

MAURO BRONDI*, MARIO DALL'AGLIO*, PIERO DE CASSAN*,
ENNIO GHIARA*, CARLO MIGNUZZI*, CARLO ORLANDI*, GIORGIO PAGANIN*

DISTRIBUZIONE DI PIOMBO, ZINCO, RAME, CADMIO, CROMO, ARSENICO, SELENIO, FERRO, MANGANESE, VANADIO, MOLIBDENO, URANIO E RADIO NELLE ACQUE DEI PIÙ IMPORTANTI FIUMI ITALIANI

RIASSUNTO. — Le ricerche del Laboratorio di Geochimica Ambientale del CNEN sono prioritariamente finalizzate alla acquisizione di nuovi dati sperimentali sulla contaminazione ambientale da parte delle attività umane in genere, e delle diverse fonti energetiche in particolare.

Il Laboratorio ha comunque dovuto intraprendere, negli ultimi anni, anche una serie di impegnative ricerche di base per acquisire quelle informazioni, sostanzialmente incomplete o mancanti, relative allo stato di salute dell'ambiente nel nostro Paese.

Uno dei programmi più impegnativi del Laboratorio riguarda l'acquisizione di informazioni attendibili sui livelli e le modalità di circolazione degli elementi in traccia nei corpi idrici più importanti del nostro Paese. La prima fase di questo programma prevedeva la determinazione degli elementi in traccia di rilevante interesse ambientale nelle acque dei più importanti fiumi italiani.

A partire dal 1975 sono state condotte campagne sistematiche che hanno interessato, inizialmente una decina, e negli ultimi anni venti stazioni di prelievo, sistemate in punti rappresentativi del reticolo superficiale della penisola. Sono state impiegate procedure analitiche complete, specificamente messe a punto presso il laboratorio per questi tipi di rilievi. In ogni campione di acqua sono stati determinati tanto i parametri chimico-fisici più importanti ed i costituenti maggiori e minori disciolti, come pure gli elementi in traccia Pb, Zn, Cu, As, Cd, Se, Cr, Mo, V, Mn, Fe, U e Ra.

Nella relazione vengono presentati e discussi i risultati più significativi sin qui ottenuti. Le acque dei fiumi italiani presentano tenori non molto elevati degli elementi studiati, ed il livello di inquinamento risulta in genere limitato per quel che riguarda gli elementi in traccia esaminati.

ABSTRACT. — Research activities of CNEN's Environmental Geochemistry Laboratory (EGL) is mainly focused on the study of environmental pollution caused by different energy sources.

In the last five years EGL undertaken experimental researches on trace elements distribution in Italian inland waters and in airborne particulate, in order to collect basic information, till now incomplete in our Country, as well as on setting up new analytical complete procedure, sensitive and reliable enough for the analysis of trace elements in unpolluted natural waters.

In the paper new data are presented on the distribution of trace elements in Italian rivers.

These data deal with the content of Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, As, Se, Fe, Mn, V, Mo, U, Ra in the filtered water samples.

Data gathered till now indicate, in general, low pollution levels of all the considered elements.

In the paper the results obtained are discussed in details with respect to environmental conditions too, met in the different areas of Italian peninsula.

* Laboratorio di Geochimica Ambientale CNEN, RAD-PA, 00060 S. Maria di Galeria, Roma.

1. - Introduzione

Le ricerche del Laboratorio di Geochimica Ambientale del CNEN sono prioritariamente finalizzate alla acquisizione di nuovi dati sperimentali sulla contaminazione causata dalle attività umane in genere, ed in particolare dalle diverse fonti energetiche.

Il nostro Paese è infatti caratterizzato da elevata densità media di popolazione, con addensamento di tutte le attività umane nelle pianure e lungo le coste. Proprio in tale situazione è urgentemente necessario acquisire tutte le informazioni ambientali indispensabili per una corretta gestione del territorio e per una responsabile programmazione delle diverse attività umane. Le attività industriali in genere, e le installazioni energetiche in particolare, provocano un consistente impatto ambientale che non è misurabile solo sul metro dell'impatto territoriale, ma anche su quello della contaminazione ambientale e sui possibili conseguenti effetti sulla salute pubblica.

Oltre alla conduzione di ricerche orientate alla soluzione dei problemi ambientali corrispondenti alle diverse specifiche situazioni, il Laboratorio ha dovuto intraprendere una serie di impegnative ricerche di base per acquisire quelle informazioni, sostanzialmente incomplete o mancanti nel loro insieme nel nostro Paese, relative alle condizioni di salute dell'ambiente.

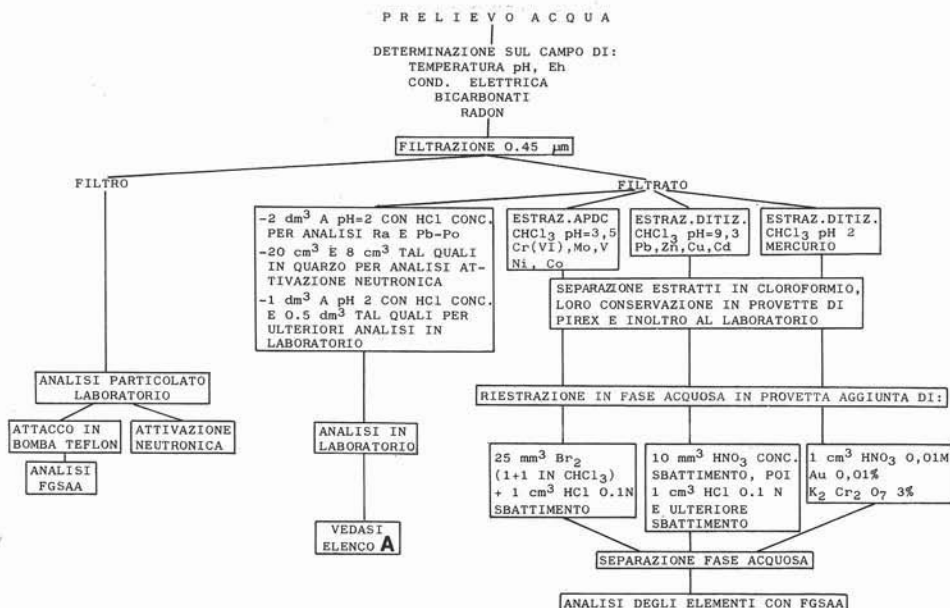
Uno dei programmi di più ampio respiro riguarda l'acquisizione di nuovi dati sperimentali attendibili sui livelli e sulle modalità di circolazione degli elementi in traccia più significativi nei corpi idrici più importanti del nostro Paese. La prima parte già realizzata di questo programma prevedeva la determinazione degli elementi in traccia nelle acque dei più importanti fiumi italiani.

A partire dal 1975 sono state condotte campagne sistematiche che hanno interessato sino a 20 stazioni di prelievo sistematiche in punti rappresentativi del reticolo idrografico superficiale italiano. Gli elementi determinati sono: Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, As, Se, Fe, Mn, V, Mo, U e Ra.

2. - Procedure analitiche

Le procedure impiegate estesamente nelle ricerche sperimentali condotte dal Laboratorio sono state tutte sottoposte ad un'accurata messa a punto e sperimentazione di campo e di laboratorio in maniera da soddisfare le seguenti esigenze:

- a) raggiungere una sensibilità analitica molto elevata, e comunque sufficiente a determinare i livelli riscontrati di norma in acque naturali non contaminate;
- b) avere a disposizione procedure analitiche non eccessivamente complicate, ma capaci di fornire risultati attendibili e riproducibili anche ai più bassi tenori riscontrati nelle acque naturali;
- c) avere, in particolare, la ragionevole certezza di non alterare in maniera irreversibile il campione da analizzare durante la conservazione e le manipolazioni dello stesso prima della fase di analisi strumentale.



- 2) eliminazione dei rischi derivanti dalla precipitazione o adsorbimento degli elementi in traccia presenti nei campioni d'acqua da analizzare. Alcuni elementi in traccia (ad es. Cr e Hg) sono infatti presenti nelle acque naturali sotto forma instabile o facilmente adsorbibile;
- 3) riduzione dei bianchi a valori molto più bassi dei valori riscontrabili nei campioni da analizzare;
- 4) ottenimento nell'analisi strumentale di un elevato rapporto segnale/rumore.

Nella pratica, sono state in primo luogo selezionate bottiglie di polietilene di elevata purezza, che hanno dimostrato di non contaminare in maniera apprezzabile i campioni di acqua acidificata. Tali bottiglie vengono lavate con acido e purificate prima del loro uso.

Molti dei reattivi impiegati, anche se di elevata purezza analitica, vengono sottoposti a purificazione al fine di minimizzare i valori dei bianchi e aumentare quindi la sensibilità effettiva delle analisi. È questo il caso dei reattivi impiegati per la determinazione dei metalli pesanti e dell'arsenico.

Alcuni elementi che possono subire processi di precipitazione o adsorbimento sulle pareti del recipiente di conservazione, o che presentano elevati rischi di contaminazione nelle fasi di manipolazione del campione, vengono sottoposti ad estrazione specifica di complessi metallo-organici in solventi organici *sul posto stesso di campionamento*. È questo il caso del Cr, di Pb, Cu e Cd, e del mercurio. Una successiva riestrazione dei metalli dalla fase organica in soluzione acquosa garantisce infine un elevato fattore di concentrazione ed un trascurabile effetto matrice.

L'analisi strumentale viene effettuata mediante fornace di grafite in spettrofotometria di assorbimento atomico (HGA 500 e 5000 della P.E.).

La sensibilità effettivamente raggiunta in condizioni di normale lavoro varia da qualche ng/l a qualche decina di ng/l.

Lo schema generale delle procedure analitiche impiegate è riportato in fig. 1.

3. - Lavoro svolto

Come già accennato, a partire dal 1975 il Laboratorio ha intrapreso lo studio sistematico della distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nelle acque dei fiumi italiani. Nelle prime campagne erano stati presi in esame i circa dieci fiumi sottoposti ad indagine nell'ambito della partecipazione italiana al Programma Idrologico Internazionale dell'UNESCO.

Nel seguito il reticolo di campionamento veniva esteso sino a comprendere tutti i più rappresentativi corsi d'acqua della penisola, nel mentre anche sul piano metodologico venivano compiuti progressi sia sotto il profilo delle procedure analitiche che sotto il profilo dell'organizzazione del lavoro.

Nei prossimi anni le ricerche saranno ampliate ad altri importanti elementi per i quali sono già state messe a punto procedure analitiche adatte allo scopo,

come ad esempio il mercurio, e verranno estese ai più significativi fiumi delle isole. Verranno inoltre studiati i più importanti corpi idrici come laghi e sorgenti. Altra estensione delle ricerche concerne l'analisi degli elementi considerati nel particolato sospeso nelle acque. Anche in questo caso sono state messe a punto le metodologie analitiche basate sia su attivazione neutronica che spettrofotometria

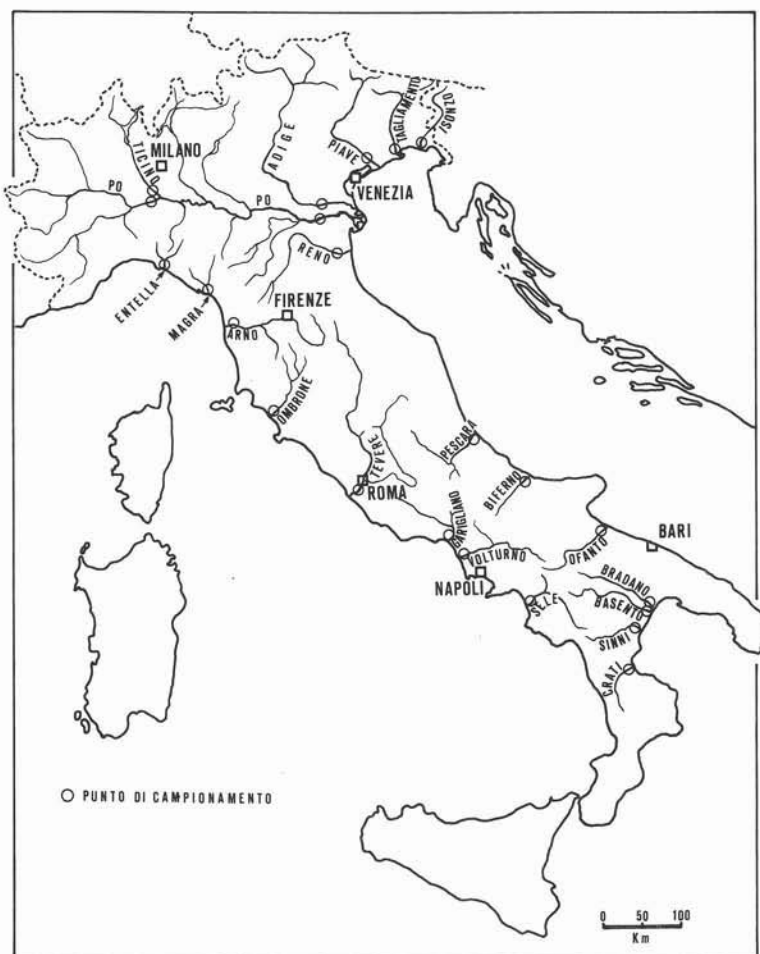


Fig. 2. — Carta di campionamento dei più importanti fiumi italiani.

di assorbimento atomico, quest'ultima previo attacco del filtro in bomba di Teflon.

In questa sede verranno presentati e discussi solo i risultati ottenuti a seguito dei rilievi effettuati nel corso del 1979, anche perchè i controlli effettuati con cadenza annuale hanno chiaramente indicato che, al di là delle fluttuazioni dovute a diverse condizioni stagionali e idrologiche, sussiste una sostanziale persistenza nei tenori degli elementi studiati.

TABELLA 1

Costituenti inorganici maggiori e minori disciolti nelle acque dei più importanti fiumi italiani. Campionamento del 1979

	t°C	pH	Cond. El. ohm ⁻¹ cm ⁻¹ x 10 ⁻⁴	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	SiO ₂	F	B
								mg/l					
PESCARA	17	7,7	6,9	86	19,5	17,4	2,6	329	27	29,1	0,5	0,18	0,30
BIFERNO	22	8,1	6,1	66	15,8	32,2	4,7	250	48	39,0	8,4	0,30	0,49
OFANTO	23	8,2	8,5	62	17,0	78,2	18,8	293	67	78,0	12,0	0,82	0,27
BRADANO	24	8,1	11,0	70	37,7	103,0	11,7	256	134	138,0	3,5	0,49	0,25
BASENTO	23	7,8	10,0	62	28,0	66,7	10,6	220	163	60,3	0,9	0,30	n.d.
SINNI	25	8,2	5,1	50	21,9	15,6	2,9	189	58	18,8	8,4	0,32	0,16
CRATI	24	8,2	4,4	42	17,0	14,5	2,9	189	28	18,8	10,2	0,34	0,59
SELA	23	8,0	5,4	70	20,6	12,6	3,9	299	15	17,3	6,6	0,26	0,11
VOLTURNO	21	7,8	8,7	104	41,3	19,7	9,0	506	17	25,9	7,8	0,40	0,32
GARIGLIANO	18	7,3	5,9	106	21,9	5,3	2,6	421	11	8,9	5,2	0,25	0,65
RENO(P.Bastia)	22	7,7	6,7	68	20,6	34,5	4,3	256	72	33,0	7,2	0,26	0,43
PO(P.L.Scuro)	21	8,3	4,0	52	12,1	10,3	3,0	171	34	12,4	6,0	0,24	0,01
ADIGE(Boara)	16	7,8	2,6	32	9,4	3,4	2,1	110	22	3,2	5,1	0,21	0,01
PIAVE(Noventa)	19	7,9	4,1	54	20,6	2,7	1,2	207	38	3,2	3,6	0,14	0,01
TAGLIAMENTO	15	7,4	5,1	70	25,5	1,9	0,9	195	86	2,8	4,5	0,21	0,08
ISONZO	16	7,4	3,0	46	11,9	1,7	0,9	183	7,2	3,0	1,9	0,1	0,01
PO(Pavia)	18	7,6	5,0	68	15,8	8,9	3,6	226	48	10,2	10,8	0,18	0,01
TICINO	19	7,0	2,4	32	7,5	5,5	1,9	98	26	6,4	5,7	0,14	0,01
ENTEELLA	22	8,1	3,3	40	6,4	16,3	1,4	140	23	11,7	6,6	0,14	0,02
MAGRA	21	7,9	5,6	66	9,8	27,6	2,3	165	58	46,1	5,4	0,10	0,16
ARNO	22	8,0	9,1	102	23,1	52,9	6,3	305	115	60,3	6,0	0,57	0,38
OMBRONE	23	7,7	10,0	128	40,1	36,8	5,5	213	307	46,1	7,2	0,44	0,49
TEVERE	19	8,0	10,0	132	26,8	66,7	7,4	415	91	88,6	11,4	0,46	0,20

TABELLA 2

*Contenuti di elementi in traccia nelle acque di fiumi italiani.
Campioni raccolti dal 27 agosto al 7 settembre 1979*

FIUME	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	As	Se	V	Mo	U	Ra pCi/l
PESCARA	35	13	4.1	1	0.4	0.085	0.35	0.280	0.015	≤ 0.2	0.80	0.5	≤ 0.08
BIFERNO	36	37	1.8	0.6	0.25	0.060	0.12	0.080	0.080	≤ 0.2	0.72	1.2	≤ 0.08
OFANTO	16	18	2.0	0.8	0.30	0.060	0.10	0.080	0.055	≤ 0.2	2.5	4.4	0.15±0.12
BRADANO	55	47	2.5	0.6	0.30	0.055	0.10	0.100	0.045	≤ 0.2	1.1	3.1	0.13±0.10
BASENTO	30	119	1.85	0.7	0.16	0.050	0.12	0.100	0.015	≤ 0.2	0.96	0.78	≤ 0.08
SINNI	24	4	1.5	0.4	0.15	0.060	0.31	0.120	0.075	≤ 0.2	0.96	0.52	≤ 0.08
CRATI	53	13	1.5	0.3	0.16	0.060	0.10	0.110	0.039	≤ 0.2	1.60	0.93	≤ 0.08
SELE	26	32	1.2	0.3	0.20	0.055	0.11	0.080	0.030	≤ 0.2	0.70	0.85	≤ 0.08
VOLTURNO	7	24	1.9	0.5	0.18	0.070	0.12	0.090	0.018	0.35	0.68	0.78	≤ 0.08
GARIGLIANO	27	19	1.7	0.3	0.20	0.050	0.10	0.075	0.015	≤ 0.2	0.68	0.73	≤ 0.08
RENO	14	69	1.8	0.4	0.18	0.080	0.18	0.280	0.035	≤ 0.2	1.20	0.62	≤ 0.08
PO(LAGOSCURO)	5	13	2.5	0.45	0.15	0.055	0.90	0.380	0.015	≤ 0.2	0.72	1.04	≤ 0.08
ADIGE	21	3	3.2	0.50	0.18	0.065	0.55	0.300	0.008	≤ 0.2	0.72	1.1	0.13±0.09
PIAVE	20	6	1.6	0.25	0.07	0.065	0.18	0.015	0.002	≤ 0.2	0.96	0.66	≤ 0.08
TAGLIAMENTO	10	4	1.5	0.25	0.08	0.055	0.10	0.055	0.009	≤ 0.2	1.0	0.83	≤ 0.08
ISONZO	11	0.4	1.0	0.22	0.07	0.030	0.28	0.015	0.009	≤ 0.2	0.72	0.31	≤ 0.08
PO(PAVIA)	21	514	4.0	0.6	0.21	0.055	1.00	0.650	0.025	≤ 0.2	1.6	1.35	≤ 0.08
TICINO	7	9	1.5	0.3	0.08	0.070	0.80	0.620	0.020	0.8	1.0	0.47	≤ 0.08
ENTEELLA	35	23	140	5.0	8.0	1.8	0.30	0.530	0.015	≤ 0.2	0.68	0.15	≤ 0.08
MAGRA	11	8	2.0	0.4	0.08	0.040	0.22	0.020	0.006	≤ 0.2	0.68	0.41	≤ 0.08
ARNO	10	8	5.8	0.5	0.16	0.080	1.20	0.050	0.008	0.4	1.50	0.93	≤ 0.08
OMBRONE	6	54	3.0	0.25	0.10	0.080	0.10	0.500	0.008	0.3	1.10	0.88	≤ 0.08
TEVERE	41	28	2.8	0.30	0.12	0.070	0.10	0.075	0.060	0.35	0.68	1.14	≤ 0.08

I tenori si riferiscono al campione filtrato a 0,45 µm, e sono espressi in µg/l, per il Ra in pCi/l.

La fig. 2 riporta la mappa del campionamento effettuato nel 1979.

La tab. 1 riporta i risultati analitici relativi ai costituenti maggiori e la tab. 2 i risultati relativi agli elementi in traccia.

4. - Discussione

I dati presentati mostrano che i tenori di tutti gli elementi studiati sono in genere bassi e non dissimili, nella sostanza, dai tenori riscontrati nelle acque naturali non sottoposte ad apprezzabili processi di contaminazione. Solo il fiume Entella indica chiaramente un elevato tasso di inquinamento per tutti i metalli pesanti esaminati.

Può risultare utile effettuare un breve esame critico dei valori riscontrati nelle acque dei fiumi italiani in funzione anche delle loro abbondanze nei più significativi mezzi geochimici e delle loro principali caratteristiche geochimiche.

TABELLA 3

Distribuzione degli elementi nella crosta terrestre, nelle acque di mare e nelle acque dolci

	Crosta terrestre ppm(mg/Kg)	Acque oceaniche µg/l	Acque dolci µg/l
Fe	56.000	5	5 -100
Mn	950	0,5	1 -100
Zn	70	0,5	1 -100
Cu	50	0,1	0,3 - 2
Pb	12	0,03	0,1 - 1
Cd	0,2	0,05	0,05- 0,5
Cr	100	0,05	0,1 - 5
As	2	0,3	0,05- 0,5
Se	0,05	0,1	0,01- 0,1
V	140	0,2	0,1 - 1
Mo	1,5	1	0,5 - 5
U	3	3	0,1 - 1

I valori riportati sono ricavati da: dati inediti del Laboratorio Geochimico Ambientale, KRAUSKOPF, 1967; BRULAND, 1980; SUNDBY et al., 1981; BEWERS et al., 1976; BRONDI et al., 1981.

Per le acque dolci esiste un campo di variabilità molto ampia perchè i tenori riscontrati dipendono fortemente da molti fattori ambientali (ad es. climatici, idrodinamici, litologici etc.). I valori riportati si riferiscono ad acque naturali che non risentono apprezzabilmente di processi di inquinamento o di lisciviazione di rocce eccezionalmente ricche negli elementi considerati.

Già un esame sommario dei dati della tabella rivela una consistente differenza di comportamento degli elementi considerati. Così il Fe, uno degli elementi maggiori della crosta terrestre, presenta tenori nelle acque naturali non dissimili da quelli presentati da altri elementi molto meno abbondanti nella crosta. L'uranio, al contrario, che presenta concentrazioni molto basse nelle rocce, è uno di quelli che mostra tenori tra i più elevati nelle acque di mare. Questa prima osservazione indica che gli elementi considerati si comportano in maniera molto diversa per quel che riguarda la *mobilità geochimica*. La mobilità geochimica non rappresenta altro che una misura della tendenza che hanno i diversi elementi a passare nelle acque naturali ed a permanervi sotto forma stabile; e già il rapporto tra tenore medio nell'idrosfera e tenore medio nella litosfera può fornire in prima approssimazione una misura della mobilità geochimica di ciascun elemento.

Alcuni elementi inoltre presentano tenori medi delle acque dolci significati-

vamente superiori a quelli presentati nelle acque di mare, mentre altri elementi si comportano in maniera opposta.

Questa seconda osservazione può aiutare a meglio comprendere il significato di mobilità geochimica, perchè nelle acque dolci, e specie nei fiumi e nelle sorgenti, sussistono due processi antitetici il cui equilibrio dinamico conduce al risultato finale della concentrazione che viene sperimentalmente evidenziata dall'analisi. Da un lato i processi di dissoluzione degli elementi dai minerali che costituiscono le rocce, i suoli ed i sedimenti fluviali, nonchè dalle particelle in sospensione, tendono ad arricchire le acque naturali, e, dall'altro lato, i processi di precipitazione, coprecipitazione e adsorbimento tendono a ritrasferire sulle fasi solide gli elementi presenti in soluzione.

Nell'ambiente marino i processi fondamentali sono sostanzialmente diversi perchè, da un lato, il continuo apporto di elementi in soluzione da parte delle acque dei fiumi e l'evaporazione dell'acqua marina tenderebbero a concentrare indefinitamente elementi che formano composti molto solubili; mentre dall'altro lato i processi di precipitazione e coprecipitazione, di adsorbimento sui prodotti di decadimento della biosfera e sui prodotti argillosi, tendono a far diminuire le concentrazioni degli elementi nelle acque.

I processi che accadono nella realtà naturale sono ben più complessi di quanto sommariamente tratteggiato in precedenza perchè, ad esempio, molti elementi presentano solubilità estremamente diverse a seconda dello stato di ossidazione e delle condizioni chimico-fisiche; il Fe ed il Mn vanno in genere in soluzione allo stato ridotto e poi subiscono ossidazione con conseguente precipitazione degli idrossidi ed ossidi a più elevato stato di ossidazione, estremamente insolubili. Ma lo schema generale di cui sopra può essere ritenuto sufficiente per trarre le conclusioni che qui interessano. Un'elevata mobilità geochimica è quindi indicata da un aumento significativo del tenore dalle acque continentali alle acque oceaniche; è questo il caso dell'U e dell'As. Una bassa mobilità geochimica trova riscontro invece in una diminuzione del tenore passando dalle acque dolci alle acque marine; è questo il caso di tutti gli altri elementi considerati ed in particolare del Pb e del Cr.

Le considerazioni svolte in precedenza, anche se necessariamente brevi ed incomplete, possono fornire un utile supporto per la discussione dei risultati conseguiti nell'analisi delle acque dei più importanti fiumi italiani. I campioni sono stati infatti prelevati in prossimità della foce dei fiumi e le caratteristiche delle acque campionate risentono ovviamente di tutti i processi, sia naturali che artificiali, che sono avvenuti a monte. La mobilità geochimica di ciascun elemento condiziona però drasticamente la capacità di fornire indicazioni su ciò che è avvenuto a distanza dal punto di prelievo. Così, ad esempio, per elementi in traccia molto mobili come U e As, tenori relativamente elevati alla foce possono risentire di processi avvenuti anche a centinaia di Km a monte. È questo il caso del tenore superiore al valor medio di As nel fiume Ombrone, che quasi sicura-

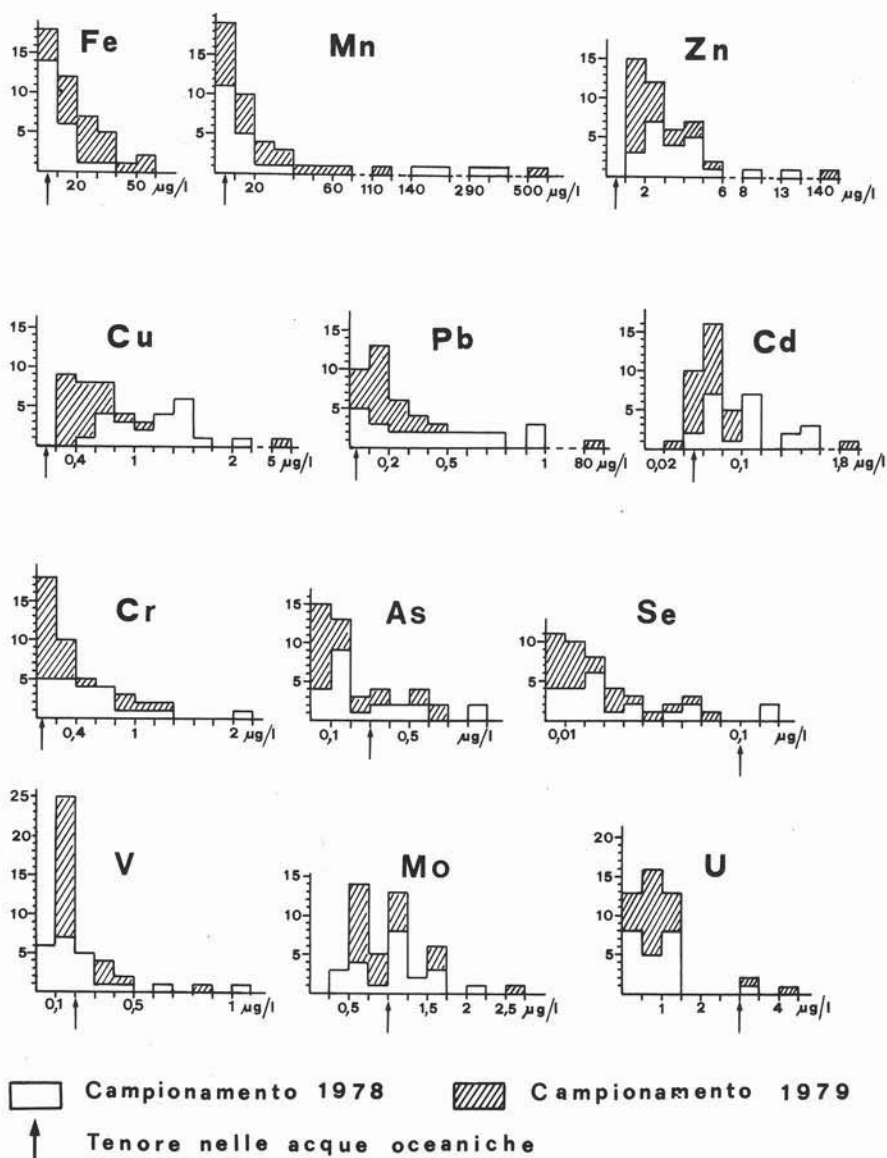


Fig. 3. — Istogrammi dei tenori dei 12 elementi in traccia considerati, relativi ai campioni di acqua raccolti sia nel 1978 che nel 1979.

mente è causato dall'apporto di acque da sorgenti termali nell'alto bacino, acque che presentano un tenore molto elevato di questo elemento.

Per elementi a bassa mobilità geochimica l'analisi di un campione di acqua di fiume può fornire indicazioni di inquinamenti avvenuti a distanza non molto elevata, perchè questi elementi tenderebbero ad essere precipitati o adsorbiti, e comunque eliminati dalla fase acquosa, in un tempo e/o percorso relativamente

breve. È questo il caso di elementi come i metalli pesanti in genere ed in particolare il Pb.

È solo in apparenza contraddittorio trovare tenori in Pb molto bassi in fiumi notoriamente ad elevato tasso di contaminazione, quali l'Arno all'altezza di Pisa, proprio perchè questo elemento tende a precipitare molto rapidamente.

La fig. 3 presenta gli istogrammi relativi ai tenori dei dodici elementi in traccia considerati, determinati nei campioni di acqua raccolti sia nel 1978 che nel 1979. Nella stessa figura sono indicati per riferimento i tenori riscontrati nelle acque oceaniche.

Per quel che riguarda il Fe ed il Mn i tenori normali sembrano essere inferiori ai 20 $\mu\text{g/l}$; valori più elevati non sono univocamente attribuibili a specifici processi naturali o artificiali.

Per lo Zinco i tenori corrispondenti all'estrinsecarsi dei normali processi naturali risultano essere inferiori a 4,5 $\mu\text{g/l}$. Valori più elevati sono da attribuire a inquinamento; è questo il caso dei fiumi Pescara, Arno, Entella.

Il Rame mostra tenori diversi in media nelle due campagne del '78 e del '79. Tutti i tenori normali risultano inferiori a 1,5 $\mu\text{g/l}$ e sono riscontrabili livelli di contaminazione estremamente contenuti.

Per il Piombo e per il Cadmio i tenori normali risultano essere inferiori rispettivamente a 0,3-0,4 e 0,1 $\mu\text{g/l}$. Molto limitato è l'inquinamento se si esclude il fiume Entella.

Il Cromo mostra tenori in genere inferiori a 0,5 $\mu\text{g/l}$; tassi di inquinamento apprezzabili sono riscontrabili nell'Arno e nel Po.

I tenori dell'As sono in genere bassi e cioè inferiori a 0,2 $\mu\text{g/l}$; valori più elevati sono attribuibili a limitati livelli di inquinamento o a processi naturali, quali la venuta a giorno di acque termali per il fiume Ombrone.

Il Se mostra valori estremamente bassi, la maggior parte dei campioni denuncia tenori inferiori a 0,03 $\mu\text{g/l}$.

Il V presenta tenori in media bassi, senza particolari da segnalare.

Il Mo e l'U sono tra gli elementi in traccia con più elevata mobilità geochimica, e ciò è evidenziato dai tenori relativamente elevati nelle acque dolci e di mare, pur presentando questi elementi una bassissima abbondanza geochimica nelle rocce della crosta terrestre. È peculiare il caso dell'uranio perchè non esistono per questo elemento processi di contaminazione apprezzabili. I valori più elevati sono da ascrivere a lisciviazione di rocce con fondo geochimico più elevato (ad esempio vulcaniti e rocce cristalline) anche se queste affiorano a centinaia di Km dal punto di campionamento; è questo il caso del Po e dell'Ofanto.

Il Ra infine presenta sempre tenori molto bassi e quasi sempre al di sotto del limite di rivelabilità della procedura messa a punto presso il Laboratorio di Geochimica Ambientale.

5. - Conclusioni

Sono stati presentati e discussi nuovi dati sulla distribuzione e circolazione degli elementi in traccia più significativi sotto il profilo ambientale nelle acque dei più importanti fiumi della Penisola.

Questi risultati sono stati acquisiti in lunghi anni di ricerche sperimentali di campo e di laboratorio, che hanno interessato anche approfondite sperimentazioni sulla messa a punto di metodologie analitiche anche originali sufficientemente sensibili ed affidabili. È infatti indispensabile avere a disposizione procedure analitiche di sicuro affidamento perchè troppo spesso vengono fornite immagini sulla salute dell'ambiente del tutto distorte dagli errori commessi nella determinazione degli elementi o dei composti.

Questi errori sono particolarmente frequenti e gravi nell'analisi degli elementi in traccia nelle acque naturali, perchè trattasi di uno dei settori più complessi della chimica analitica.

I dati sin qui raccolti indicano che il livello di contaminazione delle acque dei fiumi italiani da parte di elementi in traccia è in genere basso; salvo casi del tutto particolari i tenori riscontrati sono non sostanzialmente dissimili da quelli riscontrati in acque naturali incontaminate.

I programmi del Laboratorio di Geochimica Ambientale del CNEN prevedono graduali estensioni ed approfondimenti delle ricerche sperimentali sulla distribuzione e circolazione dei microinquinanti inorganici nelle sfere geochimiche che hanno uno scambio più attivo con la biosfera e l'uomo in particolare, e cioè atmosfera, idrosfera e pedosfera. Oltre all'acquisizione di questi dati di base sullo stato di salute dell'ambiente sono previste ricerche sperimentali specifiche sulla contaminazione ambientale da parte delle fonti energetiche più importanti per il nostro Paese, dalla geotermia ai combustibili fossili, avendo come punto di riferimento l'energia nucleare.

In un paese come l'Italia, sovraffollato e con scarsi spazi praticamente disponibili, è assolutamente urgente e necessario acquisire tutti quei dati ambientali capaci di fornire indicazioni costruttive per la pianificazione territoriale e per l'ubicazione delle nuove installazioni energetiche. Quest'ultimo problema è particolarmente importante per l'Italia visto che è necessario recuperare il tempo perduto in passato nel settore della produzione energetica, che rappresenta un nodo vitale per lo sviluppo della nostra Comunità Nazionale.

BIBLIOGRAFIA

- BEWERS J. M., SUNDBY A. and YEATS P. A. (1976) - *The distribution of trace metals in the western North Atlantic off Nova Scotia*. Geoch. et Cosmoch. Acta, 40, 687-696.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., GHIARA E., MIGNUZZI C. and TIRAVANTI G. (1981) - *Environmental studies on lead-alkyl release in sea water by the Cavtat wreck*. The Science of the Total Environment, 19, 21-31.

- BRULAND K.W. (1980) - *Oceanographic distribution of cadmium, zinc, nickel and copper in the North Pacific*. Earth and Plan. Sci. Lett., 47, 1976-198.
- CREMISINI C., DALL'AGLIO M. and GHIARA E. (1979) - *Arsenic in Italian rivers and in some cold and thermal springs*. Proceedings of Int. Conf. Heavy Metals in the Environment, London, sept. 1979, 341-344.
- DALL'AGLIO M. and VISIBELLI D. (1974) - *Flame emission scanning as an analytical tool in geochemical studies of alkali metals*. Rend. Soc. Ital. Min. Petrol., XXX, 239-250.
- DALL'AGLIO M. and CASENTINI E. (1970) - *The distribution of Uranium between precipitates and brines in the solar salt plant of Margherita di Savoia*. Boll. Soc. Geol. It. 89, 475-484.
- DALL'AGLIO M., GHIARA E. and PROIETTI W. (1978) - *New data on the hydrogeochemistry of Selenium*. Rend. Soc. Ital. Min. Petrol., 34 (2), 591-604.
- KRAUSKOPF K.B. (1967) - *Introduction to geochemistry*. McGraw-Hill, 721 p.
- MASTINO G.G. (1975) - *An Emanation Apparatus with Simple Operational Procedure for measurements of low level Ra-226*. Health Phys., 28, 97-104.
- SUNDBY B., SILVERBERG N. and GHESSELET R. (1981) - *Pathways of manganese in an open estuarine system*. Geoch. et Cosmoch. Acta, 45, 293-308.