

## DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI IN TRACCIA NEL BACINO DEL FIUME OFANTO (ITALIA MERIDIONALE) E CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA E GRANULOMETRIA DEI SEDIMENTI

ORNELLA FERRETTI, ENNIO GHIARA,  
ROBERTO GRAGNANI, CARLO MIGNUZZI

ENEA-PAS-SCAMB - Lab. di Geochimica Ambientale - C.R.E. Casaccia, C.P. 2400, 00100 Roma

**RIASSUNTO.** — Nell'ambito di una serie di studi ambientali condotti dall'ENEA nella regione Puglia, è stata studiata la distribuzione degli elementi in traccia nelle acque, nel particolato e nei sedimenti fluviali del fiume Ofanto. È stata inoltre effettuata la caratterizzazione mineralogica e sedimentologica dei sedimenti fluviali.

Gli scopi della ricerca erano di definire i livelli naturali e le modalità di circolazione di una serie di elementi in traccia tossici essenziali e critici e giungere a una valutazione degli apporti naturali e degli eventuali apporti antropici.

I tenori di Zn, Cu, Pb, Cd, Cr(VI) e Co nelle acque risultano molto bassi, confermando l'assenza di marcati fenomeni d'inquinamento. Il particolato risulta arricchito in alcuni elementi in traccia rispetto ai sedimenti, a causa dei processi di assorbimento e coprecipitazione.

Per i sedimenti l'esame dei risultati ha mostrato una buona correlazione tra natura delle rocce madri e caratteri granulometrici e mineralogici evidenziando nettamente gli apporti da formazioni marnoso-calcaree, argilloscistose e soprattutto vulcaniche.

Il contenuto degli elementi in traccia correlato con la litologia ha mostrato un quadro abbastanza articolato nel quale appare molto evidente l'influenza delle vulcaniti del Vulture sul chimismo di alcuni sedimenti esaminati.

**ABSTRACT.** — Environmental studies have been carried out by ENEA in Puglia region.

Trace elements distribution in the waters, in the particulate and in the stream sediments of Ofanto river have been studied; mineralogical and sedimentological characters of stream sediments have been determined too.

The aim of this research was both to define the natural levels and the pathways of some toxic, critical and essential trace elements and to evaluate the contribute of natural and anthropogenic sources.

The very low levels of Zn, Cu, Pb, Cd, Cr(VI) and Co in the waters confirm the absence of relevant pollution processes.

The particulate is richer in some trace elements

than the sediments are because of absorption and coprecipitation processes.

The sediments show a high correlation between the feeder rocks lithology and the grain-size and mineralogical characters so that they well distinguish the contributes from marly-carbonate, clayey-schistose and overall volcanic formations.

The content of trace elements correlated to the lithology has shown a quite articulate frame by which the influence of the Vultur volcanites on the chemism of some sediments is far conspicuous.

### Introduzione

L'ENEA è impegnato da molti anni in ricerche ambientali tendenti a definire i livelli naturali e le modalità di circolazione dei più importanti elementi tossici, critici e essenziali.

I risultati di alcune ricerche effettuate dal Laboratorio di Geochimica Ambientale del Dipartimento Protezione e Salute dell'Uomo sono riportati da BRONDI et al., 1981, 1982 e 1983; DALL'AGLIO, 1982; DALL'AGLIO e GRAGNANI, 1983; FERRETTI et al., 1982.

Nell'ambito di una serie di ricerche che l'ENEA sta attualmente conducendo nella regione Puglia si inserisce lo studio delle acque, del particolato sospeso nelle acque e dei sedimenti fluviali del fiume Ofanto. Tale studio è stato impostato sulla base delle variazioni litologiche fondamentali presenti nel bacino idrografico al fine di individuare i livelli naturali o di origine antropica degli elementi considerati. Per una esatta valutazione della presenza di tali elementi nell'ambiente considerato la distribuzione è stata

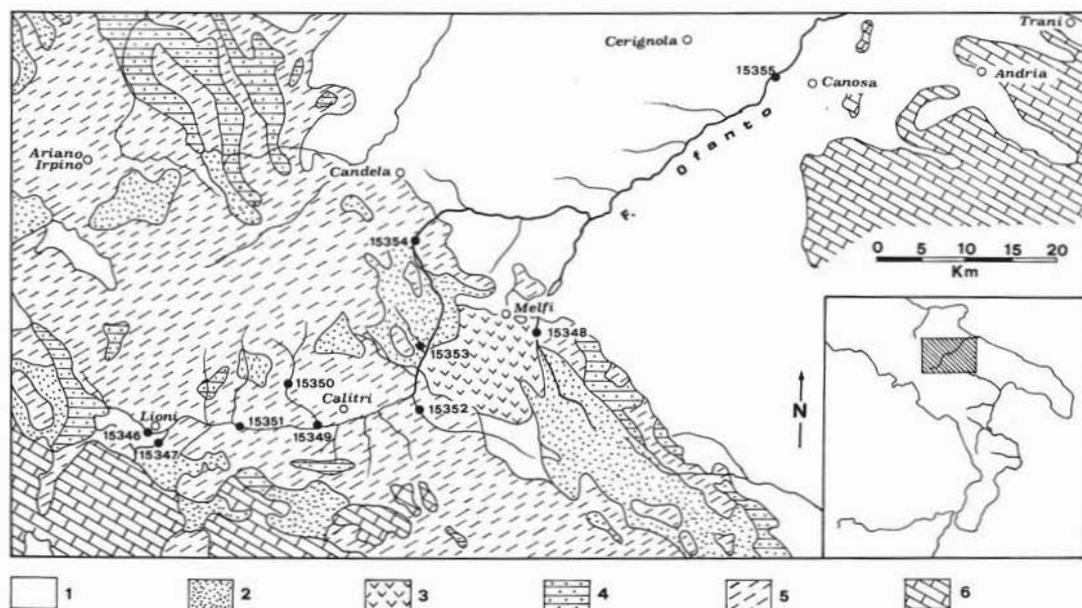


Fig. 1. — Schema litologico e stazioni di campionamento. - 1 = Formazioni clastiche quaternarie; 2 = Formazioni arenacee quarzoso-feldspatiche e formazioni marnoso-arenacee; 3 = Vulcaniti; 4 = Formazioni calcareo-marnose; 5 = Formazioni argillose e argilloso-calcaree; 6 = Formazioni carbonatiche.

correlata con i caratteri litologici delle formazioni affioranti e con i caratteri granulometrici e mineralogici dei sedimenti stessi.

### Breve inquadramento geolitologico

Il bacino dell'Ofanto attraversa, nella parte medio-alta del suo corso, la catena Appenninica Campano-Lucana mentre nella parte terminale è impostato sui sedimenti che ricoprono la Fossa Bradanica.

Tra il Pliocene e il Quaternario questi sedimenti clastici di origine marina che contengono intercalazioni di sedimenti alloctoni provenienti dall'Appennino, hanno ricoperto il basamento carbonatico mesozoico.

La catena Sud-Appenninica è caratterizzata da una serie di falde di ricoprimento che si sono messe in posto durante il Terziario Superiore. Sull'esatta ubicazione dei bacini che hanno alimentato le coltri di ricoprimento e sui rapporti stratigrafici tra le varie unità, esistono ancora incertezze.

Durante il Pliocene superiore - Quaternario si sono depositati nelle aree più depresse della catena sedimenti continentali. Anche la

messa in posto delle vulcaniti del Vulture è riferibile al Quaternario.

Per notizie più dettagliate si rimanda agli atti del Convegno sulle « Moderne vedute sulla Geologia dell'Appennino » (1973), a: D'ARGENIO et al., 1973; IPPOLITO et al., 1975; PESCATORE, 1976, 1978, 1981; D'ARGENIO e ALVAREZ, 1979.

Nella fig. 1 è riportata una carta litologica ricavata da quella al 500.000 del Servizio Geologico d'Italia in cui sono state distinte:

- formazioni clastiche quaternarie;
- vulcaniti;
- formazioni arenacee e marnoso-arenacee;
- formazioni calcareo-marnose;
- formazioni argillose e argilloso-calcaree;
- formazioni carbonatiche.

### Campionamento e metodi di studio

Sono stati prelevati 10 campioni di sedimenti lungo il corso dell'Ofanto e dei suoi principali affluenti in relazione alle più importanti variazioni litologiche presenti nel bacino. Mentre le acque e il particolato sospeso sono stati prelevati dal fiume Ofanto

TABELLA 1  
 Costituenti maggiori, minori e in traccia delle acque

N° camp.	t. °C	pH	Eh mV	C. El		Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	B	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	Li	Sr															
				-1 ohm	-1 cm																															
																						mol/l											ppb			
15346	17	8,2	+490	60-5	41-4	63-5	70-5	22-5	48-4	38-5	43-5	30-5	15-8	22-6	10-6	12-6	10-7	10-7	2,3	310																
15348	15	8,2	+420	74-5	32-4	10-4	28-4	53-5	50-4	12-4	12-4	70-5	11-6	32-6	50-6	13-5	16-6	17-5	21	820																
15349	19	8,4	+310	59-5	35-4	94-5	12-4	22-5	41-4	10-4	62-5	16-5	63-8	22-6	14-6	40-7	10-7	32-7	6,5	490																
15354	16	8,1	+370	76-5	28-4	11-4	26-4	32-5	42-4	16-4	96-5	12-5	63-8	21-6	26-6	55-7	10-7	11-7	21	490																
15355	20	8,9	+360	92-5	19-4	20-4	40-4	47-5	33-4	24-4	24-5	25-6	23-8	34-6	26-6	48-6	10-7	25-7	15	530																
																						Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	As	V	Mo	Hg	Co	Ni	Fe	Mn	U	
																						µg/l														
15346	1,19	0,26	0,028	0,008	0,22	0,38	2,86	2,4	0,010	0,47	1,67	5	264	1,0																						
15348	1,89	0,66	0,011	0,009	0,18	2,68	2,39	4,3	0,010	0,37	1,73	45	152	3,8																						
15349	0,91	0,42	0,020	0,002	0,09	0,29	1,03	1,7	0,010	0,18	2,0	26	20	3,0																						
15354	1,12	0,56	0,034	0,003	0,16	0,32	1,52	2,3	0,010	0,20	1,88	48	8	2,8																						
15355	0,7	0,56	0,079	0,004	0,15	0,46	2,37	3,6	0,010	0,51	4,1	23	12	4,7																						

\* I dati sono espressi in virgola mobile.

e dalla fumara dell'Arcidiaconata (n. 15348). Per le procedure impiegate nelle analisi dei differenti campioni si rimanda a BRONDI et al., 1983, e ai già citati lavori. Nella figura 1 sono riportati i punti di campionamento.

Per ciascuna stazione di campionamento sono stati prelevati due campioni di sedimento: uno di sabbia media per la determinazione dei minerali pesanti, e uno di dimensioni più fini per la determinazione degli elementi in traccia. Il secondo campione è prelevato in genere sulla sponda o sul piano di esondazione dove si rinviene il materiale più sottile.

Le analisi granulometriche e mineralogiche dei minerali fondamentali ed argillosi sono state effettuate sulla frazione minore di 0,1 mm, che è quella convenzionalmente prescelta per le analisi degli elementi in traccia.

Per le analisi granulometriche e mineralogiche sono state adottate metodologie di routine e per esse si rimanda a FERRETTI et al. (1982).

## Presentazione e discussione dei risultati

### LE ACQUE

Dei cinque campioni analizzati, quattro provengono dal Fiume Ofanto mentre il 15348 è stato prelevato dal suo affluente di destra perchè interessato dagli apporti delle vulcaniti del Vulture.

I dati analitici sono riportati nella tab. 1.

La salinità delle acque esaminate è intorno agli 0,5 g/l con variazioni abbastanza contenute tra il campione prelevato nella parte alta del bacino e quello in prossimità della foce.

Nella fig. 2 è riportata la classificazione delle acque in funzione dei rapporti tra i principali cationi e anioni. È molto evidente l'evoluzione che subisce il chimismo dalle sorgenti alla foce. Si passa da acque a bicarbonati alcalino-terrosi ad acque che tendono

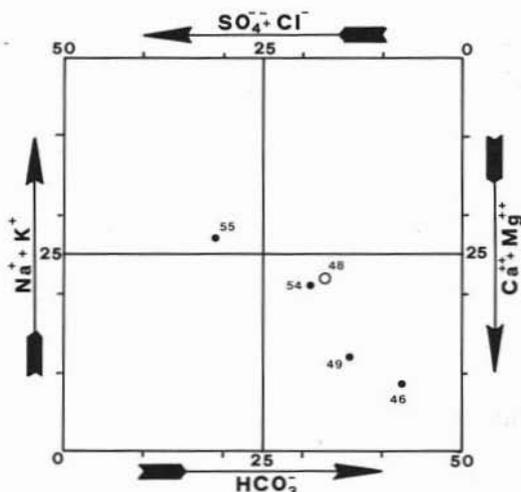


Fig. 2. — Valori di reazione in percento dei principali cationi e anioni.

TABELLA 2  
 Costituenti maggiori, minori e in traccia nel particolato  
 sospeso nelle acque e nei sedimenti

n° Camp.	K	PARTICELLE SOSPENSE NELLE ACQUE															
		Fe	Mn	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Co	V	Au	Mo			
15346	320	834	71	1440	1,42	3,70	4,63	0,009	3,08	1,91	0,05	1,85	0,86	0,037			
15348	86	271	15	420	1,68	5,16	3,93	0,007	1,29	0,52	0,09	0,81	0,64	0,04			
15349	210	558	31	980	1,36	4,08	5,02	0,008	2,71	0,81	0,13	0,84	0,68	0,047			
15354	120	284	23	530	0,98	3,43	3,54	0,008	1,97	0,79	0,09	0,61	0,49	0,038			
15355	470	634	198	1120	3,16	8,72	9,56	0,008	3,96	1,18	0,30	1,22	1,97	0,11			
$\bar{X}$	245,2	516	67	898	1,72	5,02	5,34	0,008	2,62	1,04	0,132	1,07	0,928	0,054			
$\bar{X}_E/\bar{X}_{Al}^*$	27-2	57-2	75-3	-	19-4	56-4	59-4	90-7	29-4	11-4	15-5	12-4	10-4	60-6			
$\bar{X}_E/\bar{X}_K^*$		21-1	28-2	31-1	70-4	20-3	22-3	33-6	11-3	42-4	54-5	44-4	38-4	22-5			
SEDIMENTI FLUVIALI																	
n° Camp.	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Co	V	As	U
15346	0,91	1,23	22,24	0,60	1,53	0,11	1,13	5,1	14,8	43	0,46	37	15	13,8	64	59	5,3
15347	1,55	2,32	3,73	0,62	1,49	0,07	9	5,4	18,2	51	0,21	46	14	12	72	47	5,0
15348	1,22	1,62	6,57	1,94	4,51	0,21	10	11,3	69,2	170	0,51	49	22	18,6	211	90	11,7
15349	0,97	1,50	12,16	1,02	1,88	0,11	5,6	24,4	17,4	62	0,33	48	14	11	65	68	5,57
15350	0,57	1	16,23	0,99	2,86	0,12	5,6	14,8	12,9	87	0,21	74	24	18	122	76	4,41
15351	1,07	2,03	5,75	0,69	2,53	0,12	5,9	20	20,8	77	0,22	64	25	15	99	78	6,48
15352	0,84	1,34	7,49	1,16	3,94	0,17	5,5	31,2	26,6	93	0,29	61	26	23,6	130	88	5,7
15353	0,73	1,43	10,73	1,29	3,23	0,22	5,6	38,9	14,9	104	0,22	89	23	124	75	6,11	
15354	0,69	1,29	7,81	0,71	1,80	0,12	4,15	19	12	83	0,16	50	15	15,5	71	60	4,62
15355	0,98	1,61	8,78	0,92	2,73	0,12	4,92	28,5	17,6	85	0,24	56	22	12	100	56	5,6
$\bar{X}$		1,53			2,65	0,15	5,74	19,8	22,4	85	0,28	57	39	16,2	105	65	
$\bar{X}_E/\bar{X}_{Al}^*$		17-2			46-2	26-3		34-5	39-5	15-4	50-7	10-4	68-5	28-5	18-4	11-4	
$\bar{X}_E/\bar{X}_K^*$					17-1	97-3	37-1	13-4	15-4	56-4	65-6	37-4	26-4	11-4	69-4	43-4	

\* I dati sono espressi in virgola mobile.

verso quelle a cloruri-alcinali in accordo con le caratteristiche litologiche dell'area e alla normale evoluzione dei processi naturali.

La composizione dell'acqua del camp. 15348 è simile per alcuni caratteri a quella del fiume Ofanto ma si differenzia da questa per un maggior contenuto di  $SiO_2$ , K,  $NO_3$ ,  $NO_2$  e  $P_2O_5$ . Mentre i primi due sono da attribuire alla lisciviazione delle vulcaniti alcaline del Vulture e in particolare alla lisciviazione della pasta di fondo vetrosa, i nitriti, i nitrati e i fosfati, sono da attribuire a modesti fenomeni d'inquinamento.

I metalli in traccia presentano tenori di Zn, Cu, Pb, Cd,  $Cr^{+6}$  e Hg molto bassi, segno evidente che nell'area studiata non sussistono marcati fenomeni d'inquinamento. I tenori di V, Mo e Ni sono in assoluto elevati ma rientrano nella norma in quanto questi elementi sono dotati di una buona mobilità geochimica nell'ambiente supergenico.

L'arsenico mostra in genere tenori normali ma nel campione 15348, prelevato sul

l'affluente di sinistra, ha un tenore di circa sei volte più alto rispetto a quello medio riscontrato sul fiume Ofanto. Ciò è da attribuire alla presenza di vulcaniti e alla circolazione idrotermale presente al Vulture in analogia di quanto è stato messo in evidenza per il Lazio (BRONDI et al., 1983).

#### PARTICOLATO SOSPESO NELLE ACQUE

Nella tab. 2 sono riportati i dati relativi al particolato sospeso nelle acque, ottenuto filtrando l'acqua a  $0,45 \mu m$ , e dei sedimenti. I dati sono riportati in  $\mu g/l$  perchè i pesi dei filtri non sono stati determinati prima della filtrazione e a posteriori la variabilità del peso tra filtro e filtro è risultata superiore, in alcuni casi, al peso della sostanza raccolta con la filtrazione.

Una considerazione molto generale riguarda il tenore assoluto degli elementi trasportati in sospensione dalle acque in un periodo di magra. Per una gran parte degli elementi e in particolare per Cu, Zn, Cr, Fe e Mn la

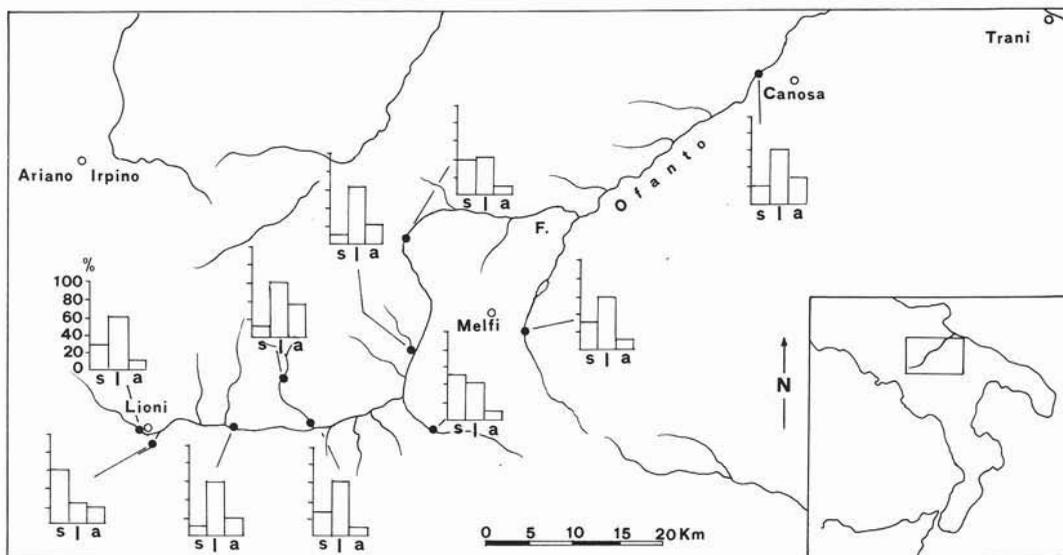


Fig. 3. — Distribuzione delle granulometrie. - *s* = sabbia; *l* = limo; *a* = argilla.

quantità assoluta trasportata in sospensione è maggiore di quella trasportata in soluzione.

Nella tab. 2 sono riportati i rapporti delle medie degli elementi esaminati rispetto alla media K e Al. Questi ultimi elementi possono fornire una stima degli apporti terrigeni.

Dal confronto di questi rapporti nel particolare con quelli medi ottenuti per i sedimenti, si osserva che Pb, Cu, Zn, Cr, Mn sono quelli che mostrano un maggiore arricchimento rispetto ai sedimenti.

Se per Pb, Cd e Mn i processi sono sufficientemente chiari perchè si tratta di elementi dotati di bassa mobilità geochimica nelle acque superficiali, per gli altri elementi le interpretazioni sono più complesse in quanto possono intervenire molteplici processi chimico-fisici di arricchimento selettivo.

## SEDIMENTI

### Distribuzione granulometrica

Nella figura 3 e nella tabella 3 sono riportati i dati granulometrici; confrontando la fig. 3 con lo schema litologico della fig. 1 si nota che:

— i sedimenti più recenti in frazione argillosa si rinvencono in corrispondenza delle formazioni plio-pleistoceniche argillose che si estendono nell'area compresa fra Lioni e Calitri;

— granulometrie decisamente sabbiose si rinvencono nei sedimenti corrispondenti all'area vulcanica del Vulture;

— granulometrie intermedie caratterizzano i sedimenti relativi alle formazioni marso-calcaree e argilloscisti vari colori.

Si può rilevare uno stretto legame fra la litologia delle formazioni alimentatrici e la granulometria dei corrispondenti sedimenti fluviali.

TABELLA 3

### Composizione granulometrica in percento

Camp. n.	Sabbia	Limo	Argilla
15346	28,10	60,80	10,70
15347	59,30	23,70	17,00
15348	36,80	56,25	6,95
15349	25,00	61,50	13,50
15350	8,00	59,80	32,20
15351	11,20	65,70	23,10
15352	49,80	42,20	8,00
15353	12,60	66,40	21,00
15354	44,30	45,70	10,00
15355	11,30	63,85	24,85

Frazione sabbiosa fra 0,1 m e 0,063.

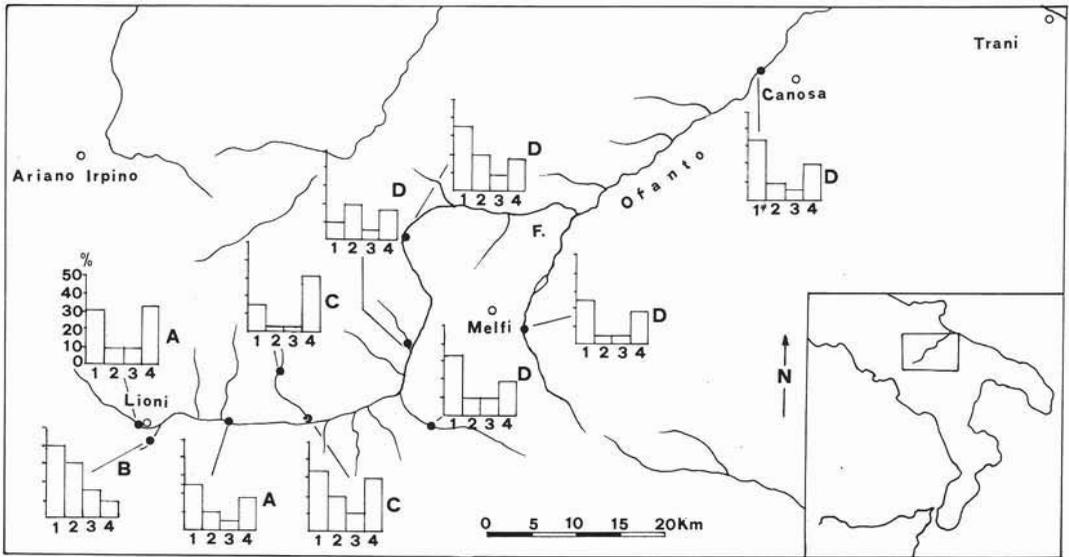


Fig. 4. — Distribuzione dei minerali fondamentali e dei minerali argillosi. - 1 = quarzo; 2 = feldspato; 3 = Na-feldspato; 4 = calcite; A = Dominante: Sm-Cl-Ka-Il; B = Dominante: Sm, complementare: Ka-Cl-Il; C = Dominante: Sm-Ka, complementare: Cl-Il; D = Dominante: Sm-Ka, complementare: Il.

### Composizione mineralogica

La figura 4 e le tabelle 4 e 5 mostrano la distribuzione dei componenti fondamentali e dei minerali argillosi. Dal confronto di tali dati con lo schema litologico della figura 1 emerge quanto segue:

— le percentuali più elevate in carbonati si rinvencono nei sedimenti relativi alle for-

mazioni marnoso-calcaree (Lioni) o argilloso-plioceniche (Calitri);

— i contenuti elevati in K-feldspato unitamente ad elevati tenori in quarzo si riscontrano nel campione 15347 alimentato direttamente e esclusivamente da formazioni arenacee mioceniche.

TABELLA 4

Composizione mineralogica fondamentale in percento

n.	Q.	F <sub>K</sub>	F <sub>Na</sub>	C.	D.
15346	30	20	10	30	-
15347	40	30	15	10	p.
15348	30	-	5	20	p.
15349	35	20	10	30	-
15350	15	p.	p.	35	-
15351	25	10	5	20	-
15352	35	10	10	20	p <sup>+</sup>
15353	10	20	5	20	p <sup>+</sup>
15354	35	20	5	20	p <sup>+</sup>
15355	35	15	5	20	p.

Q = quarzo; F<sub>K</sub> = K-feldspato; F<sub>Na</sub> = Na-feldspato; C = calcite; D = dolomite.

TABELLA 5

Composizione in percento della frazione argillosa

N. Camp.	Sm	Cl	I	K
15346	40	20	20	20
15347	60	10	10	20
15348	-	-	50	50
15349	50	15	10	25
15350	50	15	10	25
15351	40	20	20	20
15352	40	p.	20	40
15353	40	p.	20	40
15354	40	p.	20	40
15355	40	p.	20	40

Sm = smectite; Cl = clorite; I = illite; K = caolinite.

TABELLA 6  
Composizione mineralogica, in percento, della frazione pesante

N° CAMP.	FRAZIONE PESANTE *	MAGNETITE	PIROSSENI	OSSIDI DI Fe	GRANATI	TITANITE	RUTILO	ZIRCOONE	APATITE	PIRITE	FOSSILI FERRIFERIZZATI	BARITE
15346	1,2	5	85		2	5	p.	1	2	-	-	-
15347	0,5	5	85	5	1	1	1	1	1	-	-	-
15348	20	p.	95	-	-	p.	-	-	5	-	-	-
15349	2	p.	95	p.	1	p.	-	-	3	-	-	-
15350	0,1	5	80	5	1	p.	p.	1	2	2	-	p.
15351	3	5	85	p.	p.	5	-	p.	5	-	-	-
15352	30	5	85	p.	p.	5	-	p.	5	-	-	-
15353	1	5	70	10	3	p.	1	1	1	5	-	p <sup>+</sup>
15354	5	2	90	p.	1	5	-	-	-	-	-	-
15355	5	2	90	p.	1	5	-	-	-	-	-	-

\* La percentuale della frazione pesante è riferita al campione medio.

Le associazioni dei minerali argillosi risultano così distribuite:

— associazioni a smectite e caolinite sono tipiche dei sedimenti alimentati dalle formazioni vulcaniche;

— associazione a prevalente smectite caratterizza il campione 15347 alimentato dalla formazione arenacea;

— associazioni a smectite e clorite preva-

lente si rinvengono nelle zone delle argille plio-pleistoceniche e nella parte alta del bacino dell'Ofanto dove sono prevalenti le formazioni calcareo-marnose.

La composizione mineralogica distingue nettamente i sedimenti alimentati da formazioni vulcaniche da quelli derivati da formazioni argillose o marnoso-calcaree.

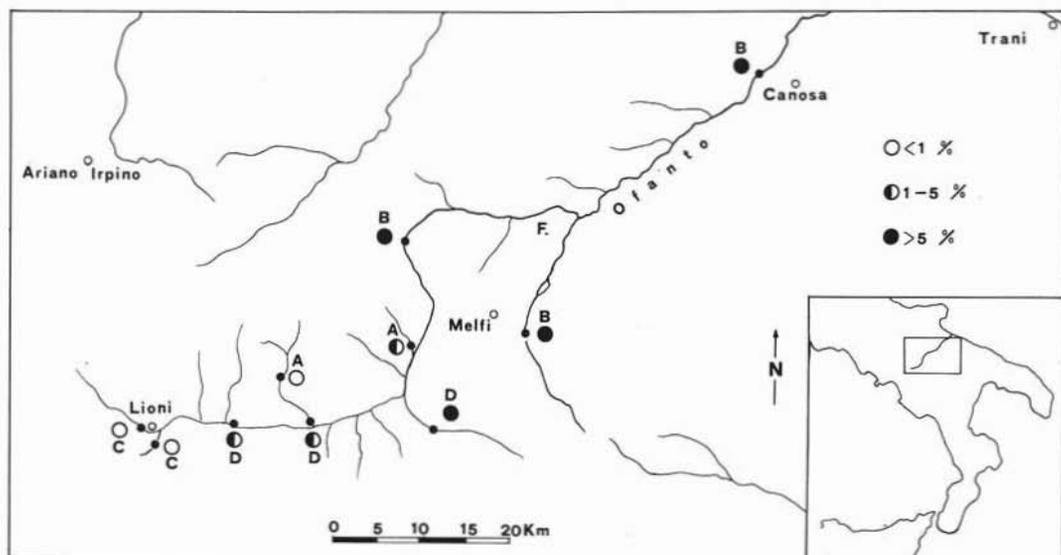


Fig. 5. — Distribuzione della frazione pesante e associazione dei minerali pesanti. - A = pirosseno (diopside) - ossidi di ferro - solfuri di ferro - barite; B = pirosseno (augite) - titanite - apatite; C = pirosseno (diopside) - granati - magnetite - zircono - rutilo - apatite; D = pirosseni (diopside - augite) - magnetite - titanite - apatite.

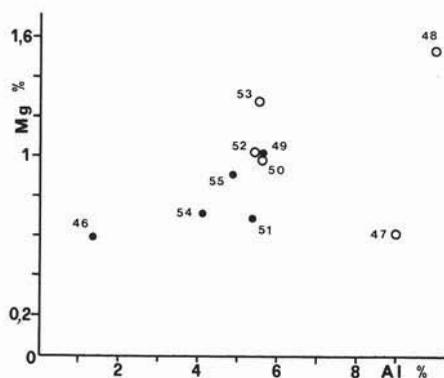


Fig. 6. — Diagramma di correlazione Al-Mg.

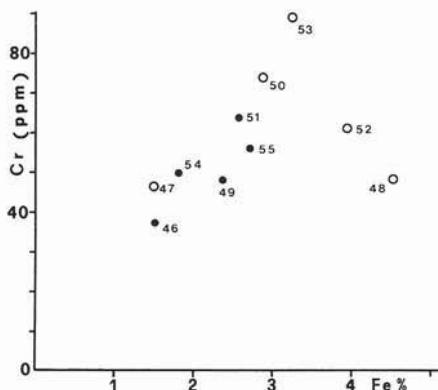


Fig. 8. — Diagramma di correlazione Fe-Cr.

### Composizione della frazione pesante

La figura 5 e la tabella 6 riportano i dati relativi alla composizione della frazione pesante. Dall'esame dei risultati si può desumere quanto segue:

— le quantità di frazione pesante sono nettamente superiori nei sedimenti dell'area vulcanica (10-20 volte superiori agli altri sedimenti);

— le associazioni dei minerali pesanti risultano così distribuite:

- associazione a pirosseno (che nell'area vulcanica ha un contenuto in Fe maggiore di quello proveniente dalle altre formazioni), titanite e apatite sono diffuse nei sedimenti dell'area vulcanica e lungo il corso intermedio dell'Ofanto;

- associazione a pirosseno (diopside-augite), titanite, magnetite, zircono, apatite e granato si rinvengono nella parte alta dell'Ofanto;

- associazioni a pirosseno, ossidi di Fe, solfuri (pirite) e barite sono relativi all'area delle argille plio-pleistoceniche.

La composizione della frazione pesante dei sedimenti dell'Ofanto risulta piuttosto uniforme, tuttavia le differenze e soprattutto quelle quantitative, mettono in evidenza la stretta correlazione fra composizione dei sedimenti alluvionali e la natura del bacino alimentatore.

### Distribuzione degli elementi maggiori, minori e in traccia

Le formazioni affioranti nell'area sono molto eterogenee fra di loro. Come conseguenza anche le relazioni esistenti tra i costituenti principali non sempre assumono un andamento lineare perchè gli stessi elementi possono entrare a far parte di minerali anche molto diversi per paragenesi e composizione.

Tuttavia è significativo osservare che il campione 15347, prelevato in un affluente del fiume Ofanto che incide su formazioni arenacee, presenta la più elevata concentrazione di K e Al, come conseguenza dell'alta percentuale di K-feldspato presente nel campione.

I campioni 15348, 15352 e subordinatamente 15353 presentano invece i più alti tenori in Fe, Mg a causa dei forti apporti di silicati ferro-magnesi dalle vulcaniti del Vulture.

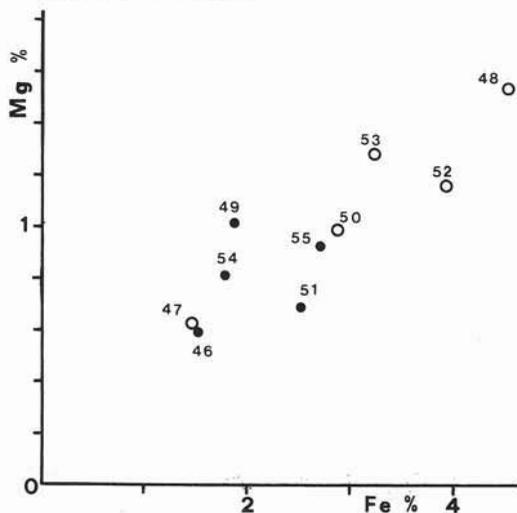


Fig. 7. — Diagramma di correlazione Fe-Mg.

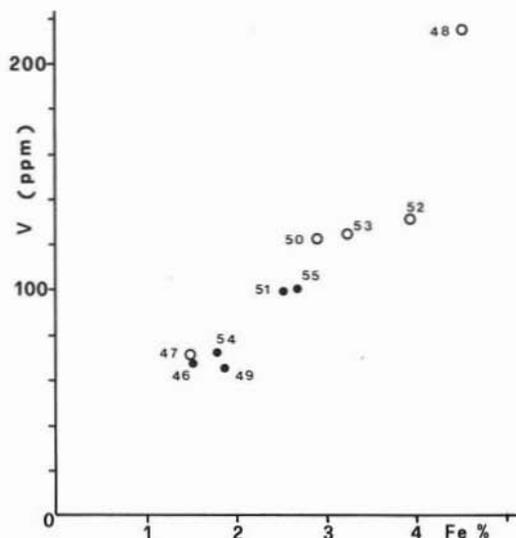


Fig. 9. — Diagramma di correlazione Fe-V.

Nel caso in cui gli elementi siano associati a minerali la cui composizione può variare entro limiti abbastanza contenuti, le relazioni tra singole coppie di elementi appaiono più semplici.

I diagrammi di correlazione tra Al-Mg e Fe-Mg (figg. 6 e 7) mostrano dei buoni coefficienti di correlazione ed evidenziano che anche nell'area in studio, pur in presenza di formazioni carbonatiche, gli elementi considerati sono associati in prevalenza ai silicati.

Se si osservano le relazioni tra Fe e Cr della figura 8, si nota una forte interdipendenza tra i due elementi a conferma che il cromo è legato in prevalenza ai silicati di ferro-magnesio. I campioni 15348 e subordinatamente 15352 nei quali è più marcato l'apporto delle vulcaniti, hanno un rapporto Cr/Fe inferiore rispetto agli altri campioni. Ciò può essere attribuito alla presenza nelle vulcaniti di minerali di Fe con un rapporto (Cr/Fe) più basso rispetto a quello dei corrispondenti minerali delle altre formazioni.

Nella fig. 9, dove gli elementi presi in esame sono Fe e V, tutti i campioni risultano ben correlati in accordo con le caratteristiche geochimiche del vanadio, che specie nell'ambiente endogeno tende a sostituire il  $Fe^{+++}$ . Le stesse osservazioni sono valide anche nei confronti delle correlazioni Fe-Mn, Fe-Ni e Fe-Co e confermano la stretta associazione

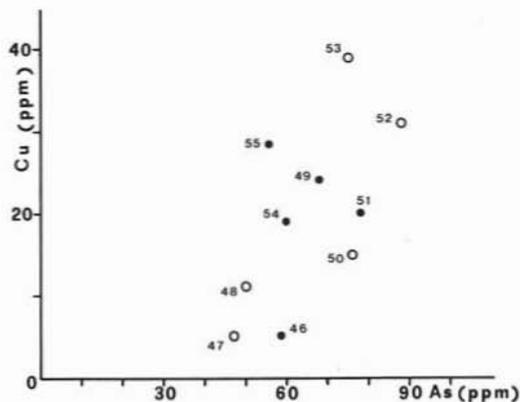


Fig. 10. — Diagramma di correlazione As-Cu.

di questi elementi con i silicati ferro-magnesiaci.

Un altro gruppo di elementi che riveste notevole importanza dal punto di vista ambientale è costituito dal Cd, Pb, As, Cu e Zn. La fig. 10 riporta il diagramma tra Cu e As, e mostra che i due elementi appaiono notevolmente correlati. Le stesse considerazioni sono valide anche per As-Zn e in misura minore As-Pb.

Anche la buona correlazione esistente tra Pb e Zn è una conferma che questi elementi sono associati agli stessi minerali (solfuri) o legati allo stesso tipo di composti in analogia a quanto era già stato osservato per i sedimenti del fiume Magra (FERRETTI et al., 1982). Il comportamento decisamente anomalo del campione 15348 risulta attribuibile ai processi d'inquinamento in accordo anche a quanto emerso nella discussione sui caratteri delle acque.

## Conclusioni

Lo studio delle acque, delle particelle sospese e dei sedimenti del fiume Ofanto ha permesso di giungere a una valutazione sulle modalità di circolazione degli elementi in traccia in questo bacino.

I tenori degli elementi in traccia nelle acque sono risultati normali e coerenti con le caratteristiche litologiche dell'area investigata.

La quantità degli elementi che è trasportata nelle particelle sospese eccede in molti casi la quantità trasportata in soluzione e la

concentrazione di Pb, Cu, Zn, Cr e Mn nelle particelle sospese è superiore a quella dei sedimenti. Va comunque sottolineato che la biodisponibilità è in funzione delle caratteristiche geochimiche dell'elemento e della sua ripartizione tra fasi liquide e solide.

Le caratteristiche sedimentologiche e mineralogiche, che risultano ben correlate con la natura delle formazioni litologiche affioranti nei bacini esaminati, hanno permesso di dare una interpretazione più precisa dei tenori e delle interrelazioni tra i vari elementi. Così è stato osservato che il tenore di Fe e di Mg è correlato dalla presenza dei silicati ferromagnesi. I tenori di Cr, Ni, Co, V e Mn risultano sempre ben correlati con quelli di Fe e Mg e quindi legati anch'essi ai silicati ferromagnesi. As, Cu, Zn e Pb che sono in genere ben correlati tra loro e in misura mi-

nore con gli altri costituenti fondamentali, sono da ritenersi legati preferenzialmente ai solfuri e ad altri composti tipici dell'ambiente supergenico.

I risultati acquisiti confermano che nell'area in esame i livelli degli elementi sono in genere dovuti ai processi naturali e non imputabili ai processi antropici.

Fa eccezione il campione n. 15348, raccolto su un affioramento di destra, che per i tenori di Zn e Pb relativamente elevati e per il comportamento anomalo nelle correlazioni con gli altri elementi evidenzia un modesto processo d'inquinamento.

*Ringraziamenti.* — Gli autori ringraziano il prof. M. DALL'AGLIO per i suggerimenti ricevuti nella impostazione di questo studio, e per la lettura critica del manoscritto.

#### BIBLIOGRAFIA

- ACCADÉMIA NAZIONALE DEI LINCEI (1973) - Atti del Convegno sul tema: *Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino*. Acc. Naz. Lincei, Quad. 183, pp. 456.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., DE CASSAN P., GHIARA E., MIGNUZZI C., ORLANDI C., PAGANIN G. (1981) - *Distribuzione di Piombo, Zinco, Rame, Cadmio, Cromo, Arsenico, Selenio, Ferro, Manganese, Vanadio, Molibdeno, Uranio e Radio nelle acque dei più importanti fiumi italiani*. Rendiconti SIMP, 37 (2), 967-978.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., GHIARA E., MIGNUZZI C. (1981) - *Environmental studies on lead alkyl release in sea water by the Cavtat wrench*. The Science of the Total Environment, 19, 21-31.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., GHIARA E., GRAGNANI R. (1982) - *Analisi degli elementi in traccia nel particolato sospeso nelle acque naturali. Primi risultati su importanti corpi idrici italiani*. XX Seminario Spettrochimica, Firenze, 4-6 ottobre, pp. 199-206.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., FALCHI G., ORLANDI C. (1983) - *Trace element distribution in the major aquifers of the Latium Region (Italy)*. Int. Conf. « Heavy Metals in the Environment », Heidelberg, September 1983, V. 1, pp. 680-683.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., GHIARA E., GRAGNANI R. (1983) - *Trace element analysis in natural waters*. Int. Conf. « Heavy Metals in the Environment », Heidelberg, September 1983, V. 1, pp. 204-207.
- DALL'AGLIO M. (1982) - *Livelli naturali degli elementi tossici in traccia e loro alterazioni antropogeniche*. Atti del Seminario su « Metodologie di gestione delle risorse idriche », Sabaudia, 22 maggio 1979, pp. 1-17.
- DALL'AGLIO M., GRAGNANI R. (1983) - *Distribuzione di costituenti inorganici maggiori, minori ed in traccia nelle acque sotterranee di Milano. Nota preliminare*. Inquinamento, maggio 1983, pp. 51-54.
- D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1973) - *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Atti del Conv. « Moderne vedute sulla geologia dell'Appennino ». Acc. Naz. Lincei, V. 186, pp. 49-72.
- D'ARGENIO B., ALVAREZ W. (1979) - *Stratigraphic evidence for crustal thickness change on the Southern tethyan margin during the alpine cycle*. Geol. Soc. America Bull., V. 91, pp. 681-689.
- FERRETTI O., GRAGNANI R., PAPUCCI C. (1982) - *Distribuzione di Zn, Pb, Cu, Cd, Mg, Ni, Co, V, Cr, U, <sup>137</sup>Cs e caratterizzazione mineralogica e granulometrica dei sedimenti del fiume Magra*. Rend. SIMP, 38 (1), 435-448.
- IPPOLITO F., D'ARGENIO B., PESCATORE T., SCANDONE P. (1975) - *Structural stratigraphic units and tectonic framework of southern Apennines*. In Geology of Italy, edited by Coy Squeyza, pp. 317-328.
- PESCATORE T. (1976) - *The Irpinids. A model of tectonically controlled fan and base of slope sedimentation in southern Italy*. Stanley J., Kelling G. (Eds.). Sedimentation in submarine canyons, fans and trenches. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, pp. 325-339.
- PESCATORE T. (1978) - *Evoluzione tettonica del bacino irpino (Italia meridionale) durante il Miocene*. Boll. Soc. Geol. It., V. 97, pp. 783-805.
- PESCATORE T. (1981) - *Lineamenti strutturali dell'Appennino Campano-Lucano*. Rend. Soc. Geol. It., V. 4, pp. 49-54.