



4.5



5.0



5.6

6.3



7.1



8.0

9.0



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS - 1963

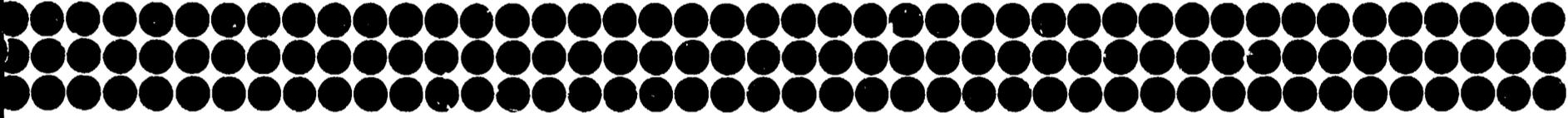
Comitato Nazionale Energia Nucleare

**Sulla composizione della sabbia e dell'argilla
del CRN della Trisaia e sulle loro proprietà
di assorbimento di alcuni prodotti di fissione**

Rapporto N. 2

G. CASSANO, G. LENZI, A. MARZOCCHI

Il rapporto N° 1 era intitolato «Indagine preliminare su alcuni tipi litologici del CRN della Trisaia in relazione alle possibilità di contaminazione radioattiva delle falde acquifere». Il presente rapporto, pertanto, è la prosecuzione del precedente, anche se con titolo diverso.



**CNEN-
RT/PROT(70)5**

Comitato Nazionale Energia Nucleare

**Sulla composizione della sabbia e dell'argilla
del CRN della Trisaia e sulle loro proprietà
di assorbimento di alcuni prodotti di fissione**

Rapporto N. 2

G. CASSANO, G. LENZI, A. MARZOCCHI

Il rapporto N° 1 era intitolato «Indagine preliminare su alcuni tipi litologici del CRN della Trisaia in relazione alle possibilità di contaminazione radioattiva delle falde acquifere». Il presente rapporto, pertanto, è la prosecuzione del precedente, anche se con titolo diverso.

Testo pervenuto il 4 marzo 1970

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	pag. 1
2.	GENERALITA' SULL'AMBIENTE.....	" 3
3.	PARTE SPERIMENTALE.....	" 4
3.1	COMPOSIZIONE DELLA SABBIA.....	" 4
3.1.1	COMPOSIZIONE MINERALOGICA DELLA SABBIA.....	" 6
3.1.2	COMPOSIZIONE DELLA PARTE ARGILLOSA CONTENUTA NELLA SABBIA.....	" 7
3.1.3	COMPOSIZIONE DELL'ARGILLA DI FONDO.....	" 10
3.2	STUDIO DELL'INFLUENZA DEGLI IONI ESTRANEI SULL'ASSORBIMENTO DI Cs E Sr NEI TIPI LITO- LOGICI CONSIDERATI.....	" 12
3.3	STUDIO DELL'INFLUENZA DEL pH SULLO ASSORBIMENTO DI Cs E Sr NEI TIPI LITOL- GICI CONSIDERATI.....	" 17
4.	CONCLUSIONI.....	" 19
	BIBLIOGRAFIA.....	" 22

1. INTRODUZIONE

E' noto ormai da lungo tempo, come uno dei problemi connessi con l'installazione, in un certo sito, di un impianto nucleare, è quello della possibile contaminazione dell'ambiente circostante da parte di radionuclidi rilasciati sia in condizioni di normale funzionamento, sia nel caso di un incidente.

Vi sono dei criteri che possono, in pratica, garantire la sicurezza dell'ambiente da parte della radioattività; tali criteri coinvolgono diverse discipline, quali la geografia, la demografia, la geologia, la sismologia, la chimica, la oceanografia, questa ultima soprattutto quando un impianto nucleare, come quello del PCUT del CNEN, nella località oggetto del nostro studio, giace in vicinanza del mare, l'ingegneria sanitaria ecc. (1) (2) (3). Nella valutazione dei rischi di contaminazione dell'ambiente, in seguito ad incidente, però, non è possibile determinare in modo assoluto e completo, a priori, tutte le componenti che possono dare luogo ad una contaminazione nell'interno o al di fuori del Centro in questione. Infatti, nella scelta di un sito per la costruzione di un impianto nucleare bisogna tenere conto di un certo compromesso fra tutti i criteri che dovrebbero garantire la sicurezza contro i pericoli della radioattività, sia che essa venga contenuta, sia che si diffonda nella biosfera sotto forma gassosa o liquida.

E' opportuno, quindi, conoscere, relativamente ai problemi geologici posti di caso in caso (quali ad esempio, quelli di cui ci interessiamo) se i terreni su cui sorge un impianto possono o no avere l'abilità di assorbire uno o più radionuclidi, sotto determinate condizioni, in quanto, nel caso di un indebito rilascio di liquidi contaminati verso l'ambiente esterno, il terreno si presenta come il primo e naturale recapito di tali prodotti. Ora, in alcune zone del Centro della Trisaia verranno sepolti dei rifiuti radioattivi solidi di bassa attività entro trincee appositamente scavate, mentre in altre zone verranno sepolti dei rifiuti solidi di media ed alta attività costituiti dalle camice delle barre di combustibile, da pezzi di macchine delle celle calde contaminate ecc. ecc.; in appositi serbatoi di acciaio inox, sistemati in camere blindate ed interrate a vari metri di profondità verranno, poi, immessi i liquidi ad altissima attività provenienti dal riprocessamento delle barre di combustibile, in attesa che, in un prossimo futuro, possano

venire solidificati attraverso opportuni procedimenti.

Pertanto abbiamo creduto opportuno conoscere in dettaglio la composizione e le proprietà dei materiali litoidi che compongono il sottosuolo nei punti critici, al fine di sapere se tali rocce sono in grado di trattenere determinati radionuclidi qualora questi venissero a riversarsi nell'ambiente geologico e, quindi, successivamente, tramite le acque circolanti del sottosuolo, nelle acque superficiali.

I criteri da usare per tale scopo sono diversi e si possono riassumere nei seguenti: (4)

- 1) Conoscenza delle caratteristiche dell'acquifero (livello freatico più o meno profondo, coefficiente di permeabilità, porosità, direzione e velocità della falda acquifera, grado di fessurazione, eventuale presenza di faglie ecc.)
- 2) Conoscenza della composizione chimica e mineralogica delle rocce interessate, del loro grado di alterazione, di granulometria ecc.
- 3) Conoscenza delle proprietà fisico-chimiche di tali rocce, sotto definite condizioni sperimentali, il che dipende sia dalla loro composizione mineralogica, sia dai cationi in questione e dal grado di acidità delle soluzioni.

Tralasciando, per il momento, il primo punto per il quale saranno necessari più approfonditi esami sul sito, abbiamo voluto, per il momento, in via preliminare, limitarci allo studio della composizione e della abilità di assorbimento dei terreni che dovranno essere in contatto con i rifiuti solidi. Per ora sono stati esaminati alcuni campioni provenienti dalla fossa destinata ad accogliere i rifiuti di media ed alta attività, riservandoci, poi, di estendere le analisi ad altri campioni raccolti in zone ugualmente interessate al seppellimento di rifiuti solidi.

2. GENERALITA' SULL'AMBIENTE

Il Centro Ricerche Nucleari (CRN) del CNEN della Trisaia è situato in provincia di Matera, sulla destra del fiume Sinni, a pochi chilometri di distanza dal mare Ionio; esso occupa un'area di 200 ha. su di un terrazzo marino a monte della statale Ionica n° 106; il rilievo geologico eseguito nei dintorni, ha permesso di ricostruire la serie dei terreni come appresso specificato:

- a) Olocene (quaternario recente); alluvioni recenti, depositi fluviali, limi e sabbie, con livelli di ghiaia specialmente lungo i corsi d'acqua principali.
- b) Pleistocene
 - 1) Terrazzi marini con sabbie grossolane ocracee talvolta debolmente argillose e con lenti di argilla e ghiaia alla base, e conglomerato più o meno cementato ad elementi grossolani, talvolta con panchina al tetto della formazione.
 - 2) Argille marnose-grigio-azzurre, spesso giallastre per alterazione superficiale e carboniose.

Sotto questa serie, i sondaggi eseguiti dall'AGIP, hanno messo in luce una potente formazione alloctona argillosa, sotto la quale, sembra che si trovi ancora una formazione pliocenica e addirittura quaternaria (5). Non abbiamo voluto entrare nel merito a tale questione e pertanto abbiamo riportato la serie rilevata secondo la datazione ufficiale della Carta Geologica.

Al tetto di tutta la serie c'è uno strato di terreno agrario con potenza oscillante intorno ai 1 + 2 metri, talvolta anche di più. La base delle sabbie pleistoceniche costituisce un copioso acquifero, con circolazione di acqua abbastanza elevata, soprattutto nella stagione umida, che potrebbe dare luogo a spontanee uscite d'acqua lungo la scarpata a nord ed a Ovest dove il pendio topografico taglia lo strato acquifero. L'ubicazione generale del sito è indicata nella cartina di Fig. n° 1, mentre in Fig. n° 2 viene riportata la mappa della zona di campionamento dei terreni studiati in questo rapporto. La relativa stratigrafia è mostrata in Fig. n° 3 bis, mentre il rilievo geologico è mostrato in Fig. n° 3.

3. PARTE SPERIMENTALE

Sono stati presi in considerazione, per ora, dei campioni di sabbie e di argille, in quanto le prime sono sede dell'acquifero e le seconde rappresentano la superficie di scorrimento dello stesso. Tali tipi litologici, per la loro natura, sono più importanti della formazione ciottolosa sovrastante (conglomerato) in quanto quest'ultimo per le caratteristiche della parte cementante, ha un comportamento fisico-chimico analogo a quello delle sabbie; inoltre le sabbie e le argille sono quei materiali che controllano tutto il movimento dei radionuclidi nel terreno (13) (14).

3.1 COMPOSIZIONE DELLA SABBIA

E' stata condotta un'analisi granulometrica preliminare sulla sabbia che ha dato i risultati espressi nella tabella n° 1 e sul grafico di Fig. n° 4 è riportato l'andamento caratteristico della granulometria.

TABELLA I

Granulometria caratteristica della sabbia della Trisaia.

Mesh	Diametro dei granuli in mm.	% \pm 1%
18	> 1,00	5
18-30	1,00-0,595	1
30-50	0,595-0,297	3
50-70	0,297-0,210	7
70-100	0,210-0,149	31
100-140	0,149-0,105	42
140-200	0,105-0,074	6
200-270	0,074-0,053	2
270-400	0,053-0,037	2
passante a 400	< 0,037	1

totale 100

Successivamente è stata prelevata la parte argillosa della sabbia da un campione di 100 grammi, opportunamente essiccato, mediante decantazioni successive in un beker fino al momento in cui la sabbia non era più in grado di dare luogo ad una torbida quando veniva agitata in acqua. La sospensione di torbida è stata centrifugata ed opportunamente essiccata, indi pesata: è risultata essere, quindi, circa il 4 + 5% del totale. Successivamente è stata sottoposta ad analisi a raggi X per conoscerne i componenti mineralogici.

La sabbia è stata, dopo essiccazione, pesata e sottoposta al trattamento con i liquidi pesanti in modo da separarne i costituenti essenziali, che, in seguito, sono stati sottoposti ad una indagine a raggi X per conoscerne la natura. I risultati delle separazioni con i liquidi pesanti sono espressi nella tabella n° 2.

TABELLA N° 2

Percentuali dei minerali a varie densità nella sabbia della Trisaia

Densità	Quantità in % (peso)
> 3,17	0,30 di cui circa 0,1% Magnetite
3,17 + 2,97	0,10
2,97 + 2,83	9,00
2,83 + 2,60	53,00 di cui il 45% di quarzo e plagioclasio e l'8% di CaCO ₃
2,60 + 2,53	31,40
2,53 + 1,94	6,00
< 1,94	0,00
Totale	99,80

3. 1. 1 COMPOSIZIONE MINERALOGICA DELLA SABBIA

Sulle principali frazioni separate con i liquidi pesanti è stata fatta l'analisi a raggi X per conoscere i costituenti mineralogici essenziali e la natura della parte argillosa cementante. Sono stati fatti i diffrattogrammi, anche per le frazioni con densità maggiore di 2,97 che hanno dato degli spettri riferibili ad un termine dei pirosseni e/o degli anfiboli, ma, data la loro scarsa quantità rispetto al totale della massa, non crediamo utile soffermarci su di essi. D'altra parte è noto (6) (7) che la loro abilità di assorbimento di certi radio-nuclidi, è quasi del tutto nulla, mentre, al contrario, i minerali di tipo argilloso e/o micaceo hanno un certo ruolo nella fisico-chimica dell'assorbimento dei cationi radioattivi nel sottosuolo (8) (9) (10).

La frazione a densità compresa fra 2,83 + 2,97, inoltre, è stata sottoposta anche all'esame ottico al microscopio polarizzatore per ulteriore precisione; essa è infatti costituita da granelli o scagliette, di colore verde scuro, verde cupo, lucenti, visibili anche ad occhio nudo, che fanno pensare, a prima vista, a minerali di tipo micaceo. All'indagine ottica si notano minerali con sfaldature, nette e fini e con una serie di caratteri tali che fanno pensare trattarsi di un minerale del gruppo della clorite o della vermiculite (11). Sono stati notati, poi, altri minerali le cui caratteristiche ottiche ci inducono a ritenere che si tratti di mica muscovite. Queste attribuzioni hanno trovato conferma, poi, nella successiva indagine a raggi X come diremo più avanti.

Nella frazione di densità compresa fra 2,83 e 2,60, poi, sono stati distrutti i carbonati mediante HCl 1 N, i quali, per differenza di pesata sono risultati circa il 7 - 8% del totale. Le analisi a raggi X sono state fatte con camera DEBYE-Scherrer da 114,6 mm di diametro e radiazione $\text{CuK}\alpha$ per le frazioni di densità 2,83 e con radiazione $\text{FeK}\alpha$ o $\text{CrK}\alpha$ per quelle superiori a 2,83 più ricche in ferro. Fra i minerali presenti nella sabbia sono stati riconosciuti il quarzo ed un plagioclasio acido di tipo albite; nelle frazioni più leggere unitamente al carbonato di calcio sotto forma di calcite, preceden-

temente trovato per via chimica nella frazione di densità 2,60 + 2,83, mentre nelle frazioni più pesanti sono presenti minerali del tipo della muscovite e vermiculite. Più particolareggiatamente si espongono sulla tabella N° 3 i risultati con i minerali di confronto.

3. 1. 2 COMPOSIZIONE DELLA PARTE ARGILLOSA CONTENUTA NELLA SABBIA

Come precedentemente detto, la sabbia ocracea contiene una certa quantità, sia pure minima, di materiale argilloso, sotto forma di polvere finissima che è stata separata per decantazioni successive. Tale parte è stata sottoposta inoltre a successive separazioni con le quali si sono ottenute varie frazioni come appresso specificato:

- 1) materiale tal quale
- 2) materiale tal quale passante al setaccio di 400 Mesh
- 3) sospensione nel separatore di Andreasen fra 0 e 10 cm dopo 12 ore e dopo 24 ore
- 4) sospensione nel separatore di Andreasen fra 10 e 20 cm dopo 12 ore e dopo 24 ore.

Tali frazioni sono state sottoposte all'analisi a raggi X. Il materiale 1) e 2) ha dato degli spettri perfettamente uguali. Il materiale 3) e 4) ha dato degli spettri in gran parte simili a quelli 1) e 2) con in più alcune leggerissime differenze dovute all'arricchimento in minerali argillosi, avvenuto in dette frazioni.

Sono riconoscibili in detti spettri le righe del quarzo, di un minerale argilloso di tipo illitico, della calcite e, molto probabilmente della vermiculite, anche se in tracce quanto mai minime. Si riporta, comunque, nella tabella n° 4 lo spettro dei materiali in questione, con i corrispondenti minerali di attribuzione.

Senza volerci addentrare in particolari che, in questo lavoro, non sarebbero del tutto utili ai nostri fini, diremo solo che, osservando la predetta tabella, può sorgere il dubbio se la riga a 14,3 Å debba essere

TABELLA N° 3

Vermiculite		Muscovite		Parte a densità 2,97-2,83		Parte a densità 2,83-2,60		Parte a densità 2,60-2,53		Quarzo		Plagioclasio albite	
dA	l/l _o	dA	l/l _o	dA	l/l _o	dA	l/l _o	dA	l/l _o	dA	l/l _o	dA	l/l _o
14,2	ff	9,96	ff	14,23	m								
7,10	d			10,0	f								
		4,97	ff	7,08									
4,75	ddd			4,97	dd								
		4,47	ff	4,75	ddd								
		4,30	dd	4,45	m								
				4,27	dd	4,26	m	4,26	f	4,26	m		
		3,87	m	4,01	dd	4,01	ddd	4,01	ddd			4,05	m
3,75	dd	3,75	f	3,79	dd							3,80	d
				3,75	dd	3,70	ddd						
3,51	m	3,51	m	3,65	dd							3,66	m
3,42	m	3,44	f	3,33	ff	3,33	ff	3,33	ff	3,34	ff		
		3,32	ff	3,33	ff	3,33	ff	3,33	ff				
		3,22	f	3,20	d	3,19	d	3,20	d				
				3,02	d								
		2,99	f	2,94	m							2,96	m
2,81	d	2,86	m	2,88	mf								
2,74	dd	2,77	m	2,82	ddd								
				2,70	dd								
2,63	m			2,65	dd							2,65	ddd
		2,58	mf	2,58	f								
		2,56	ff	2,56	f	2,56	dd	2,57	dd			2,56	d
		2,50	d			2,45	mf	2,459	d	2,458	d	2,44	d
		2,45	d	2,45	m								
		2,38	m	2,39	m								
		2,34	m	2,34	d								
				2,28	mf	2,28	d	2,28	d			2,32	d
				2,23	m	2,24	dd	2,237	dd			2,18	dd
				2,18	ddd							2,13	d
2,006	dd	2,13	m	2,12	mf	2,13	d	2,128	dd				
		1,99	m	2,009	d	1,97	m	1,97	dd	1,98	dd	1,99	dd
						1,81	ff	1,82	f	1,817	d	1,83	md
						1,72	dd					1,73	dd
		1,66	d	1,660	ddd	1,66	m	1,67	dd	1,67	dd	1,67	dd
		1,60	dd	1,60	ddd	1,60	dd	1,60	ddd				
1,53	m	1,55	m	1,546	d	1,54	f	1,54	m	1,54	m	1,54	d
		1,50	f										
						1,45	d	1,45	ddd	1,45	dd	1,46	m
						1,42	dd			1,418	ddd		
						1,38	f	1,38	ddd	1,38	ddd	1,38	dd
						1,375	ff	1,376	m	1,375	d		
						1,287	d	1,289	dd	1,288	dd	1,27	md
						1,256	d	1,258	ddd	1,254	dd		

TABELLA N° 4

Composizione della parte argillosa della sabbia della Trisaia

Materiale passante a 400 Mesh e non passante a 400 Mesh			Materiale rimasto in sospensione nel separatore di Andreasen fra 10 e 20 cm e fra 0 e 10 cm dopo 12 e 24 h		
dA	l/l _o	Minerale di attribuzione	dA	l/l _o	Minerale di attribuzione
9,9	dd	Illite	14,3	dd	Vermiculite (?)
7,18	dd	Vermiculite (?)	10,1	dd	Illite
4,45	d	Illite	7,2	dd	Vermiculite (?)
4,26	d	Illite + Quarzo	4,47	f	Illite
3,88	dd	Illite + Calcite			
3,34	ff	Illite + Quarzo	3,88	dd	Illite + Calcite
3,03	ff	Calcite	3,36	f	Illite
2,57	dd	Illite	3,03	f	Calcite
2,48	dd	Calcite	2,62	m	Illite
2,40	dd	Illite	2,56	md	Illite
2,28	m	Quarzo + Calcite	2,49	dd	Calcite
2,14	dd	Quarzo + Illite	2,41	dd	Illite
2,09	d	Calcite	2,28	dd	Quarzo + Calcite
1,98	dd	Quarzo + Illite	2,09	dd	Calcite
1,92	d	Calcite	2,00	dd	Illite
1,88	d	Calcite	1,98	dd	Calcite
1,82	d	Quarzo			
1,60	dd	Calcite	1,87	d	Calcite
1,54	d	Quarzo			
1,50	dd	Illite	1,60	dd	Calcite
1,42	dd	Quarzo	1,54	dd	Vermiculite (?)
1,38	dd	Quarzo	1,50	d	Illite
1,29	dd	Quarzo			
1,08	dd	Quarzo			

attribuita alla vermiculite o alla Clorite.

Ci sembra comunque che la riga in questione, insieme a varie altre considerazioni, possa attribuirsi alla vermiculite poichè la Clorite ha anche una riga a 4,79 Å di intensità fortissima, che nel nostro spettro non compare, mentre la Vermiculite ha tale riga con intensità debolissima; pertanto ci sembra più opportuno, sulla base di tali considerazioni, propendere verso la presenza di Vermiculite piuttosto che di Clorite. Per queste ed altre particolarità sarà detto, eventualmente, in un successivo lavoro.

Le attribuzioni di cui sopra, dal punto di vista qualitativo, trovano conferma nelle precedenti analisi della sabbia più grossolana, nella quale sono stati trovati, fra i minerali più indicativi, il quarzo, il plagioclasio acido di tipo albitico, la vermiculite ed una mica di tipo muscovitico. L'intensità delle righe, poi, ci fa pensare che tali minerali siano quanto mai scarsi in questa parte argillosa e ciò è in accordo con quanto trovato sia all'analisi granulometrica, sia con la separazione a mezzo liquidi pesanti.

3.1.3 COMPOSIZIONE DELL'ARGILLA DI FONDO (PLEISTOCENICA)

Su di un campione dell'argilla di fondo del pozzo destinato a raccogliere i rifiuti solidi di alta attività sono state condotte delle indagini preliminari per conoscerne la natura. Dopo opportuna essiccazione a 105 °C in stufa, macinazione, rimozione di varie impurezze di tipo organico (residui carboniosi, resti di organismi ecc.) e di tipo inorganico (ciottoletti e mineraletti provenienti dagli strati superiori ecc.) ed altri accorgimenti, si è fatta la diffrattometria i cui risultati sono espressi nella tabella n° 5.

TABELLA N° 5

Spettri dell'argilla di base del pozzo

Sospensione compresa fra 0 + 10 cm dopo 170 h (400 Mesh)		Minerale di attribuzione	Sospensione fra 10 + 16 cm dopo 170 h passante a 400 Mesh	
d Å	I/I ₀		d Å	I/I ₀
14,0	dd	Vermiculite		
10,0	dd	Illite	10,1	d sf
7,18	d	Vermiculite	7,18	dd
4,45	md	Illite	4,48	ff
		Illite	4,30	dd
4,24	m	Quarzo		
3,86	dd	Calcite + Illite		
3,33	ff	Illite + Quarzo	3,34	f
3,19	dd	Illite		
3,02	ff	Calcite	3,03	ff
2,56	d	Illite	2,57	mf
2,48	dd	Calcite + Illite	2,49	ddd
2,46	dd	Quarzo		
		Illite	2,39	ddd
2,279	m	Calcite + Quarzo	2,28	d
2,24	dd	Quarzo		
2,09	d	Calcite	2,09	d
2,02	dd	Quarzo + Illite	1,98	dd
1,91	d	Calcite	1,91	d
1,87	d	Calcite	1,87	d
1,81	m	Quarzo	1,81	dd
1,608	dd	Quarzo		

Anche per ciò che si riferisce ai risultati della precedente tabella ci sembra di poter dire, pur non entrando nei particolari di natura mineralogica che esulano dal nostro compito, e per i quali occorrerebbe un completo e lungo lavoro a parte, che la formazione argillosa di base su cui poggia la serie sabbiosa e conglomeratica è costituita da una mescolanza di quarzo, calcite ed un minerale argilloso ascrivibile alla illite, con tracce infinitesime probabilmente di vermiculite.

La curva termodifferenziale ottenuta sul materiale essiccato e passante al vaglio da 400 Mesh dopo sospensione nel separatore di Andreasen confermerebbe l'attribuzione di cui sopra, come può vedersi dalla Fig. no.5 che mostra i tre picchi endotermici della illite con standard di confronto (12).

3.2 STUDIO DELL'INFLUENZA DEGLI IONI ESTRANEI SULL'ASSORBIMENTO DI Cs e Sr NEI TIPI LITOLÓGICI CONSIDERATI

Si è anche voluto studiare l'influenza dei cationi estranei sull'assorbimento dei radionuclidi nei tipi litologici quali le sabbie e le argille. Le varie frazioni a varia densità, separate con i liquidi pesanti provenienti dal campione di sabbia sono state messe in equilibrio con soluzioni di Cesio, Stronzio e Cerio a bassa concentrazione (10^{-5} N) nelle quali era presente lo ione Na^+ a concentrazioni più alte ed a pH neutro. Ogni frazione, costituita da minerali aventi una certa densità è stata divisa in due parti una delle quali è rimasta tal quale, l'altra è stata macinata fino a 400 Mesh al fine di osservare delle eventuali differenze di comportamento. In realtà non si è avuta differenza apprezzabile fra le due parti tanto che nella tabella n° 6 viene riportata soltanto una sola colonna con il valore medio. Per le argille gli esperimenti sull'influenza degli ioni estranei sono stati condotti sulla frazione passante a 400 Mesh, cioè sulla parte più "attiva" della massa argillosa.

Quanto alle sabbie si può osservare una certa preferenza dei materiali in questione ad assorbire lo stronzio anche in presenza di alte concentrazioni di Na^+ ; ma nel caso che fosse presente lo ione Ca^{++} ci dovremmo aspettare un as-

sorbimento molto minore influenzato solo dalla capacità di scambio del materiale. Come fenomeno generale si può osservare che l'assorbimento aumenta quanto più la granulometria è fine (caso, questo, non contemplato in tabella, perchè non fortemente significativo, rispetto al materiale tal quale) e quanto minore è la densità dei costituenti, poichè ciò è in relazione diretta con la presenza di componenti argillosi. L'influenza di ioni estranei interferisce negativamente sull'assorbimento e ciò è in accordo con i risultati già molte volte ottenuti da altri Autori (7) (8); tale influenza comincia ad essere importante in concentrazione superiore a 10^{-2} N di Na^+ . Nella sabbia i Kd per il Cerio, relativamente grandi sono causati, molto probabilmente, dallo "assorbimento" del radionuclide combinato con la precipitazione dello idrossido di Cerio. Nella tabella n° 6 vengono espressi i risultati riassuntivi ottenuti sui costituenti della sabbia in funzione della sola concentrazione dello ione Na^+ .

Per ciò che riguarda l'argilla, si può osservare che la più grande influenza sull'assorbimento del Cesio è stata causata dallo ione K^+ , dato che tale ione ha una somiglianza chimica con il Cesio per quanto riguarda le dimensioni del raggio dello ione idratato. Invece, l'influenza degli altri ioni, come Na^+ , Mg^{++} , e Ca^{++} non è così forte da influenzare negativamente l'assorbimento del Cesio anche in presenza di forti concentrazioni di tali ioni come si può osservare dalla tabella n° 7.

Completamento diverso è, invece, il comportamento della stessa argilla nei riguardi dell'assorbimento dello Stronzio in competizione con elementi alcalini ed alcalino-terrosi (tabella n° 7 bis). Qui la più grande influenza sull'assorbimento di Sr, come del resto era da attendersi, è dovuta allo ione Ca^{++} , data la sua forte somiglianza chimica con lo Sr^{++} , già a concentrazioni medie di 10^{-2} N. Fortissimamente negativa è, poi, l'influenza del Ca^{++} e del Mg^{++} ad alte concentrazioni (10^{-1} N e 0,5 N). A parità di condizioni, inoltre, lo ione Na^+ è quello che influisce meno di tutti gli altri sull'assorbimento del Cs e dello Sr per lo meno fino a concentrazioni di 10^{-1} N.

TABELLA N° 6

Kd (ml/gr) in funzione della concentrazione di Na⁺ sui costituenti della sabbia della Trisaia

	Costituenti della sabbia a densità varia	Concentrazione dello ione Na ⁺ apH 7			
		10 ⁻³ N	10 ⁻² N	10 ⁻¹ N	0,5 N
Kd(Cs)	2,83 + 2,60	60	55	25	3
	2,60 + 2,53	94	83	40	9
	2,53 + 1,94	400	315	150	40
Kd(Ce)	2,83 + 2,60	4000	2000	1000	100
	2,60 + 2,53	5000	4000	1500	200
	2,53 + 1,94	7000	5000	3000	800
Kd(Sr)	2,83 + 2,60	115	112	80	50
	2,60 + 2,53	165	153	100	66
	2,53 + 1,94	104	101	70	50

TABELLA N° 7

Kd (ml/gr) (Cs) nell'argilla della Trisaia in funzione della concentrazione di ioni estranei

Kd (ml/gr) per Cesio				
Concentrazione	10 ⁻³ N	10 ⁻² N	10 ⁻¹ N	5.10 ⁻¹ N
Ione estraneo				
K ⁺	249	90	28	13
Na ⁺	444	329	143	66
Mg ⁺⁺	366	220	111	88
Ca ⁺⁺	369	201	104	83

TABELLA N° 7 BIS

Kd (ml/gr) (Sr) nell'argilla della Trisaia in funzione della concentrazione di ioni estranei.

Kd (per Stronzio) (ml/gr)				
Concentrazione Ione Estraneo	10^{-3} N	10^{-2} N	10^{-1} N	$5 \cdot 10^{-1}$ N
K ⁺	191	66.	14	12
Na ⁺	266	168	27	14
Mg ⁺⁺	111	27	6	4
Ca ⁺⁺	109	12	3	1

3.3 STUDIO DELL'INFLUENZA DEL pH SULL'ASSORBIMENTO DI CESIO E STRONZIO NEI TIPI LITOLOGICI CONSIDERATI

Analogamente a quanto fatto per gli ioni estranei, è stata studiata l'influenza del pH sull'abilità di assorbimento del Cesio e dello Stronzio da parte dei due tipi litologici più importanti, cioè la sabbia e l'argilla di fondo.

Gli esperimenti sono stati condotti con la stessa tecnica prima descritta, mettendo in equilibrio i campioni di terreno con soluzioni di "Model Water" a 25°F di durezza ed a pH man mano diverso; le soluzioni sono state acidificate con HCl ed alcalinizzate con NH₄OH. Si è ottenuto - come, del resto, era da aspettarsi - che i Kd(Sr) sono notevolmente minori dei Kd(Cs) nella sabbia, a parità di pH, mentre per l'argilla i Kd(Sr) sono maggiori di quelli ottenuti sulla sabbia, pur mantenendosi quantitativamente inferiori ai Kd(Cs). Il minore assorbimento si ha in corrispondenza di pH fortemente acidi o fortemente alcalini, mentre fra pH=4 e pH=8 si ha un Kd praticamente costante. Nella tabella n° 8 seguente vengono dati i valori ottenuti al variare del pH sui campioni in esame (fra parentesi le rispettive rimozioni percentuali).

Tali valori, comunque, pur non potendo essere applicati alla lettera, ad una reale situazione esistente nel terreno (1), sono assai indicativi, poichè ci forniscono un ordine di grandezza nella valutazione del fenomeno della migrazione dei cationi radioattivi nel sottosuolo. Infatti una soluzione, per es. a pH=2 che penetri nel terreno non si mantiene a tale pH per lungo tempo e per lungo tratto, poichè essa si mescola con le acque sotterranee della zona saturata, raggiungendo un certo equilibrio che tende verso la neutralità, dato che il pH della falda freatica della Trisaia si mantiene sul valore di 7 circa (solo leggermente spostato verso la alcalinità) come risulta da varie misure già effettuate.

TABELLA N° 8

Kd(ml/gr) per Cs e Sr nella sabbia e nell'argilla della Trisaia in funzione del pH della soluzione

		pH=2	pH=4	pH=6	pH=8	pH=10
Sabbia Trisaia	Kd(Sr)	15 (13, 2)	34 (25, 3)	36 (26, 6)	33 (25, 0)	22 (18, 0)
	Kd(Cs)	285 (74, 0)	574 (85, 1)	460 (82, 1)	444 (81, 6)	132 (56, 9)
Argilla non passante a 400 Mesh	Kd(Sr)	200 (66, 7)	242 (70, 7)	250 (71, 4)	244 (70, 9)	129 (56, 3)
	Kd(Cs)	539 (84, 3)	673 (87, 6)	577 (85, 2)	569 (85, 0)	634 (86, 3)
Argilla passante a 400 Mesh	Kd(Sr)	248 (571, 3)	310 (75, 6)	320 (76, 2)	313 (75, 8)	184 (64, 8)
	Kd(Cs)	588 (85, 5)	800 (88, 9)	706 (87, 6)	705 (87, 6)	343 (77, 4)

4. CONCLUSIONI

Da tutto quanto precede possono trarsi le seguenti conclusioni:

- 1) La sabbia della Trisaia è di tipo abbastanza acido essendo composta, in grande maggioranza, da quarzo, plagioclasio albitico, calcite ed, in assai minore quantità, da minerali pesanti, come le miche ed i pirosseni, con qualche raro anfibolo; una piccola parte di tipo argilloso è, invece, composta da illite, sempre con tracce di calcite e, probabilmente, da tracce minime di vermiculite. Circa il 73% della sabbia è formato da granuli compresi fra 70 e 140 Mesh, cioè con dimensioni di 0,210 + 0,105 millimetri di diametro.
- 2) L'argilla di base è costituita da una miscela di materiale organico ed inorganico: la parte organica è dell'ordine del 10 + 15%, mentre la restante parte inorganica è costituita in gran parte da materiale amorfo e da minerali di tipo illitico con notevoli quantità di accessori quali il quarzo e la calcite, con minime tracce di vermiculite.
- 3) Lo studio dell'influenza degli ioni estranei e dei vari costituenti mineralogici nella sabbia, ha mostrato che i minerali più leggeri (a densità minore di 2,6 + 2,5) sono quelli che maggiormente trattengono i cationi in questione e che l'influenza della concentrazione degli ioni estranei si fa abbastanza sensibile a partire da concentrazioni di 10^{-2} N. I minerali pesanti, in pratica, pur presentando dei Kd molto bassi, non potranno dare alcuna influenza negativa sull'assorbimento dei nuclidi considerati, dato che, nella sabbia, essi sono presenti per circa il 9%. Il Cesio quindi, può essere trattenuto anche in presenza di Sodio, o di calcio, in debole concentrazione dalla parte minerale leggera (infatti essa costituisce la grande maggioranza della sabbia), mentre tale parte ha tendenza a trattenere lo Stronzio anche in presenza di alte concentrazioni di Sodio. La presenza di calcio, invece, come si rileva da esperienze già condotte ed in letteratura (4) (7) è controproducente a tal fine.

- 4) Il Cerio è trattenuto molto bene dalla sabbia, fatto, questo del resto plausibile, - e dal punto di vista della sicurezza, favorevole - a causa della precipitazione dell'idrossido.
- 5) Per quanto attiene alla granulometria, poi, non si è notata una differenza sostanziale, fra le varie frazioni a densità diversa, nell'assorbimento del Cerio, del Cesio e dello Stronzio, sia da soli che in presenza di ioni estranei. Pertanto le proprietà di "assorbimento" dei prodotti di fissione da parte della sabbia sono date, per la gran parte, dalle particelle del diametro compreso tra 0,210 e 0,105 mm, ed in più, dalla piccola parte di tipo argilloso (circa 4% + 5% del totale) costituita da minerali a strati di tipo micaceo (illite, clorite, vermiculite) presenti nella sabbia come parte del cemento stesso.

- 6) L'assorbimento del Cesio da parte dell'argilla in presenza di vari cationi estranei è praticamente influenzato solo dal potassio già in concentrazione di 10^{-2} N, mentre il Ca^{++} ed il Mg^{++} praticamente influenzano tale assorbimento nello stesso modo, cominciando ad influire negativamente solo in concentrazioni superiori a 10^{-1} N.

Il Na^+ , infine, è il catione che, nell'argilla considerata, influenza in modo relativamente minore degli altri cationi, l'assorbimento del Cesio.

- 7) L'assorbimento dello Stronzio da parte dell'argilla in presenza di vari cationi estranei è praticamente influenzato, come è plausibile, dal Magnesio e dal Calcio, già in concentrazioni di 10^{-2} N, mentre il potassio influenza tale assorbimento in pratica, a partire da forti concentrazioni di 10^{-1} N. Anche in questo caso il Na^+ è il catione che influenza meno di tutti gli altri, il meccanismo di assorbimento dello Stronzio. Teoricamente, quindi, volendo "tracciare un limite di sicurezza accettabile" per l'assorbimento di Cs^+ e Sr^{++} da parte dell'argilla non si dovrebbero avere delle soluzioni che presentano concentrazioni ioniche superiori a quelle appresso specificate:

max. assorbimento di Cs^+ max. assorbim. di Sr^{++}

K^+ 10^{-3} N

K^+ 10^{-2} N

Na^+ 10^{-1} N
 Ca^{++} 10^{-2} N
 Mg^{++} 10^{-2} N

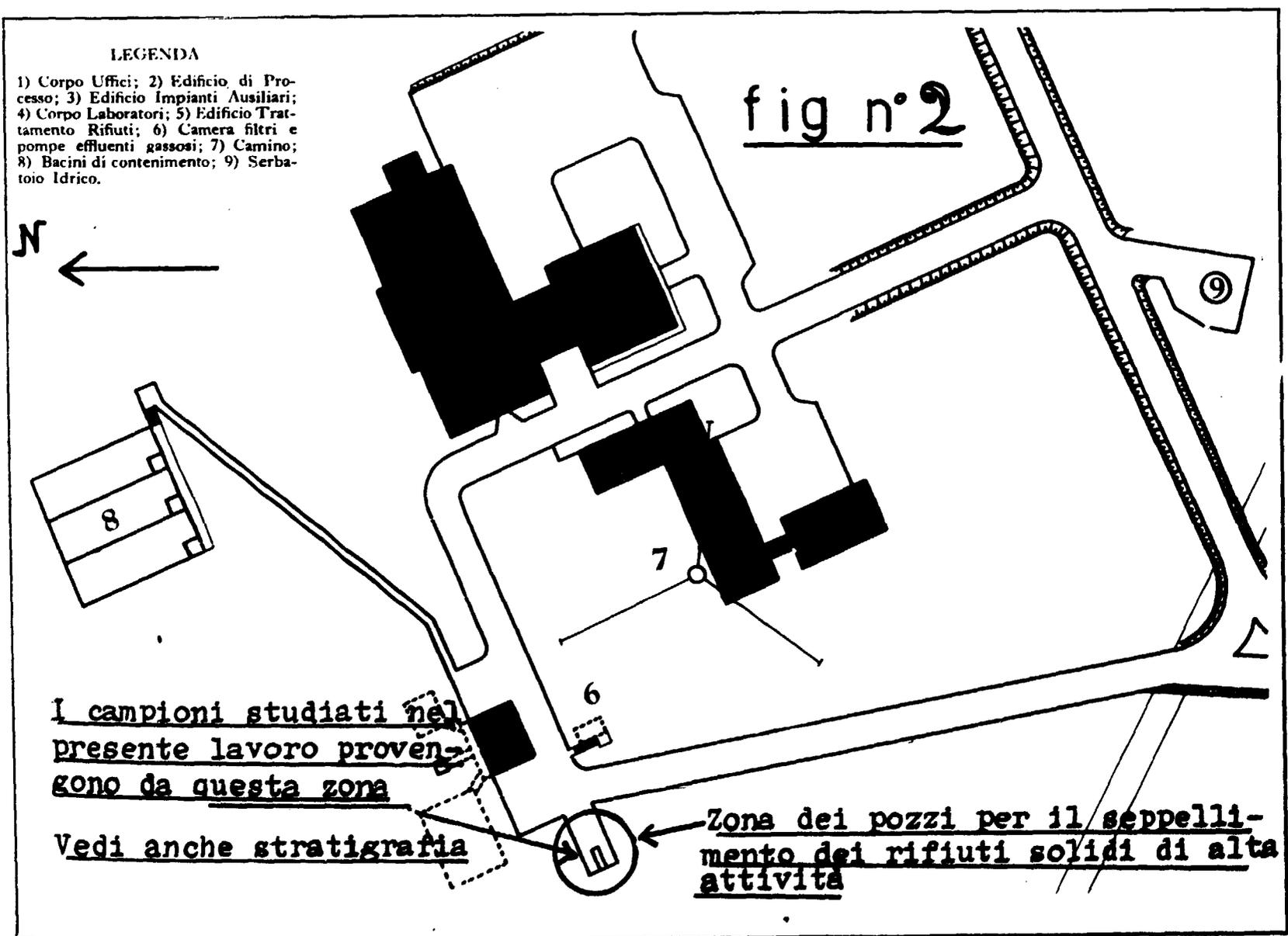
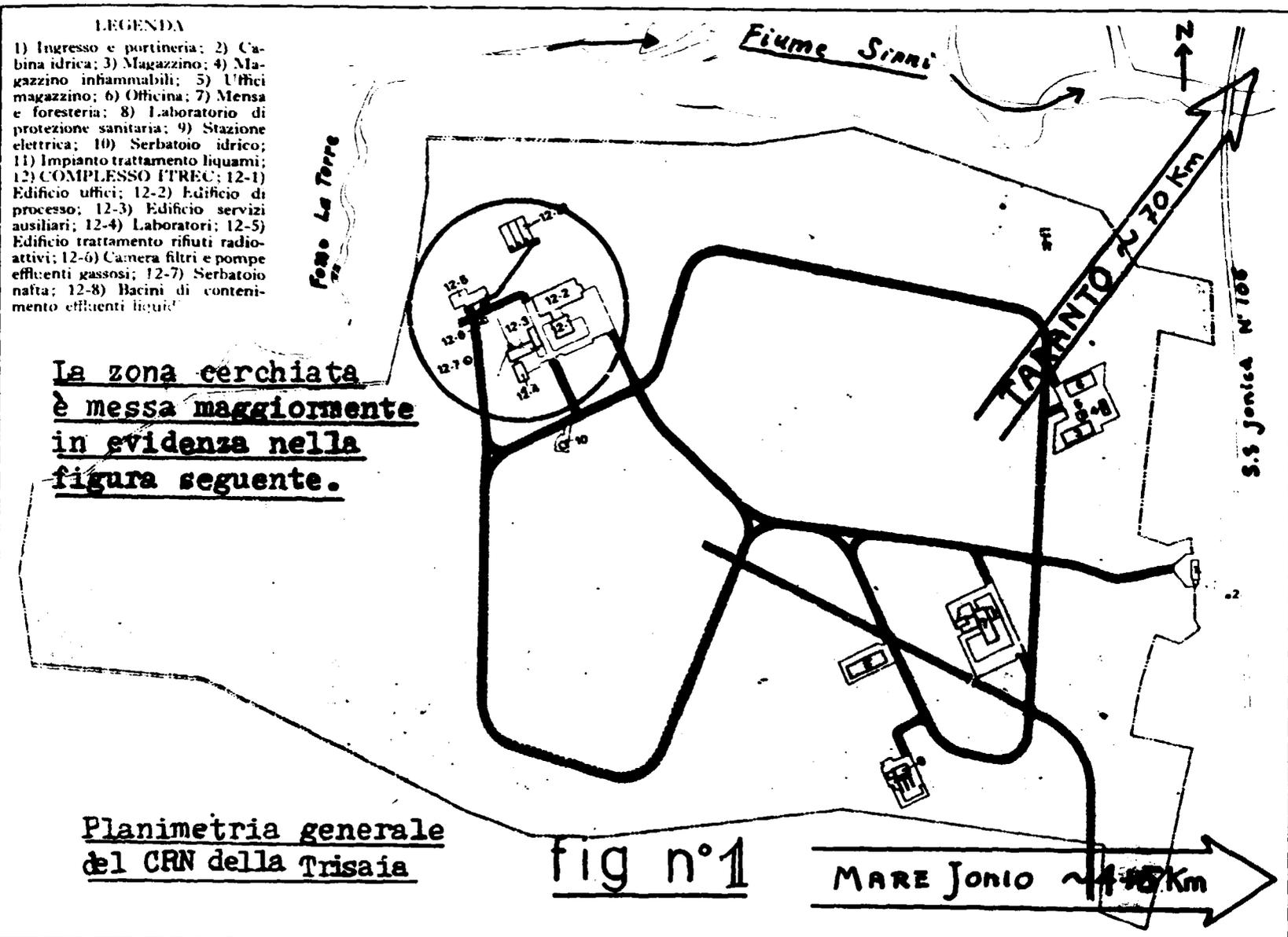
Na^+ 10^{-2} N
 Ca^{++} 10^{-3} N
 Mg^{++} 10^{-3} N

- 8) L' "optimum" di assorbimento del Cesio e dello Stronzio, sia nella sabbia che nell'argilla, si ottiene con pH compreso fra 4 ed 8; nel caso reale, la situazione idrogeologica esistente nel sottosuolo della Trisaia è veramente ottima, sotto questo punto di vista, poichè il pH della falda è costantemente vicino a 7 + 7,2 + 7,3. Si deve notare poi che l'acqua di falda ha un effetto tampone sulle soluzioni che vi provengono accidentalmente dall'esterno.
- 9) Lo Stronzio, comunque, a parità di ogni altra condizione, è sempre meno assorbito che non il Cesio o il Cerio.

BIBLIOGRAFIA

- 1) G. Lenzi - Indagine sulle caratteristiche geologiche e chimiche di un sito in relazione alla possibilità di contaminazione radioattiva delle falde acquifere.
RT/PROT(66) 20 CNEN Roma 1966
- 2) Autori Vari - Contaminazione radioattiva dei mari. Giornata nucleare. Palermo 1 giugno 1961
Ediz. CNEN Vallecchi (Firenze 1961).
- 3) Autori Vari - Disposal of radioactive wastes into seas, oceans and surface waters Ed. IAEA, Vienna 1966.
- 4) Boenzi D.,
Dlouhy Z.,
Lenzi G. - A study on the sorption properties of natural tuffs occurring in the lake Bracciano Region (Rome).
RT/PROT(65) 19 CNEN Roma 1965.
- 5) Carta Geologica
d'Italia - Foglio 212 Ed. del Servizio Geologico di Italia in scala 1:000.000 II ediz. 1965.
- 6) Boenzi D.,
Lenzi G. - A contribution to the study of the site of the Casaccia Nuclear Research Center. Progress Report N° 2 RT/PROT(67)14 CNEN (Roma) 1967.
- 7) Bérak L. - The sorption of microstrontium and microcesium on the silicate minerals and rocks. IAEA research contract N° 97 1962.
- 8) Dlouhy Z. - Classification of the properties of pyroclastic rocks for uptake of fission products. IAEA Research contract N° 137/RB 1963.
- 9) Tamura T. - Selective sorption reaction of Cs with soil minerals. Nuclear Safety Sect. V 1964.
- 10) Tamura T.,
Jacobs D.C. - Structural implications in cesium sorption. Health Physics Science 2. 1969 pag. 391.
- 11) Roubault M. - Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. Ed. Lamarre-Poinat (Paris) 1963.

- 13) Simpson E. S.,
Baetslé L.,
Staner P.,
Lenzi G.,
Soufriaux J. - Etude de la pénétration de solutions aqueuses dans la zone non saturée d'un profil. - Programme de recherche sur le traitement d'eau et de résidus radioactifs. Rapport N° 6 CEN Mol R 2055 (1961).
- 14) Baetslé L. - Physicochimie de la migration de cations dans le sol. Rapport EURATOM EUR 141 f (1963).



STRATIGRAFIA DELLA ZONA DEI POZZI DESTINATI A CONTENERE GLI
SCARICHI RADIOATTIVI SOLIDI DI ALTA ATTIVITA'

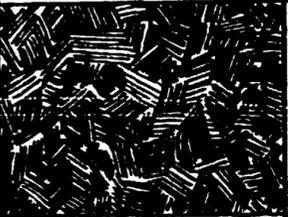
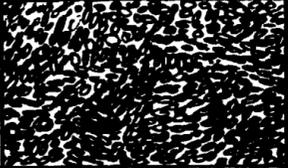
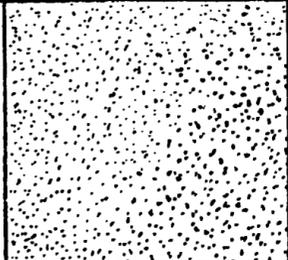
Quote	Simbolo	Sigla	Denominazione
↓ 0,00			Piano di campagna
↓ -1,50		A ₀	Suolo agrario
↓ -2,80		A ₁	Ghiaia e conglomerato poco cementato
↓ -4,00		A ₂	Puddinga ad elementi minuti
↓ -4,40		A ₃	Sabbie
↓ -4,80		A ₄	Ghiaia
↓ -5,50		A ₅	Conglomerato
↓ -7,25		A ₆	Sabbie
↓ -8,50		A ₇	Argille

FIG. N° 2 Bis

Granulometria caratteristica della sabbia della Trisafia

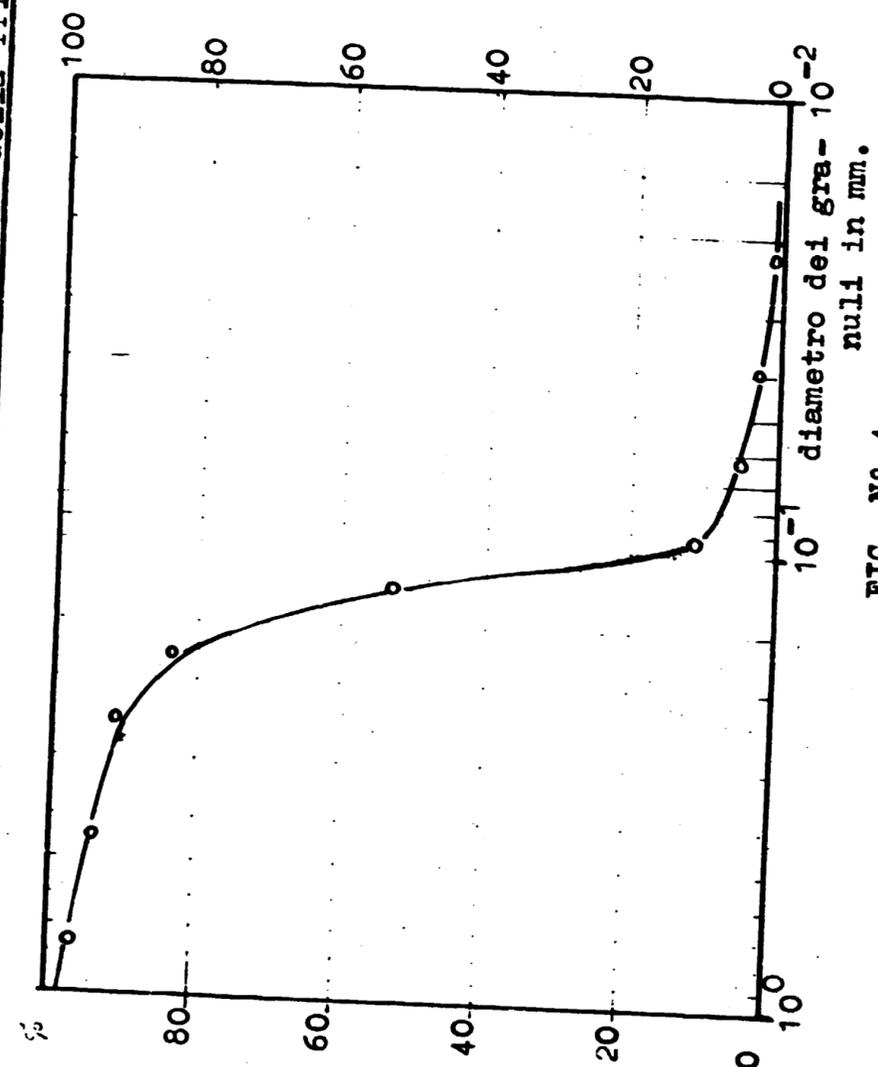


FIG. N° 4

ANALISI TERMODIFFERENZIALI DI ILLITI STANDARD E DELL'ARGILLA DELLA TRISAIA
FIG . N° 5

