto fra distribuzione radionuclidi e caratteri granulometrici e mineralogici dei sedimenti marini costieri*. AIOL, Chiavari (in corso di stampa).
- BRUSCHI e altri (1980) - *Distribuzione di radionuclidi nell'ambiente marino antistante la Centrale del Garigliano*. 22° Congresso AIRP, giugno.
- GOTTARDI G., MITTEMPEGHER M. (1956) - *La sabbia della foce del Garigliano*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Memorie, Vol. LXII.
- CARTA DELLA PESCA N. 3 - *Il fondo del mare da Capo Circeo a Capo Miseno*. Ministero della Marina Mercantile; a cura di Nicola Fusco.