

MARIO DALL'AGLIO \*, PIERO DE CASSAN \*, ENNIO GHIARA \*, ROBERTO GRAGNANI \*

## STUDIO SULLA DISTRIBUZIONE E SUL COMPORTAMENTO DELL'URANIO E DEL FLUORO NELLA ZONA INTERESSATA DAGLI SCARICHI DELL'IMPIANTO « FABBRICAZIONI NUCLEARI » SITO IN BOSCO MARENCO (AL)

RIASSUNTO. — È stato effettuato lo studio della distribuzione e circolazione dell'uranio e del fluoro nell'area destinata allo scarico dell'impianto « Fabbricazioni Nucleari », sito a Bosco Marengo (Alessandria), al fine di definire i valori di fondo dell'uranio nelle acque, nei sedimenti fluviali e nei terreni, e del fluoro nelle acque, prima che l'impianto entrasse in esercizio. Sono state altresì definite le caratteristiche geochimiche delle acque e i caratteri granulometrici e mineralogici di alcuni sedimenti fluviali al fine di giungere ad una previsione ragionevole sul comportamento e sul destino ultimo dell'uranio e del fluoro eventualmente immessi nell'ambiente.

ABSTRACT. — The distribution and circulation of uranium and fluorine in the vicinity of the plant « Fabbricazioni Nucleari » in Bosco Marengo (Alessandria) has been studied.

This with the aim to know the background values and the natural fluctuation of uranium and fluorine contents in the environment before the start of the above plant activity.

Samples of ground and stream waters, alluvia, soils were collected and analysed. Hydro-geochemical and physico-chemical feature of the area surrounding the Fabbricazioni Nucleari plant, as well as the mineralogical and granulometric characteristics of alluvia, were also studied in order to achieve a reasonable approximation in predicting the geochemical behaviour and the fate of the waste disposed.

### 1. Introduzione

Lo studio della distribuzione e circolazione dell'uranio nella zona interessata dagli scarichi dell'impianto « Fabbricazioni Nucleari », sito in Bosco Marengo, è stato programmato ed eseguito alla luce delle seguenti considerazioni.

- 1) L'impianto in oggetto è destinato al trattamento di diversi composti di uranio (compreso l'esaffluoruro); l'uranio ed il fluoro che potrebbero essere immessi nell'ambiente non possono essere facilmente discriminati dagli stessi elementi che già circolano nella zona secondo le normali modalità geochimiche.
- 2) La valutazione quantitativa di una eventuale contaminazione ambientale non può pertanto prescindere dalla conoscenza dei tenori di questi elementi nelle diverse sfere geochimiche della zona in esame.

---

\* CNEN - RAD PA - Lab. Geochim. Ambientale - C.S.N., Casaccia, S. Maria di Galeria (Roma).

- 3) L'approssimazione raggiungibile nella definizione dei valori di contaminazione ambientale viene pertanto a dipendere dall'approssimazione ottenibile nella definizione dei valori di background naturale, ed in ultima analisi dalle variazioni effettivamente casuali dei tenori, oltre che naturalmente dai livelli di contaminazione.
- 4) L'uranio eventualmente immesso nell'ambiente, a prescindere dalla sua composizione isotopica, si comporterà come l'uranio che già circola in natura. Tanto i processi di accumulo in corrispondenza di particolari ambienti geochimici, come pure la dissoluzione e la successiva dispersione nelle acque naturali, ed in definitiva il destino degli effluenti radioattivi scaricati, può essere prevista in base alla conoscenza delle modalità di circolazione dell'uranio che già circola in natura.

Lo studio fin qui condotto riguarda l'acquisizione dei valori di background per quanto concerne la distribuzione dell'uranio nelle differenti sfere geochimiche (acque, alluvioni, terreni), nonché della variabilità di tali valori. Sono stati altresì determinati quei fattori geochimici esterni (condizioni chimico-fisiche, quali pH, Eh, composizione delle acque ecc.), che condizionano le modalità di circolazione dell'uranio.

Sono stati eseguiti due rilievi in condizioni climatiche, e quindi idrogeologiche, differenti, al fine di acquisire informazioni le più complete possibili sulle variazioni naturali dei tenori di uranio nella regione in studio. Le stesse considerazioni sono applicabili al caso del fluoro.

Il primo campionamento si è svolto dal 3 al 6 aprile 1973 in un periodo di scarse precipitazioni, ed il secondo dal 5 al 7 marzo 1974, in coincidenza di un periodo di media piovosità.

Durante il lavoro di campagna sono stati raccolti 53 campioni di acque, 38 campioni di sedimenti fluviali e 18 campioni di terreni. Le stazioni di campionamento sono riportate nella fig. 1. Oltre ai campioni raccolti nei dintorni del sito, sono stati raccolti campioni di acque e alluvioni anche nei fiumi Scrivia, Orba, Bormida e Tanaro, per meglio definire i valori di fondo dell'uranio nella zona in studio.

Durante la fase di campagna è stata effettuata sul luogo di campionamento la filtrazione delle acque (mediante attrezzatura Millipore), la determinazione del pH, Eh, cond. elettrica, e del tenore di Ca, Mg e  $\text{HCO}_3$ . Le analisi sul posto sono state condotte mediante l'impegno di laboratori analitici portatili, espressamente progettati ed approntati per studi di questo tipo (BRONDI M. e Altri, 1966).

Le analisi sono state completate presso il laboratorio della Casaccia con la determinazione di: Na, K,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , F, B,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Fe, Mn, U in soluzione e U legato alle sostanze sospese nell'acqua.

I campioni di limo sono stati analizzati per il tenore di uranio, sostanze organiche e perdita alla calcinazione; su otto campioni di limo è stata eseguita l'analisi granulometrica e mineralogica. I terreni sono stati analizzati per uranio liscivabile e totale.



## 2. Presentazione e discussione dei dati

### 2.1. *Chimismo delle acque*

Sono state campionate, oltre che le acque del rio Lavassina e dei pozzi situati in prossimità del sito, anche le acque dei fiumi Scrivia, Orba, Bormida e Tanaro. Tutti questi fiumi appaiono essere fortemente inquinati da scarichi urbani ed industriali. Il torrente Lavassina, soprattutto in regime di magra, rappresenta un effluente degli scarichi civili e delle industrie degli abitati di Novi Ligure, Bosco Marengo, Spinetta Marengo. In questo corso d'acqua la portata ed il chimismo delle acque dipenderanno sostanzialmente dalla qualità e quantità degli scarichi delle varie industrie.

Nella tabella 1 sono riportate le analisi dei campioni esaminati.

Nella tabella 2 sono riportati i valori medi dei parametri esaminati.

Nella fig. 2 i punti rappresentativi delle acque esaminate sono riportati in un diagramma Eh-pH. Questo tipo di diagrammi è molto utile per rappresentare le caratteristiche chimico-fisiche più importanti ai fini della circolazione di tutti quegli elementi chimici che presentano diversi stadi di ossidazione. Elementi come il Fe, il Mn e l'uranio presentano infatti caratteristiche geochemiche molto diverse a seconda del loro stato di valenza.

Il Fe e Mn risultano solubili e quindi mobili allo stato ridotto (come ioni bivalenti) mentre formano idrossidi molto insolubili, e quindi sono sostanzialmente immobili, allo stato di maggiore ossidazione. L'uranio, al contrario, è immobile allo stato tetravalente e molto mobile allo stato esavalente.

Nella fig. 2 sono riportate anche le curve di passaggio dallo stato ridotto a quello ossidato di U, Fe e Mn, corrispondenti a diverse attività degli elementi e del carbonato, che è il più efficace complessante dello ione uranile.

I punti rappresentativi delle acque esaminate cadono nel campo compreso tra gli ambienti di transizione e gli ambienti a contatto con l'atmosfera (CARRELS R.M., CHRIST C.L., 1965). Alcuni campioni cioè non presentano potenziali ossido-riduttivi corrispondenti all'equilibrio con l'ossigeno dell'atmosfera, e questo capita anche ad acque superficiali scorrevole. Ciò sta a dimostrare che il sistema è perturbato dall'apporto di sostanze con caratteristiche riducenti, e che l'effetto di tali sostanze è marcato e diffuso nella zona in esame.

L'esame dei tenori in Fe ed in Mn nelle acque studiate conferma quanto sopra tratteggiato. (Si veda tab. 1). Questi elementi presentano tenori completamente anormali per acque superficiali, in molti dei campioni esaminati. Tali tenori derivano da varie fonti di inquinamento.

#### 2.1.1. *Caratteri chimico fisici e composizione delle acque*

La salinità delle acque campionate varia da 28 a 14 milliequivalenti per litro di sali disciolti (da 0,213 a 0,911 gr/l).

Le acque del rio Lavassina sono quelle che presentano, in media e in assoluto,

TABELLA 1

Dati relativi alle analisi dei campioni esaminati

N°	t°C	pH	Eh	Cond	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	ΣCat	ΣAn	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	B	NO <sub>3</sub>	U <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Fe	Mn	
13779	11	7.2	+34	75-5	70-4	53-5	26-5	37-6	55-4	63-5	35-5	78-4	65-4	19-5	20-8	65-7	80-7	80-5	44-2	0-0	0-0	
13780	12	7.1	+36	72-5	67-4	46-5	28-5	25-6	48-4	11-4	34-5	74-4	63-4	17-5	15-7	21-6	10-9	11-4	38-2	0-0	0-0	
13781	11	7.2	+37	68-5	65-4	42-5	24-5	13-6	47-4	11-4	30-5	72-4	61-4	18-5	20-8	40-7	20-6	12-4	40-2	0-0	0-0	
13782	12	7.1	+38	70-5	63-4	68-5	24-5	13-6	47-4	98-5	24-4	72-4	59-4	18-5	20-8	36-6	14-4	39-2	0-0	0-0		
13783	11	7.3	+38	77-5	71-4	58-5	31-5	24-6	49-4	14-4	47-5	81-4	68-4	18-5	20-8	30-7	22-6	11-4	33-2	0-0	0-0	
13784	12	7.3	+38	73-5	69-4	44-5	26-5	24-6	50-4	10-4	37-5	76-4	64-4	18-5	20-8	30-7	14-6	10-4	41-2	0-0	0-0	
13785	12	7.4	+34	95-5	45-4	10-4	42-4	26-5	60-4	21-4	15-4	10-3	96-4	21-5	13-5	16-6	13-5	24-5	54-2	0-0	0-0	
13786	14	6.8	+33	14-4	64-4	15-4	50-4	20-5	49-4	29-4	59-4	13-3	14-3	15-5	17-6	23-6	60-6	20-5	77-2	0-0	0-0	
13787	12	7.7	+31	10-4	50-4	16-4	36-4	14-5	43-4	41-4	19-4	10-3	10-3	13-5	12-7	25-6	20-6	0-0	61-2	0-0	0-0	
13788	8	7.5	+33	12-4	51-4	17-4	46-4	15-5	36-4	39-4	39-4	11-3	11-3	85-6	12-7	28-6	30-6	20-6	44-2	0-0	0-0	
13789	8	7.6	+37	12-4	51-4	16-4	51-4	15-5	36-4	39-4	44-4	12-3	12-3	85-6	12-7	21-6	44-6	12-5	58-2	0-0	0-0	
13790	8	7.6	+36	12-4	56-4	13-4	40-4	13-5	39-4	34-4	31-4	11-3	11-3	90-6	70-8	17-6	46-6	24-5	56-2	0-0	0-0	
13791	8	7.9	+36	12-4	56-4	14-4	40-4	13-5	38-4	34-4	36-4	11-3	11-3	90-6	70-8	17-6	76-6	24-5	66-2	0-0	0-0	
13792	0	0.0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	
13793	9	8.0	+36	13-4	55-4	16-4	56-4	14-5	38-4	34-4	44-4	13-3	12-3	50-6	14-7	17-6	80-6	15-5	59-2	0-0	0-0	
13794	0	0.0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	
13795	12	7.8	+35	57-5	30-4	12-4	90-5	13-5	31-4	20-4	54-5	52-4	56-4	25-7	20-7	60-7	46-6	26-5	69-2	0-0	0-0	
13796	14	7.9	+17	55-4	34-4	22-4	26-5	17-5	41-4	10-4	33-5	59-4	54-4	21-6	12-7	35-7	34-6	10-6	66-2	0-0	0-0	
13797	16	8.6	+36	28-5	15-4	11-4	24-4	37-6	21-4	55-5	25-5	29-4	29-4	25-7	30-8	40-7	25-6	40-6	33-2	0-0	0-0	
13798	9	7.9	+40	43-5	32-4	85-5	48-5	37-6	33-4	95-5	24-5	45-4	45-4	75-6	30-8	25-6	52-6	0-0	38-2	0-0	0-0	
13799	13	8.4	+39	50-5	34-4	97-5	70-5	66-6	35-4	10-4	59-5	52-4	51-4	50-7	30-8	19-6	44-6	28-5	39-2	0-0	0-0	
13800	12	6.0	+31	68-5	36-4	16-4	84-5	11-5	60-5	48-4	59-5	62-4	60-4	10-5	70-8	46-6	46-6	10-5	14-2	0-0	0-0	
13801	9	6.5	+28	44-5	29-4	78-5	35-5	41-6	17-4	22-4	26-5	40-4	42-4	85-6	70-8	19-6	46-6	34-5	73-2	0-0	0-0	
13802	11	3.4	+36	83-5	40-4	16-4	49-5	12-5	0-0	77-4	64-5	67-4	83-4	14-5	72-7	79-6	32-6	0-0	31-2	0-0	0-0	
13803	9	7.9	+34	37-5	24-4	86-5	25-5	28-6	24-4	95-5	20-5	35-4	35-4	17-6	40-8	40-7	20-6	22-5	73-2	0-0	0-0	
13804	10	6.6	+28	43-5	30-4	79-5	45-5	41-6	17-4	24-4	29-5	42-4	44-4	90-6	40-8	23-6	30-6	34-5	83-2	0-0	0-0	
13805	10	8.1	+35	36-5	24-4	86-5	26-5	29-6	24-4	94-5	21-5	36-4	36-4	25-7	20-7	45-7	20-6	16-5	78-2	0-0	0-0	
14151	8	7.0	+40	68-5	68-4	10-4	29-5	37-6	55-4	99-5	34-5	81-4	68-4	19-5	30-8	13-6	10-9	13-4	33-2	0-0	0-0	
14152	11	7.1	+42	72-5	67-4	13-4	32-5	50-6	49-4	12-4	36-5	84-4	65-4	19-5	35-8	95-8	18-6	16-4	36-2	0-0	0-0	
14153	10	7.0	+44	73-5	67-4	15-4	33-5	55-6	49-4	12-4	39-5	85-4	65-4	19-5	50-8	26-6	86-6	16-4	46-2	0-0	0-0	
14154	9	7.3	+44	74-5	71-4	11-4	33-5	37-6	52-4	13-4	47-5	86-4	70-4	19-5	43-7	50-8	30-6	16-4	48-2	0-0	90-5	
14155	9	7.3	+43	67-5	63-4	11-4	25-5	26-6	45-4	94-5	29-5	77-4	57-4	22-5	25-8	70-8	34-6	17-4	43-2	0-0	18-4	
14156	8	7.4	+44	69-5	66-4	89-5	27-5	15-6	44-4	12-4	32-5	77-4	59-4	18-5	50-8	90-8	40-7	20-4	29-2	0-0	0-0	
14157	7	8.5	+41	38-5	31-4	87-5	40-5	49-6	33-4	82-5	26-5	45-4	43-4	95-6	19-7	55-7	10-7	30-5	42-2	0-0	0-0	
14158	11	7.8	+34	85-5	48-4	14-4	22-4	25-5	57-4	19-4	14-4	99-4	89-4	23-5	32-6	32-6	86-6	68-5	78-2	12-2	90-3	
14159	12	8.1	+37	90-5	48-4	14-4	26-4	18-5	50-4	31-4	15-4	90-4	96-4	24-5	85-7	17-6	14-5	41-5	10-1	0-0	0-0	
14160	11	8.2	+36	92-5	50-4	16-4	23-4	21-5	54-4	28-4	16-4	91-4	99-4	23-5	31-7	16-6	13-5	73-5	95-2	22-3	23-2	
14161	11	8.1	+36	94-5	52-4	12-4	22-4	20-5	54-4	31-4	16-4	88-4	10-3	22-5	20-7	16-6	11-5	50-5	93-2	26-3	26-2	
14162	11	8.0	+35	90-5	52-4	12-4	23-4	22-5	55-4	30-4	15-4	89-4	10-3	24-5	26-7	16-6	13-5	86-6	43-5	88-2	28-3	24-2
14163	10	8.1	+35	94-5	50-4	14-4	24-4	22-5	55-4	30-4	15-4	90-4	10-3	24-5	38-7	17-6	11-5	76-5	11-1	20-3	23-2	
14164	10	8.7	+36	90-5	48-4	15-4	24-4	22-5	54-4	26-4	16-4	89-4	10-3	22-5	34-7	16-6	10-5	76-5	91-2	19-3	21-2	
14165	8	8.3	+38	33-5	22-4	12-4	23-5	23-6	26-4	66-5	20-5	37-4	34-4	21-5	90-8	10-7	60-6	36-5	65-2	20-3	12-3	
14166	10	7.3	+40	44-5	28-4	21-4	27-5	31-6	31-4	85-5	27-5	52-4	42-4	25-5	90-8	50-8	14-6	52-5	60-2	18-3	80-4	
14167	8	8.2	+38	47-5	30-4	13-4	54-5	80-6	30-4	12-4	32-5	49-4	45-4	16-5	16-7	25-7	10-6	51-5	92-2	0-0	0-0	
14168	7	8.3	+37	58-5	45-4	12-4	45-5	40-6	38-4	18-4	48-5	62-4	61-4	14-5	15-7	63-7	18-6	31-5	20-1	0-0	0-0	
14169	7	7.2	+23	51-5	31-4	17-4	52-5	69-6	20-4	24-4	30-5	54-4	48-4	17-5	26-7	13-6	60-7	43-5	68-2	0-0	0-0	
14170	0	0.0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	
14171	13	8.2	+35	78-5	50-4	16-3	14-4	11-5	39-4	28-4	12-4	81-4	79-4	20-5	21-7	22-6	22-6	50-5	99-2	63-3	19-2	
14172	0	0.0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	
14173	10	8.7	+37	46-5	38-4	65-5	49-5	53-6	35-4	92-5	40-5	50-4	48-4	95-6	21-7	27-6	38-6	36-5	57-2	27-3	40-4	
14174	7	8.3	+36	57-5	45-4	12-4	46-5	65-6	38-4	18-4	39-5	62-4	60-4	19-5	47-7	65-7	40-6	33-5	19-1	19-3	32-3	
14175	9	7.2	+34	52-5	32-4	22-4	45-5	67-6	19-4	28-4	33-5	50-5	50-5	20-6	47-7	13-6	48-6	50-5	96-2	0-0	0-0	
14176	8	7.8	+26	55-5	40-4	16-4	46-5	63-6	33-4	20-4	38-5	61-4	57-4	15-5	21-7	12-6	18-6	50-5	21-1	0-0	0-0	
14177	8	7.7	+27	54-5	40-4	15-4	48-5	65-6	32-4	20-4	39-5	61-4	56-4	15-5	17-7	11-6	42-6	40-5	18-1	0-0	0-0	
14178	13	7.4	+37	72-5	73-4	50-5	28-5	20-6	46-4	12-4	36-5	81-4	62-4	18-5	90-8	10-7	40-7	17-4	60-2	0-0	0-0	

NELLA TABELLA SONO RIPORTATI TUTTI I DATI GEOCHIMICI RELATIVI AI CAMPIONI DI ACQUA ESAMINATI. LE CONCENTRAZIONI DI TUTTI GLI ELEMENTI SONO ESPRESSE DA TRE CIFRE; LE PRIME DUE INDICANO IL VALORE E LA TERZA L'ESPONENTE IN BASE DIECI E CIO' LA POSIZIONE DELLA VIRGOLA. AD ESEMPIO 75-5 SIGNIFICA 75.10<sup>-5</sup>. LA TEMPERATURA E' ESPRESSA IN GRADI CENTIGRADI. I VALORI DI Eh SONO ESPRESI IN CENTESIMI DI VOLT. I VALORI DELLA CONDUCTIBILITA' ELETTRICA SONO ESPRESI IN Ω<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>. LE CONCENTRAZIONI DI Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, ΣAN, ΣCAT, SONO ESPRESSE IN EQUIVALENTI PER LITRO. LE CONCENTRAZIONI DI SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, F, B, SONO ESPRESSE IN MOLI PER LITRO. LE CONCENTRAZIONI DI U<sub>2</sub>O<sub>8</sub> IN MICROGRAMMI PER LITRO, QUELLE DEL Fe E Mn IN MILLISEGRAMMI PER LITRO. 0-0 SIGNIFICA DETERMINAZIONE NON EFFETTUATA.

le salinità più elevate. Le acque raccolte nella prima fase del campionamento presentano sistematicamente, fatta eccezione per il Tanaro, salinità sensibilmente più elevata rispetto a quelle raccolte nella seconda campionatura.

Nella fig. 3 è riportata la classificazione delle acque secondo la procedura proposta da Chebotarev (1955).

In tale diagramma la posizione dei punti rappresentativi indica il « valore di reazione » dei gruppi di cationi ed anioni più significativi dal punto di vista geochi-

TABELLA 2

Valori delle medie, delle deviazioni standard e dei coefficienti di variazione relativi ai parametri esaminati

	Numero di determinazioni	Media	Deviazione standard	Coeff. di variazione %
Temperatura	51	10,18	2,085	20,49
pH	51	7,61	8,459	11,12
Eh	51	+35,5	5,11	14,39
Cond.	51	0,719	0,268	37,23
Ca	51	4,74	1,56	33,01
Mg	51	1,49	2,12	141,69
Na	51	1,34	1,57	117,35
K	51	0,089	0,072	81,14
HCO <sub>3</sub>	50	3,95	1,26	31,87
SO <sub>4</sub>	51	2,07	1,34	65,08
Cl	51	1,05	1,30	124,65
Σ cat.	51	7,38	2,48	33,65
Σ an.	51	7,01	2,65	37,83
SiO <sub>2</sub>	51	0,147	0,072	48,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	51	0,0051	0,0185	361,26
F	51	0,0145	0,0136	94,39
B	51	0,0452	0,0371	81,98
NO <sub>3</sub>	48	0,633	0,527	83,27
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	51	0,719	0,426	59,24
Fe	11	0,0347	0,031	89,32
Mn	13	0,116	0,11	94,87

La temperatura è espressa in gradi centigradi. Eh è espresso in centesimi di volt. La conduttanza elettrica in  $\text{Ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}10^{-3}$ . I tenori di Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, NO<sub>3</sub>, Σ cat, Σ an, sono espressi in milliequivalenti per litro. I tenori di SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, F, B, sono espressi in millimoli per litro. I tenori dello U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> sono espressi in microgrammi per litro. I tenori di Fe e Mn in milligrammi per litro.

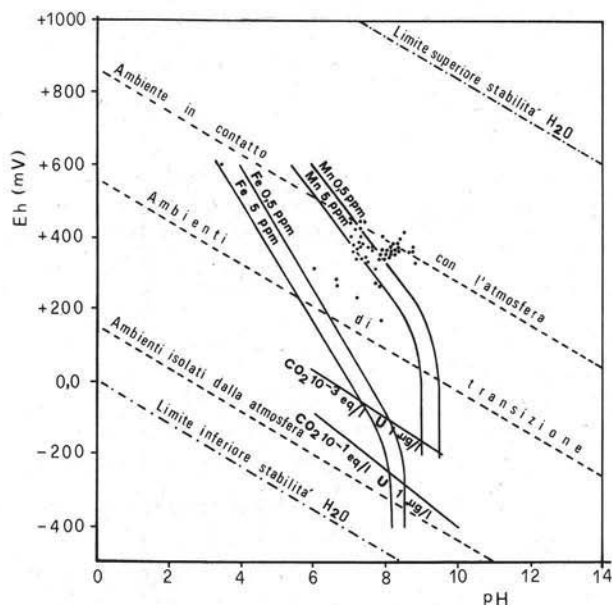


Fig. 2. — Questo diagramma permette di classificare i diversi ambienti geochimici in funzione del pH e Eh. I campioni esaminati cadono per la quasi totalità in quella parte del diagramma dove normalmente cadono le acque che non sono a diretto contatto con l'atmosfera. Ciò avviene anche per alcune acque superficiali. Ciò sta a sottolineare che l'equilibrio ossido-riduttivo è perturbato dall'immissione artificiale di sostanze riducenti.

mico. Gli anioni cioè vengono raggruppati in  $(Cl^- + SO_4^{--})$  da una parte e  $(HCO_3^- + CO_3^{--})$  dall'altra, mentre i cationi in  $(Na + K)$  e  $(Ca + Mg)$ .

Sulle ascisse vengono riportati i valori di  $\frac{HCO_3 + CO_3}{\Sigma \text{ anioni}}$  e sulle ordinate i valori di  $\frac{Na + K}{\Sigma \text{ cationi}}$ .

Dato che:

$$\frac{HCO_3 + CO_3}{\Sigma \text{ anioni}} + \frac{SO_4 + Cl}{\Sigma \text{ anioni}} = 0,5$$

$$\frac{Na + K}{\Sigma \text{ cationi}} + \frac{Ca + Mg}{\Sigma \text{ cationi}} = 0,5$$

$$\Sigma \text{ cationi} + \Sigma \text{ anioni} = 1$$

la posizione dei punti rappresentativi nel diagramma viene ad indicare i rapporti che esistono sia tra le coppie di anioni che di cationi presi in esame.

Le acque dei pozzi presentano un chimismo a bicarbonato alcalino-terroso che risulta molto costante nelle due fasi di campionamento.

Le acque del rio Lavassina presentano invece un chimismo sensibilmente differente nelle due diverse fasi di campionamento. Le prime acque raccolte presentano un chimismo a solfato-cloruri alcalino-terrosi, mentre le seconde presentano un chimismo a bicarbonati alcalino terrosi. Questa variazione è da mettere probabilmente in relazione alla natura dei diversi effluenti industriali scaricati nel rio Lavassina.

Da un punto di vista molto generale il gruppo di acque i cui punti rappresentativi sono addensati sulla parte inferiore destra del diagramma (corrispondente ad un chimismo a bicarbonati alcalino terrosi) stanno ad indicare, nel caso di campioni in esame, le acque naturali che non hanno ancora subito processi di inquinamento talmente marcati da variarne considerevolmente il chimismo. Tali acque, che sono state raccolte dai pozzi della zona presso l'impianto Fabbricazioni Nucleari nonchè dai torrenti Orba e Scrivia, presentano un chimismo tipico delle acque che si trovano nella prima fase del ciclo idrologico e denunciano pertanto una bassa carica salina con prevalenza appunto di bicarbonati alcalino terrosi. Le acque che si allontanano nel diagramma da questo primo gruppo per un aumento dei tenori in  $(Na+K)$  e/o  $(SO_4 + Cl)$  sono acque che subiscono tali variazioni soprattutto a causa di immissioni di composti estranei ai processi naturali da parte delle industrie. Non sussiste infatti una differenza apprezzabile tra le formazioni litologiche che vengono a contatto con i diversi tipi di acque (soprattutto tra rio Lavassina da un lato ed acque dell'Orba e dei pozzi dall'altro lato). La causa della differenziazione non potendo essere ascritta a processi naturali (lisciviazione di

rocce diverse) va imputata ad apporti artificiali (inquinamento).

Nel diagramma di Chebotorev è evidente la brusca variazione di chimismo che subiscono le acque del fiume Bormida a causa della massiccia immissione di ioni solfato (anche sotto forma di acido solforico) da parte delle industrie.

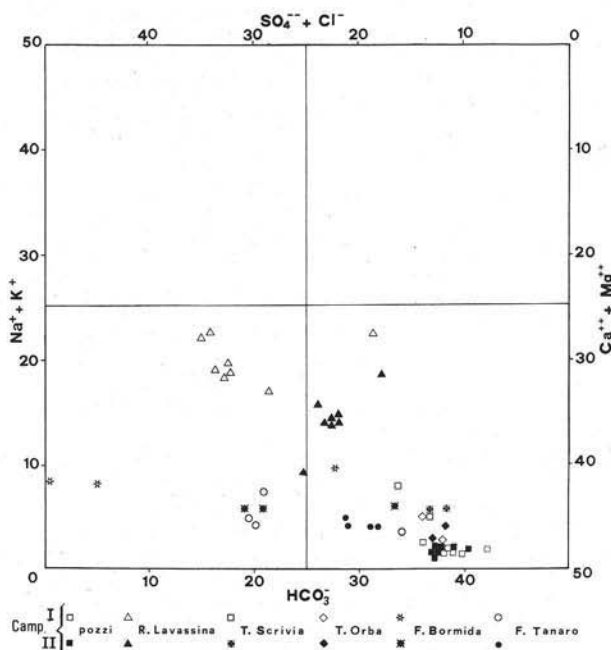


Fig. 3. — Diagramma classificativo di CHEBOTAREV. I campioni esaminati ricadono nel campo delle acque bicarbonato-alcalino-terroso e in quello delle acque cloruro-solfato-alcalino-terroso.

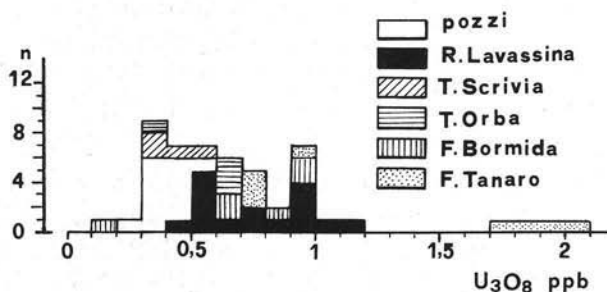


Fig. 4. — Istogramma di frequenza dei valori dell'uranio disciolto nelle acque.

## 2.2. Distribuzione e circolazione dell'uranio nelle acque

La determinazione dell'uranio nei bassi tenori riscontrati nelle sostanze naturali, ed in presenza di elementi e composti che possono interferire nell'analisi, deve



essere ottenuta secondo metodiche appropriate che garantiscano da un lato la sensibilità sufficiente, e dall'altro la selettività necessaria per fornire risultati attendibili anche in matrici complesse e variabili. Nel caso in oggetto le determinazioni sono state effettuate per fluorimetria, preceduta da una separazione su resina anionica e una su carta cromatografica degli elementi interferenti (DALL'AGLIO M., CASENTINI E., 1970).

Nella tab. 1 sono riportati i tenori in uranio nelle acque e nella fig. 4 la loro distribuzione di frequenza.

Tali tenori risultano in genere piuttosto bassi, sia in assoluto che in relazione alla salinità. Fanno eccezione i campioni prelevati sul Tanaro nel corso della seconda campagna dove si hanno contenuti di uranio di circa 2 microgrammi/l. Il tenore di uranio nei pozzi oscilla molto poco sia tra pozzo e pozzo che tra i due campionamenti. I tenori di uranio delle acque del rio Lavassina oscillano tra 0,44 e 1,1 microgrammi/l.

I tenori riscontrati nelle acque raccolte nella prima campagna risultano sistematicamente più bassi di quelli riscontrati nel secondo campionamento. E questa differenza nei tenori medi risulta essere altamente significativa se si tiene conto delle procedure analitiche impiegate.

Nel diagramma di fig. 5 in ascissa è riportata la conduttanza elettrica e sulle ordinate sono riportati i tenori in uranio.

Nel normale processo di lisciviazione delle rocce le acque naturali tendono, a parità di condizioni ambientali, ad arricchirsi allo stesso tempo tanto in uranio che in costituenti maggiori disciolti, via via che esse procedono lungo il ciclo idrologico. I punti rappresentativi tenderanno pertanto ad addensarsi lungo una retta nel diagramma riportato.

Nel caso in esame l'uranio e la conduttanza elettrica risultano scarsamente correlati a causa della differente natura dei campioni esaminati. Si nota, viceversa, che acque dello stesso raggruppamento (acque dei pozzi e dei diversi corsi d'acqua) tendono ad essere caratterizzate da un rapporto uranio/conduttanza generalmente poco variabile.

I campioni relativi al primo campionamento sul rio Lavassina sono quelli che presentano le maggiori variabilità. Tale variabilità nei tenori in uranio trova corrispondenza nella variabilità riscontrata nel chimismo delle acque (si veda il par. 2.1) ed è probabilmente ascrivibile alla variazione di composizione degli scarichi che costituiscono la maggior parte del rio Lavassina.

Per quanto concerne la possibilità dell'uranio di precipitare o di passare in soluzione nelle acque naturali va tenuto presente che questo elemento presenta un comportamento geochimico molto diverso a seconda che si trovi allo stato tetra-valente o esa-valente. Nella forma ridotta si comporta come elemento molto immobile mentre nella forma ossidata è un elemento molto mobile, e solubile quindi nelle acque superficiali.

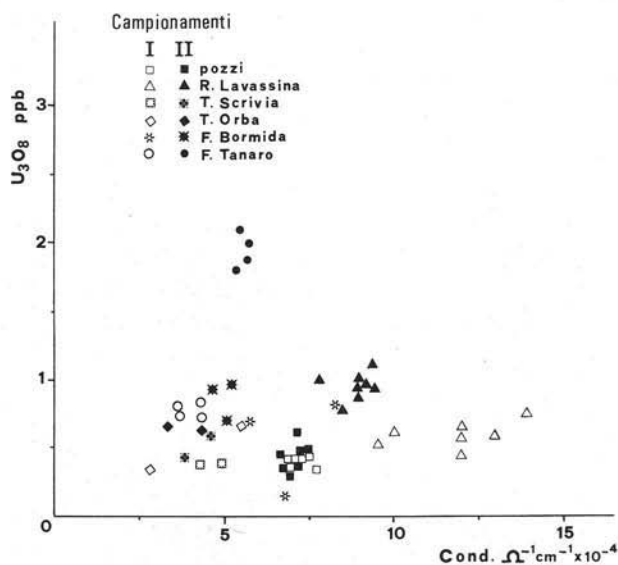


Fig. 5. — Valori della conduttanza elettrica e tenori di uranio disciolto relativi ai campioni di acque esaminati, messi a raffronto in forma diagrammatica.

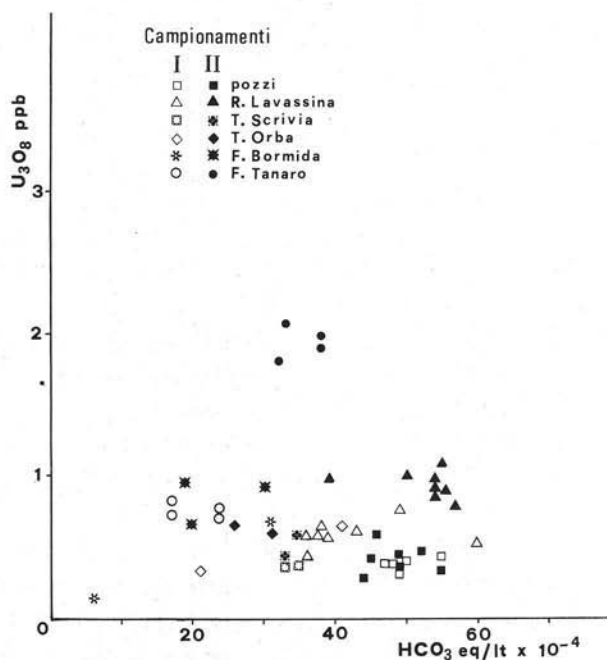


Fig. 6. — In questo digramma sono riportati sulle ascisse i tenori in bicarbonati e sulle ordinate i tenori di uranio disciolti nelle acque.

Il diagramma pH-Eh presentato in fig. 2 mostra che i punti rappresentativi dei campioni di acqua esaminati cadono nella zona di stabilità dell'uranio esavalente



(solubile). D'altro canto alcuni costituenti maggiori disciolti nelle acque naturali, quali ad esempio i carbonati, formano complessi molto stabili e molto solubili con lo ione uranile.

Nella fig. 6 sulle ascisse è riportata la concentrazione dei bicarbonati e sulle ordinate la concentrazione dell'uranio.

Al crescere del contenuto dei bicarbonati il contenuto di uranio non subisce in media variazioni apprezzabili. In condizioni ossidanti la quantità di uranio che può andare in soluzione dipende fortemente dalla attività dello ione  $\text{CO}_3^{2-}$  che, come già accennato, è un complessante molto energetico nei riguardi dello ione uranile. La relazione che indica la dipendenza del rapporto tra ioni dell'uranio complessati e ione uranile dai valori di pH e concentrazione dei bicarbonati è infatti la seguente:

$$\log. \frac{[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2^{2-}]}{[\text{UO}_2^{2+}]} = -6,9 + 3 \log. [\text{HCO}_3^-] + 3 \text{ pH}.$$

La fig. 7 presenta la distribuzione areale dell'uranio nei campioni di acque.

### 2.3. Trasporto dell'uranio in sospensione

Come già accennato, numerosi campioni di acqua sono stati sottoposti a filtrazione ( $0,3 \mu$ ) sul luogo stesso di campionamento. Per tali campioni è stata effettuata la determinazione dell'uranio sul residuo della filtrazione e della perdita alla calcinazione dello stesso. In alcuni di tali residui è stata effettuata anche la determinazione della sostanza organica. Tutti i risultati analitici ottenuti sono riportati nella tab. 3.

Questi dati indicano che la quantità d'uranio trasportato in sospensione rappresenta solo una piccola frazione (circa un decimo) dell'uranio trasportato in soluzione.

Nella fig. 8 è riportato il diagramma U trasportato in sospensione-sostanza organica trasportata in sospensione, e nella fig. 9 è riportato il diagramma U in sospensione-residuo inorganico in sospensione. Questi diagrammi mostrano che, in base ai limitati dati in nostro possesso, la quantità di uranio in sospensione è legata soprattutto ai composti inorganici.

### 2.4. Distribuzione e circolazione del fluoro nelle acque

I dati relativi al tenore in fluoro nelle acque campionate sono riportati nella tab. 1; la distribuzione di frequenza è riportata nella fig. 10 e la distribuzione areale è stata già riportata nella mappa di fig. 7.

Gli elaborati di cui sopra mostrano che il tenore in fluoro nelle acque presenta un valore medio basso, ma la dispersione attorno a tale valore risulta essere molto elevata. L'istogramma di fig. 10 mostra addirittura un andamento polimodale; almeno due massimi relativi di frequenza risultano infatti chiaramente evidenziati. È diffi-

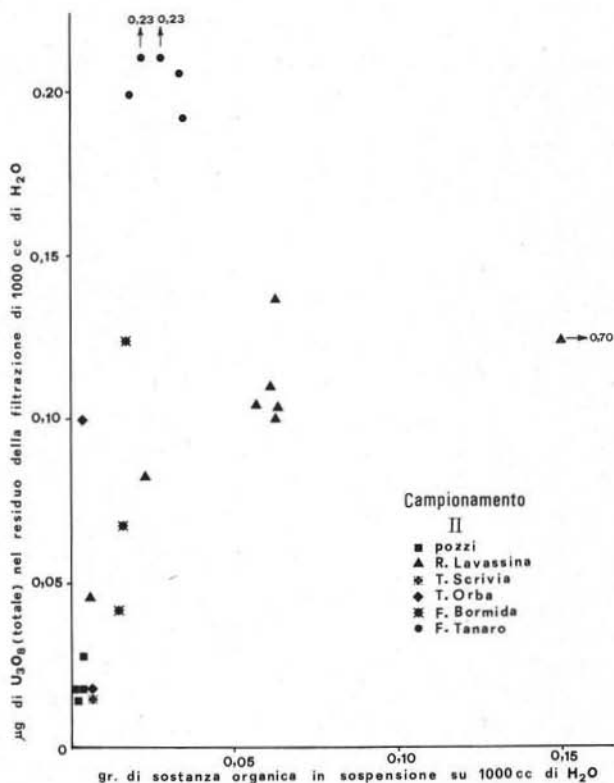


Fig. 8. — In ascissa è riportato il contenuto di sostanza organica sospesa in 1000 cc. di acqua e in ordinata il contenuto di uranio totale relativo alla quantità di sostanza sospesa in 1000 cc. di acqua.

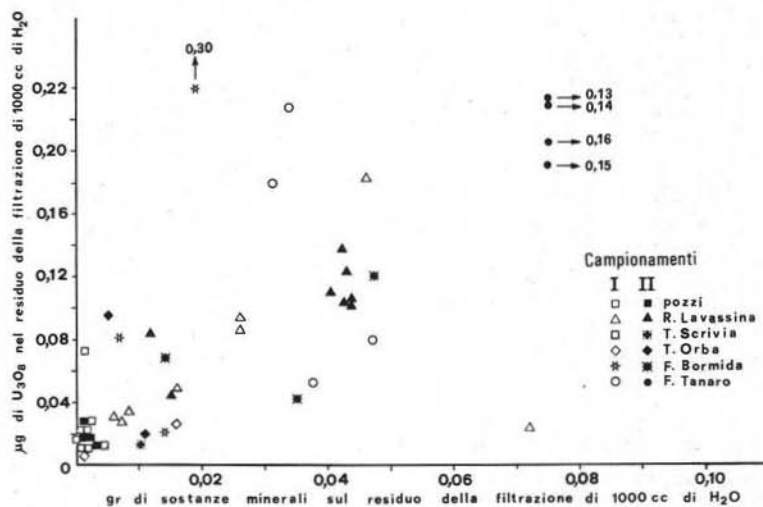


Fig. 9. — In ascissa è riportato il contenuto di sostanza minerale relativo alla quantità di sostanza sospesa in 1000 cc. di acqua e in ordinata il contenuto di uranio totale relativo alla quantità di sostanza sospesa in 1000 cc. di acqua.

TABELLA 3

*Contenuto di sostanze sospese, in 1000 cc di acqua, e loro contenuto di uranio*

N° CAMP.	PESO IN g. DOPO ESSIC- CAZ. A 110°	PESO IN g. DOPO CAL- CINAZIONE	g. DI SOSTAN- ZE ORGANICHE	MICRO- GRAMMI U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	ppm U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> RIFERITE AL- LA SOST. ESS. A 110°	ppm U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> RIFERITE AL- LA SOST. CAL- CINATA.
13779		0,0013		0,0723		53,7
13780		0,00067		0,0177		26,6
13781		0,0005		0,0227		43,6
13782		0,00065		0,0092		14,1
13783		0,00056		0,0087		15,5
13784		0,00039		0,0227		58,6
13785		0,02629		0,0864		3,29
13786		0,0463		0,183		3,95
13787		0,0261		0,0942		3,61
13788		0,0159		0,049		3,1
13789		0,00773		0,0344		4,45
13790		0,00607		0,030		5,0
13791		0,00656		0,0279		4,25
13793		0,0719		0,0236		3,28
13795		0,0136		0,0212		1,56
13796		0,0014		0,0063		4,35
13797		0,0165		0,0259		1,57
13798		0,00195		0,0275		14,1
13799		0,0035		0,014		3,98
13800		0,0186		0,299		16,1
13801		0,0342		0,227		6,63
13802		0,0069		0,081		11,8
13803		0,047		0,0796		1,69
13804		0,0307		0,179		5,83
13805		0,0381		0,0529		1,39
14151	0,00318	0,0008	0,00238	0,0178	5,60	22,25
14152	0,0044	0,0011	0,0033	0,028	6,36	12,73
14153	0,00224	0,0004	0,00184	0,0178	7,95	44,5
14154	0,00078	0,0008				
14155	0,00458	0,0026	0,00198	0,0137	2,99	5,27
14156	0,00308			0,0178	5,77	
14157	0,0172	0,0104	0,0068	0,0137	0,80	1,32
14158	0,04434	0,0118	0,02254	0,082	1,85	6,95
14159	0,7401	0,0438	0,6963	0,124	0,17	2,83
14160	0,1052	0,0422	0,063	0,137	1,30	3,25
14161	0,1061	0,0436	0,0625	0,10	0,94	2,29
14162	0,1004	0,0438	0,0566	0,104	1,03	2,37
14163	0,1075	0,0436	0,0639	0,104	0,97	2,38
14164	0,10156	0,0404	0,06116	0,11	1,08	2,72
14165	0,01108	0,005	0,00608	0,096	8,66	19,2
14166	0,01674	0,0108	0,00594	0,0178	1,063	1,65
14167	0,0497	0,035	0,0147	0,042	0,84	1,20
14168	0,1914	0,1572	0,0342	0,206	1,08	1,31
14169	0,0637	0,0466	0,0171	0,124	1,95	2,66
14171	0,0203	0,0146	0,0057	0,046	2,27	3,15
14174	0,1866	0,1516	0,035	0,192	1,03	1,27
14175	0,0309	0,0144	0,0165	0,068	2,20	4,72
14176	0,1652	0,1376	0,0279	0,232	1,40	1,69
14177	0,1574	0,1350	0,0224	0,232	1,47	1,86
14178	0,0108	0,0018	0,009			

cile spiegare questa bimodalità della distribuzione in fluoro in base ai normali processi geochimici di lisciviazione dei terreni presenti nella zona. La distribuzione areale di fig. 7 evidenzia meglio l'andamento generale. I due tenori più elevati sono stati infatti rilevati sul fiume Bormida nella zona interessata da importanti scarichi industriali. Inoltre i tenori riscontrati nel rio Lavassina sono in genere

molto più elevati di quelli riscontrati nei pozzi esistenti nel suo bacino. È pertanto molto probabile che, oltre ai due campioni già citati con i tenori in fluoro più elevati (rispettivamente 1,5 e 0,9 ppm), anche tutti i campioni appartenenti alla popolazione con tenori più elevati abbiano ricevuto un apporto di fluoro da parte di processi di inquinamento.

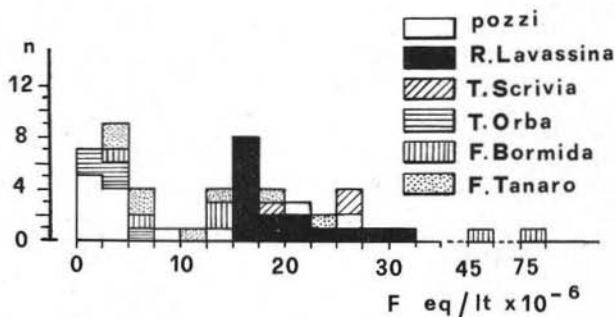


Fig. 10. — Istogramma di frequenza del contenuto in fluoro dei campioni di acqua.

## 25. Caratteristiche mineralogiche e granulometriche dei sedimenti fluviali

È stata eseguita l'analisi mineralogica e granulometrica su 8 campioni di sedimenti fluviali prelevati dal fiume Tanaro, fiume Bormida, torrente L'Orba e rio Lavassina (tali campioni sono contrassegnati nella fig. 1 con l'asterisco).

Nella tab. 4 è riportata la composizione mineralogica dei campioni esaminati. Tale composizione è in genere piuttosto uniforme, i costituenti fondamentali sono in ordine di abbondanza quarzo, feldspati, miche, minerali argillosi e, in ultimo, carbonati. La frazione pesante è sempre inferiore all'1%. I componenti principali della frazione pesante sono in ordine di abbondanza epidoto, anfibolo, granato e magnetite. I campioni prelevati sul rio Lavassina sono costituiti dal 50% di quarzo, 3% di feldspati e il rimanente da frammenti di roccia (arenarie, siltiti e calcari marnosi).

Nel diagramma di fig. 11 in ascisse è riportato il  $\emptyset$  ( $\emptyset = -\log_2 x$ ;  $x$  = diametro dei grani in mm), sulle ordinate la percentuale di sedimento compreso tra  $\emptyset$  zero (corrispondente a granulometrie  $\leq 1$  mm) ed il  $\emptyset$  corrispondente alla granulometria presa in esame ( $x_n$ ).

I campioni prelevati sul Bormida, Tanaro e Orba, presentano granulometrie piuttosto uniformi, e sono caratterizzati da una abbondanza di frazioni più sottili. Tali campioni si differenziano sensibilmente dalle granulometrie dei sedimenti del rio Lavassina, questi sono privi delle frazioni più sottili e hanno abbondante frazione sabbiosa e ghiaiosa. Questa differenza è in parte imputabile alle diverse modalità di prelievo dei campioni; in genere il campione è stato prelevato in sponda, laddove,

TABELLA 4

Composizione mineralogica, tanto della frazione leggera che pesante dei sedimenti fluviali esaminati. I dati dei minerali pesanti sono espressi in percentuale rispetto alla frazione pesante

N° CAMP.	COSTITUENTI PRINCIPALI							FRAZIONE PESANTE																
	Quarzo	Feld.	Miche	Arg.	Carb.	Framm. roccia	Fp	Magnetite	Granato	Epidoto	Anfibolo	Clorite	Termalina	Sillimanite	Andalusite	Cianite	Titanite	Siauroilite	Rutilo	Zircone	Apatite	Pirite	Fluorite	
	%	%	%	%	%	%	%																	
14166	20	10	30	20	5	5	0,8	10	5	35	35	p	1,5	p	p	-	-	p	1	p	1	p	-	-
14167	30	10	25	20	10	5	0,35	15	10	35	20	p	3	p	p	-	-	4	2	1,5	2	p	-	-
14168	55	15	10	5	5	5	0,80	10	10	35	20	2	5	0,5	-	1	-	2,5	0,5	1	1	1	p	p
14174	40	7	10	15	15	5	0,10	5	10	35	30	p	1	1	0,5	-	p	3,5	1	1	3	0,1	p	p
14175	30	10	20	10	5	15	0,70	30	15	30	15	2	3	p	p	p	-	2	2	0,5	0,5	p	-	p
14176	40	20	10	10	5	10	0,50	10	10	40	30	p	3	p	p	p	0,5	1	0,5	p	p	-	0,5	
13791	45	3					50																	
14164	50	3					40																	

Framm. roccia: arenarie-siltiti calcari marmosi  
 Framm. roccia: " " " " (grossi pezzi di quarzo)

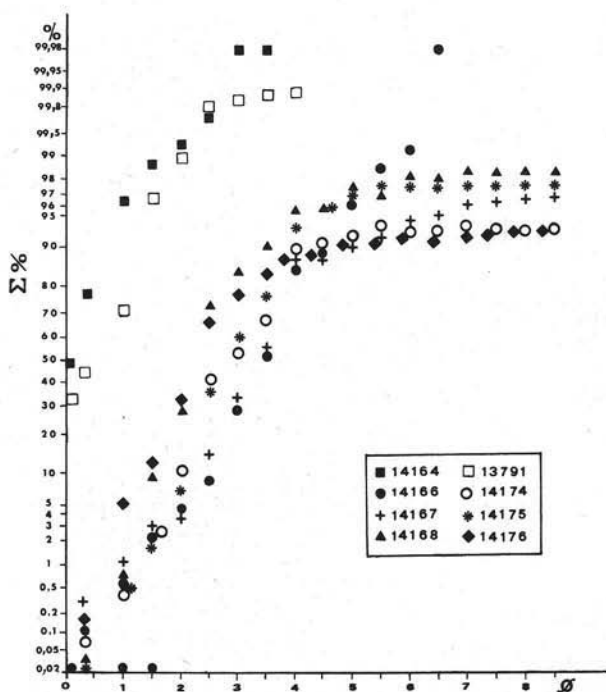


Fig. 11. — In questo diagramma sulle ascisse è riportato il valore di  $\phi$  ( $\phi = -\log_2 x$ ;  $x =$  diametro dei grani del sedimento espresso in mm), e sulle ordinate è riportata la sommatoria delle percentuali comprese tra  $\phi = 0$  e  $\phi x$ .

nel caso del rio Lavassina, i campioni sono stati prelevati nel letto vivo, dove minore è la quantità di frazione sottile.



Il rio Lavassina scorre d'altronde in una canalizzazione in cui non esistono le condizioni idrodinamiche corrispondenti alla « sponda » dei corsi di acqua naturali; per questi motivi anche i campioni raccolti in letto vivo forniscono una sufficiente approssimazione nel definire le condizioni di trasporto clastico.

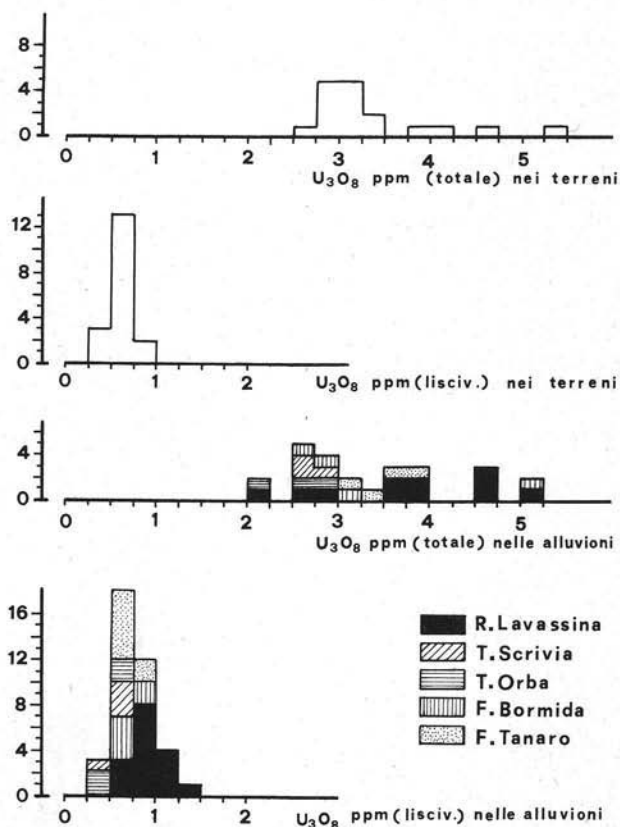


Fig. 12. — Istogramma di frequenza relativo all'uranio lisciviabile e totale dei sedimenti fluviali e dei suoli.

### 2.6. Distribuzione dell'uranio nei sedimenti fluviali e nei suoli

L'uranio è stato determinato seguendo due diverse e complementari metodologie analitiche: e cioè *a*) analisi del tenore in uranio solubile in acido nitrico 6N, e *b*) analisi del contenuto totale. Mentre con la prima procedura si ottengono informazioni sulla quantità di uranio che può essere lisciviato dalle acque in condizioni naturali, con la seconda si giunge alla conoscenza anche di quella parte dell'uranio che è presente in fasi molto resistenti alla solubilizzazione (ad es. uranio contenuto in minerali resistenti).

Le determinazioni dell'uranio estraibile in acido sono state effettuate su tutti i campioni raccolti, mentre l'uranio totale è stato determinato solo su di una parte dei campioni.

TABELLA 5

*Tenori dell'uranio lisciviabile e totale relativi alle alluvioni ed ai terreni*

N°Camp.	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> lisciviabile ppm	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> totale ppm	N°Camp.	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> lisciviabile ppm	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> totale ppm
SEDIMENTI FLUVIALI					
13788	0,94	3,8	14157	0,51	2,7
13789	1,0	3,3	14159	0,58	2,0
13790	1,4	5,2	14160	0,77	
13791	0,94	4,5	14161	1,1	
13792	0,97	2,8	14162	0,87	4,6
13793	0,86	3,9	14163	0,86	
13794	0,82	2,6	14164	0,73	
13795	0,56	2,9	14165	0,63	
13796	0,42	2,2	14166	0,44	2,5
13797	0,50	2,6	14167	0,73	
13798	0,48	2,8	14168	0,39	
13799	0,56	2,8	14169	0,93	
13800	0,50	2,5	14170	0,70	3,5
13801	0,58	3,8	14171	1,2	4,7
13802	0,70	3,4	14172	1,1	3,5
13803	0,54	3,5	14173	0,61	
13804	0,90	3,4	14174	0,69	
13805	0,64	3,1	14175	0,61	5,2
			14176	0,62	
			14177	0,83	
TERRENI					
1	0,63	2,9	11	0,73	4,6
2	0,42	2,9	12	0,80	5,4
3	0,62	3,1	13	0,54	3,1
4	0,71	3,1	14	0,76	4,1
5	0,60	2,6	15	0,58	3,8
6	0,56	2,8	16	0,57	2,9
7	0,60	3,3	17	0,57	2,9
8	0,49	3,2	24	0,41	3,4
9	0,63	3,2	26	0,50	3,3

I risultati ottenuti sono riportati nella tab. 5 e nella fig. 12 sono riportate le distribuzioni di frequenza tanto dell'uranio estraibile che totale nei sedimenti fluviali e nei suoli. La fig. 13 riporta infine la distribuzione areale dell'uranio nei campioni di suoli e di sedimenti fluviali.

Dall'esame degli elaborati si possono trarre le seguenti considerazioni:

- 1) i tenori di uranio estraibile sono bassi tanto nei campioni di suolo ( $\leq 1$  ppm) quanto nei campioni di sedimenti fluviali ( $\leq 1,5$  ppm);
- 2) i tenori in uranio estraibile presentano una dispersione bassa attorno al valore medio;
- 3) i tenori in uranio totale risultano essere molto più elevati dell'uranio estraibile (in genere più del doppio) ma non si discostano significativamente dai valori normali;
- 4) la dispersione dei valori risulta essere elevata per i tenori in uranio totale.

Nella fig. 14 è riportato il diagramma uranio estraibile - perdita in peso alla calcinazione, perdita che fornisce una misura del tenore in sostanza organica. I due parametri appaiono essere parzialmente correlati, i campioni prelevati sul rio La-

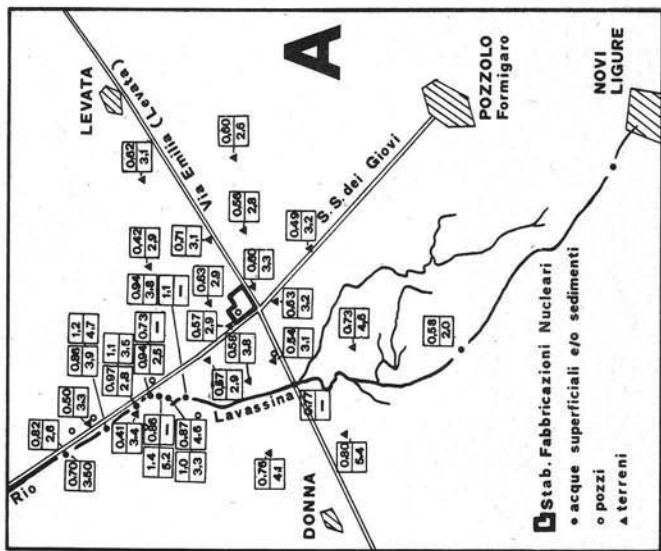
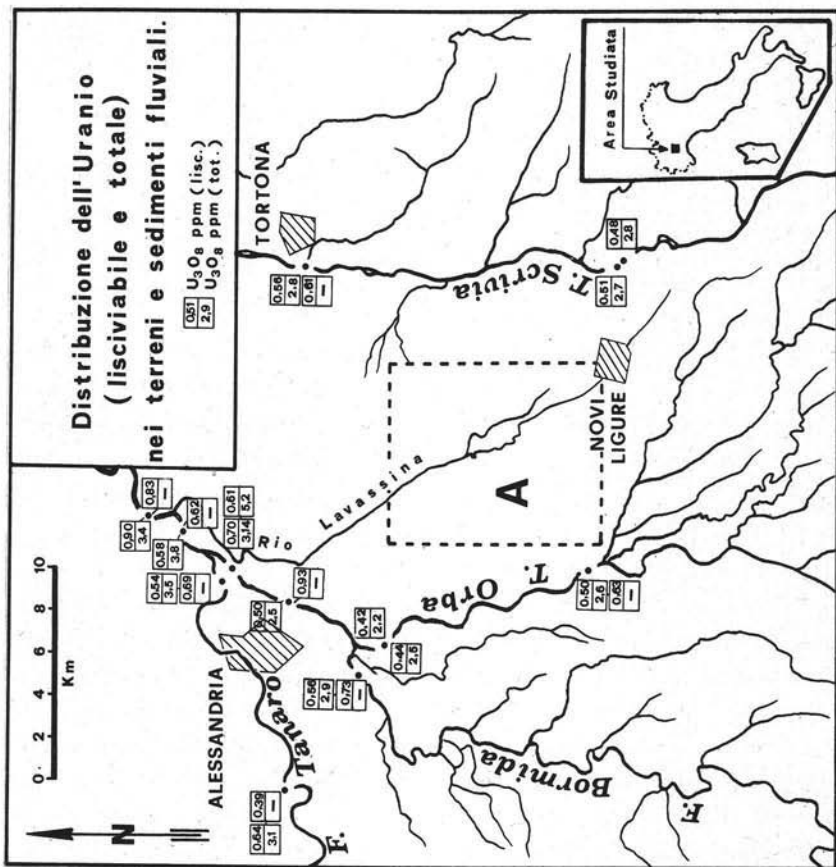


Fig. 13. — Distribuzione areale dei tenori di uranio lisciviabile e totale nei sedimenti fluviali e nei suoli. Nella parte alta del quadratino sono riportati i tenori dell'uranio lisciviabile, in HNO<sub>3</sub> 6N; in basso i tenori dell'uranio totale.

vassina mostrano inoltre i tenori più elevati tanto in sostanza organica che in uranio estraibile. Sembra pertanto che anche in questo caso la sostanza organica sia un efficace agente precipitante dell'uranio.

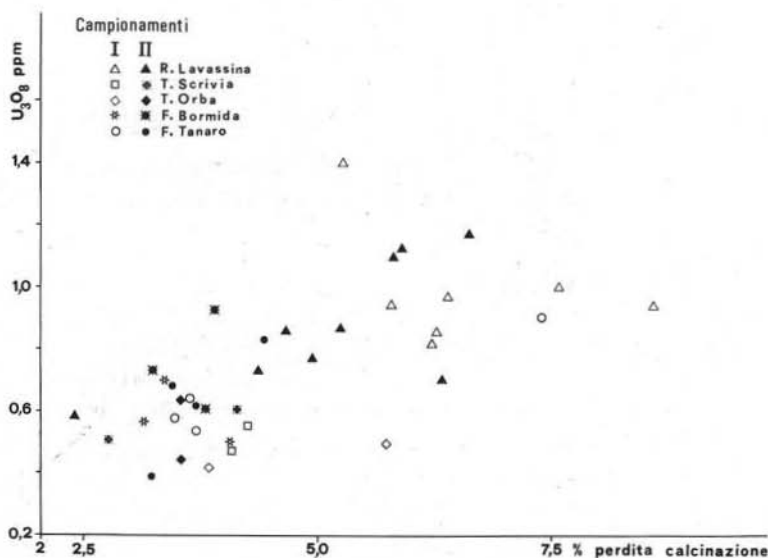


Fig. 14. — In ascissa è riportata la perdita percentuale alla calcinazione dei sedimenti fluviali, sulle ordinate i tenori di uranio lisciviabile.

### 3. Considerazioni conclusive

Nell'area interessata dall'insediamento dell'impianto « Fabbricazioni Nucleari » è stato condotto uno studio geochimico tendente ad acquisire informazioni quantitative soprattutto su due aspetti del problema protezionistico ed ambientale, e cioè:

- a) valutazione delle attuali modalità di circolazione in natura degli elementi tossici trattati dal suddetto impianto, e cioè soprattutto U e F, nella zona in esame;
- b) valutazione quantitativa dei livelli dei succitati elementi riscontrati nell'ambiente esterno dell'area in esame *prima* dell'entrata in funzione dell'impianto.

I due aspetti menzionati costituiscono la base conoscitiva, necessaria al fine di addivenire ad una precisa valutazione delle contaminazioni ambientali da parte dell'attività nucleare e ad una attendibile previsione sulle modalità di circolazione e di eventuale riconcentrazione degli effluenti radioattivi.

Le conclusioni che possono essere tratte dagli studi di campagna e di laboratorio condotti nella zona di Bosco Marengo sono sintetizzabili nei seguenti punti:

- 1) Le caratteristiche chimico-fisiche ed i tenori dei costituenti maggiori disciolti nelle acque esaminate denunciano un elevato livello di contaminazione da parte delle attività convenzionali. Gli scarichi urbani, ed ancor più quelli industriali, hanno già alterato profondamente gli equilibri naturali della zona studiata. In par-

ticolare il chimismo fondamentale delle acque ha subito una sensibile variazione, da un chimismo a bicarbonati alcalino-terrosi, che corrisponde ai normali processi naturali di interazione acque-roccie, a quello a solfati e cloruri alcalino-terrosi.

Questa variazione di chimismo è accompagnata da un incremento apprezzabile della salinità totale delle acque soggette ad inquinamento.

Anche i valori di pH ed Eh riscontrati denunciano una alterazione dei processi naturali nel senso che anche le acque superficiali non possiedono più le caratteristiche di acque a contatto ed in equilibrio con l'atmosfera (condizioni ossidanti e tamponate dal sistema naturale carbonati delle rocce - anidride carbonica dell'aria, attorno alla neutralità).

2) Le analisi del Fe e del Mn nelle acque hanno rivelato la presenza di tenori anomali di questi elementi (vedi tabella 1), tenori che non possono essere giustificati in base ai normali processi di lisciviazione delle rocce e dei terreni da parte delle acque naturali in condizioni supergeniche. Tali tenori sono imputabili agli scarichi industriali della zona.

3) Il tenore in uranio riscontrato nei campioni di suoli e di depositi fluviali dell'area in esame rivela livelli del tutto normali (meno di 1 ppm l'uranio solubile e poche ppm l'uranio totale) per zone caratterizzate da situazioni geolitologiche ed ambientali simili.

I tenori in uranio riscontrati nei campioni di acque presentano in genere valori normali per le caratteristiche ambientali della zona (< 1 microgrammo/l). I 4 campioni raccolti sul fiume Tanaro nel corso della seconda campagna presentano invece tenori ben più elevati (attorno ai 2 microgrammi/l). Il comportamento anomalo di tali campioni appare chiaramente evidenziato nelle fig. 4, 5 e 6. La causa di tali tenori anomali non appare individuabile in base ai dati in nostro possesso; in particolare non è possibile attribuire questi elevati tenori a particolari processi naturali o a contaminazioni industriali. Il dato che chiaramente emerge è comunque sintetizzabile nell'alta variabilità e negli elevati valori di uranio riscontrati nel fiume Tanaro, nel quale confluiranno gli scarichi dell'impianto Fabbricazioni Nucleari.

Ogni eventuale valutazione sui livelli di contaminazione da parte dell'attività nucleare deve essere effettuata alla luce dei valori riscontrati prima dell'inizio dell'attività dell'impianto Fabbricazioni Nucleari.

4) Per quel che riguarda il fluoro molti campioni di acque rivelano tenori elevati, ed in assoluto ed in rapporto ai processi naturali di lisciviazione delle rocce che avvengono nell'area investigata.

Questi tenori anomali sono attribuibili ad inquinamento da parte degli scarichi industriali ed urbani della zona. In una situazione di inquinamento per fluoro si trovano anche le acque del rio Lavassina, prelevate a valle ed a monte dell'impianto F.N. (vedasi figg. 7 e 10).

5) Per quanto riguarda le modalità di circolazione degli elementi U e F riscontrate nell'area, va in primo luogo osservato che i caratteri chimico-fisici di molte acque della zona, ed anche del rio Lavassina, corrispondono ad un ambiente di transizione e sono quindi solo moderatamente ossidanti.

I diagrammi pH-Eh mostrano che i punti rappresentativi di tutte le acque cadono nel campo di stabilità dell'uranio esavalente e, per essere più precisi, dello ione uranile  $UO_2^{2+}$ , che rappresenta la forma dell'uranio solubile e mobile nell'ambiente supergenico, anche grazie alla stabilità del complesso con lo ione carbonato.

Se l'uranio viene immesso nell'ambiente sotto forma esavalente circolerà nelle acque sino ad immettersi nel sistema fluviale della zona senza subire importanti processi di precipitazione. Se invece l'uranio venisse immesso nell'ambiente sotto forma ridotta o di ossido insolubile, i caratteri scarsamente ossidanti delle acque della zona potranno portarlo in soluzione nelle acque con estrema lentezza.

Il fluoro ha una elevata possibilità di migrare nella fase acquosa date le caratteristiche idrogeochimiche riscontrate nella zona. Non si intravedono cioè processi capaci di precipitarlo in breve tempo e/o spazio dalle acque naturali.

6) Le condizioni idrodinamiche e sedimentologiche riscontrate nel rio Lavassina indicano che non sussistono condizioni favorevoli alla deposizione delle frazioni sottili.

\* \* \*

Dalle considerazioni conclusive emerse dallo studio geochimico effettuato nella zona di Bosco Marengo, considerazioni sinteticamente presentate in precedenza, si evince la necessità di effettuare studi e rilievi del tipo qui presentati, *prima* che entrino in funzione gli impianti nucleari.

Nel caso in oggetto è da sottolineare l'inquinamento delle acque in fluoro già causato nella zona da attività convenzionali.

Per il caso dell'uranio vanno segnalati i tenori relativamente elevati (circa 2 microgrammi/l) riscontrati nel fiume Tanaro a monte ed a valle della confluenza del torrente Bormida e del rio Lavassina.

Le osservazioni precedenti sottolineano la convenienza di affrontare lo studio degli inquinamenti nucleari in maniera globale e completa. È necessario infatti stabilire quale risulta essere lo stato dell'inquinamento ambientale causato dalle attività convenzionali ed il livello riscontrato in natura, per non penalizzare — anche sotto il profilo psicologico — le iniziative nucleari, attribuendo loro degli inquinamenti ambientali che vengono invece causati da altre attività, oppure che sono ascrivibili ad alti valori del fondo naturale.

#### *Ringraziamenti*

Si ringrazia la Dott. O. FERRETTI che ha effettuato le analisi granulometriche e mineralogiche dei campioni di limo.

## BIBLIOGRAFIA

- BRONDI M., DALL'AGLIO M., TONANI F., VISIBELLI D. (1966) - *Laboratori mobili per l'analisi delle acque naturali*. L'Industria Mineraria, genn., 7-12, Roma.
- CHEBOTAREV I. (1955) - *Metamorphism of natural water in the crust of weathering*. Part 1: Geoch. et Cosmoch. Acta, 8, 22-48; Part 2: Geoch. et Cosmoch. Acta, 8, 137-170; Part 3: Geoch. et Cosmoch. Acta, 198-212.
- DALL'AGLIO M., CASENTINI E. (1970) - *The distribution of uranium between precipitates and brines in the solar salt plant of Margherita di Savoia - Geochemical considerations*. Boll. Soc. Geol. Ital., 89, 475.
- GARRELS R.M., CHRIST C.L. (1965) - *Solution, Mineral and Equilibria*. Harper and Row, New York.