

Università degli studi di Napoli Federico II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Tesi di laurea triennale in
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

«Interventi di bonifica a seguito di incidenti nucleari»

Relatore
Prof. Ing. Massimiliano Fabbricino

Candidata
Lorenza Di Prizito
Matr. N49/460

Anno Accademico 2014/2015

Incidente nucleare:

Evento in cui si produce un'emissione di materiale radioattivo o un livello di radioattività suscettibile di apportare pregiudizio alla salute pubblica.



Mutazioni genetiche

Danni ambientali

U-235 e U-238

Cs-137

I-131 e I-129

H-3

Sr-90

...



Tumori

Malformazioni



Classificazione attraverso la Scala INES (*International Nuclear and radiological Event Scale*)

Incidenti storici famosi:

- Three Mile Island, Stati Uniti, 1979 (livello 5)



- Fukushima Dai-ichi, 2011 (livello 7)



- Chernobyl, Ucraina, 1986 (livello 7)



Three Mile Island (28 Marzo 1979)

Cause principali:

- Malfunzionamento della valvola di sfioro del pressurizzatore
- Cattivo stato di manutenzione
- Errori umani

Conseguenze:

- Nessuna conseguenza significativa sull'ambiente esterno
- Rilascio di piccole quantità di gas radioattivi e di iodio radioattivo nell'ambiente



Interventi:

- Rimozione completa e trattamento del combustibile, stoccato in canister
- Messa in sicurezza e monitoraggio del perimetro, attesa la rimessa in funzione nel 2034
- Smantellamento Unità 1 nel 2036

Chernobyl (26 Aprile 1986)

Cause principali:

- Carenze tecnologiche
- Errori umani

Conseguenze:

- Notevolissimi danni a persone e ambiente
- 31 morti immediate



Interventi:

- Decontaminazione con operazioni di lavaggio e rimozione di suolo irradiato
- Sarcofago di contenimento



Fukushima (11 Marzo 2011)

Cause principali:

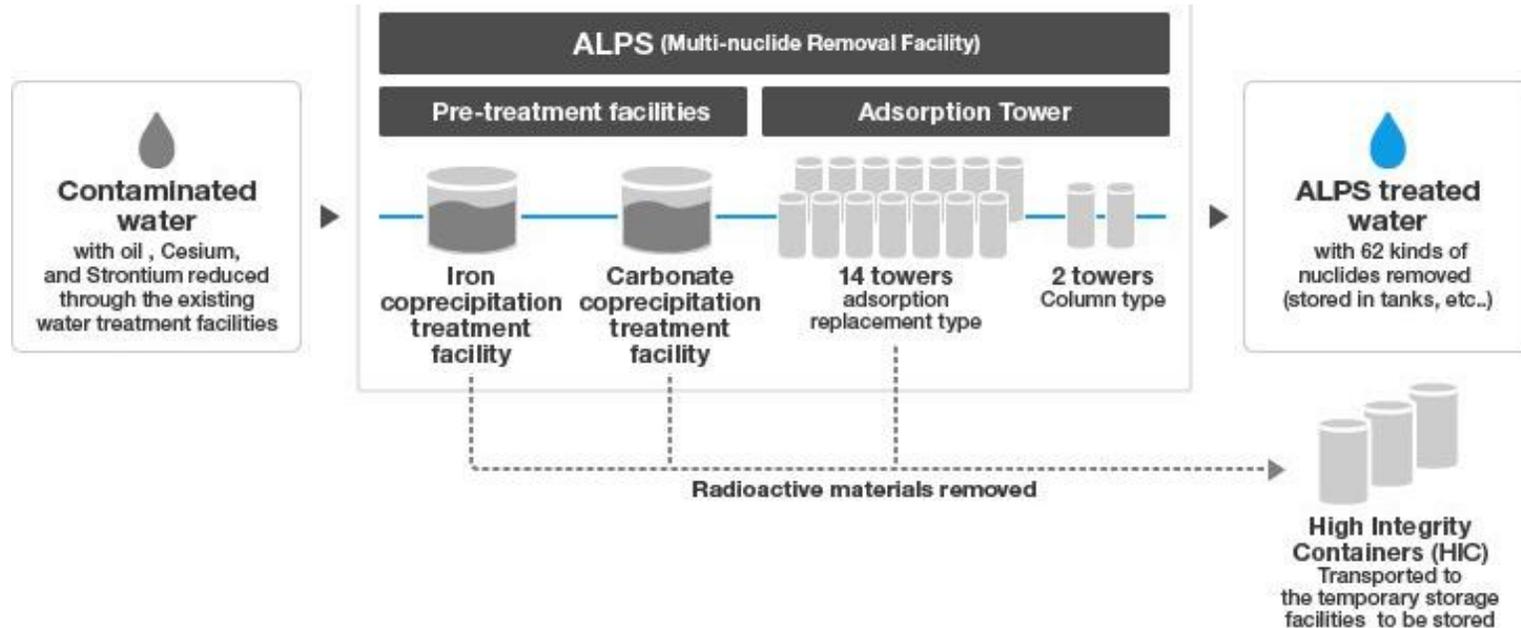
- Terremoto e maremoto del Tohoku

Conseguenze:

- Livelli di radioattività elevati in mare
- Sostanze radioattive in latte e spinaci

Interventi:

- Rimozione e sostituzione di terreno superficiale, getti d'acqua, clipping
- Lavaggio tetti e grondaie
- Filtrazione acque (processo ALPS)



Decontaminazione di ghiaia contaminata da uranio

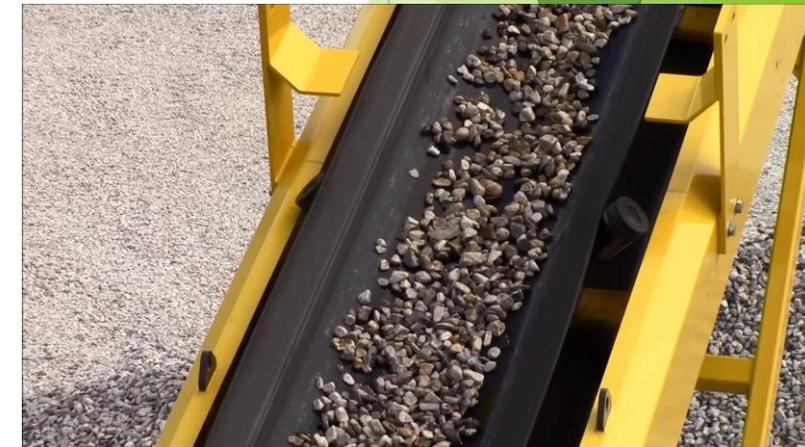
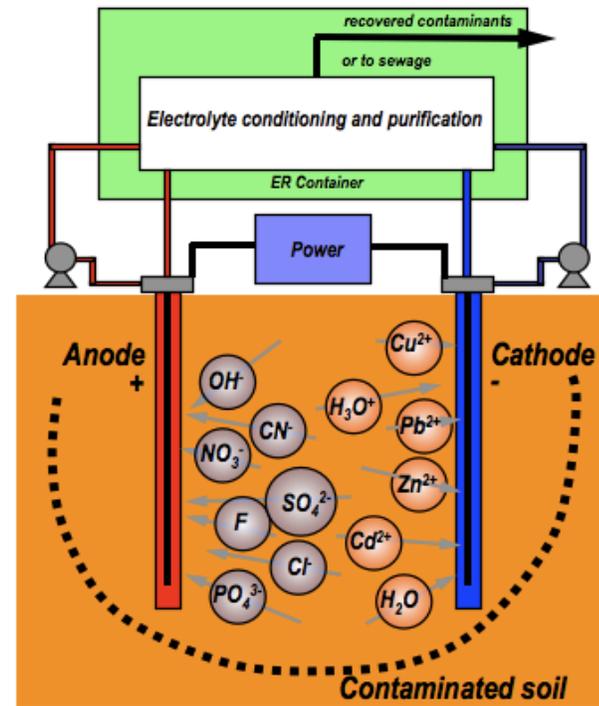
Molti suoli Coreani sono contaminati da uranio
Ghiaia contaminata campionata nei pressi del
KAERI (Korea atomic energy research institute)

Dimensioni < 10 cm

Soil washing e
tecnologie
elettrocinetiche

Dimensioni > 10 cm

Gravel washing e
tecnologie
elettrocinetiche-elettrodialitiche



Caratteristiche della ghiaia contaminata

- Circa 30% di suolo scavato è ghiaia (20% > 10 cm)
- Dimensioni: 5-30 cm
- Peso: 150-4000 g
- Concentrazione di uranio: 0.5-10.0 Bq/g (<0.43 Bq/g)
- 10% circa di ghiaia nel gruppo ad alta concentrazione (quarzo, lamprofiri e scisti)

Metodo di frantumazione per miglioramento dell'efficienza di decontaminazione



Fig. 1. Gravel contaminated with uranium.

Concentration (Bq/g)	High-concentration	Low-concentration
1	5.32	0.82
2	7.68	1.47
3	4.56	2.18
4	6.72	1.7
5	7.25	1.85
Average	6.31	1.60

Table 1
High and low concentration groups of contaminated gravel.

Impianti di gravel washing

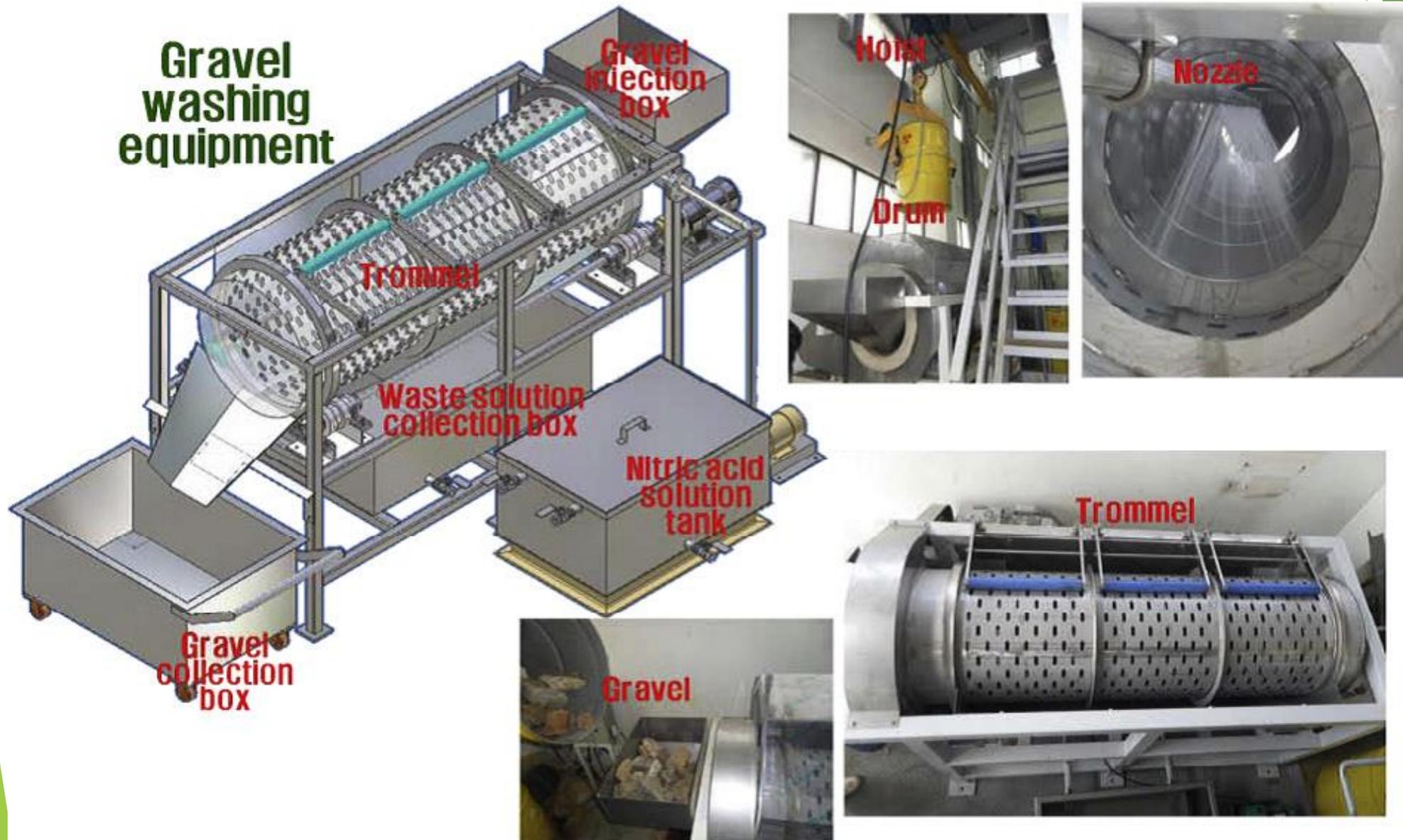


Fig. 2. Manufactured gravel washing equipment.

Impianti di gravel washing



Fig. 3. Before and after gravel washing.

Impianti di decontaminazione elettrocinetica-elettrodialitica

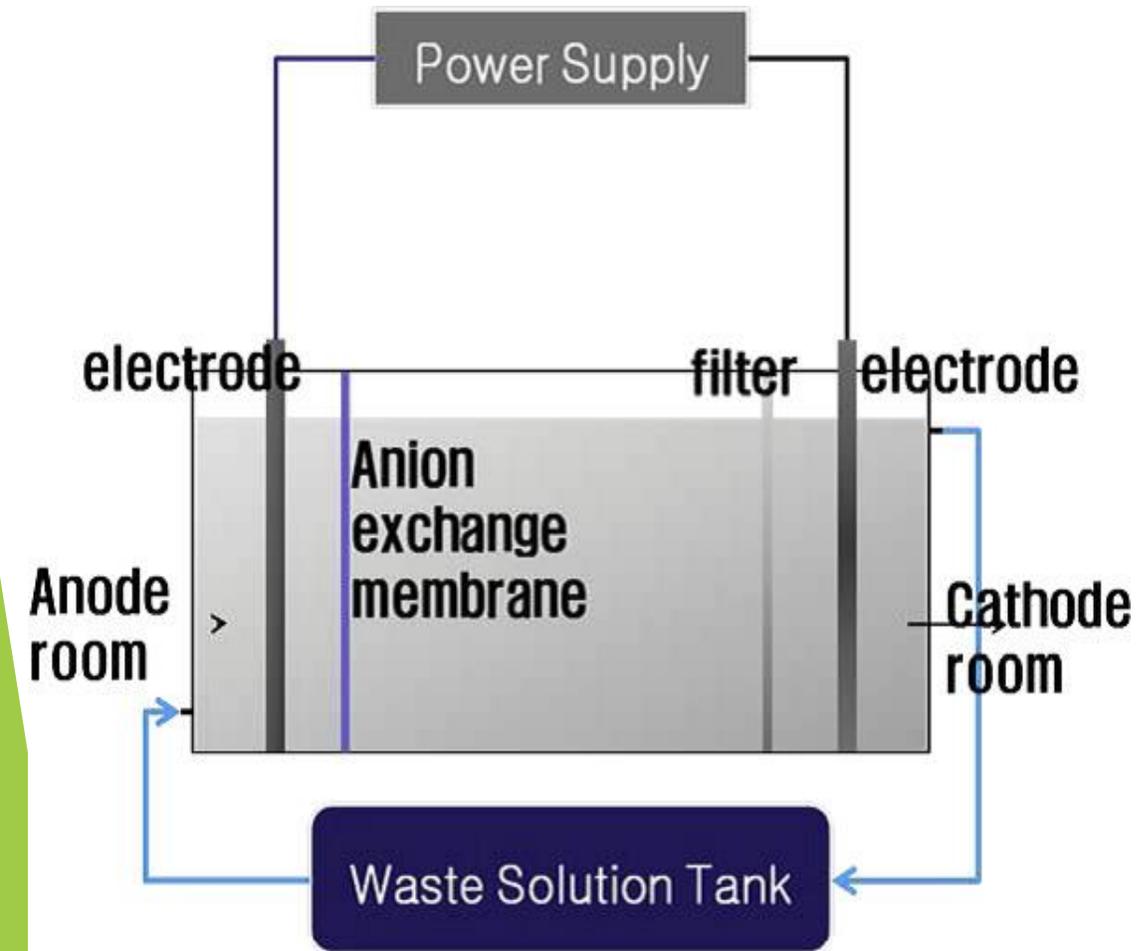


Fig. 4. Schematic diagram of electrokinetic-electrodialytic decontamination.

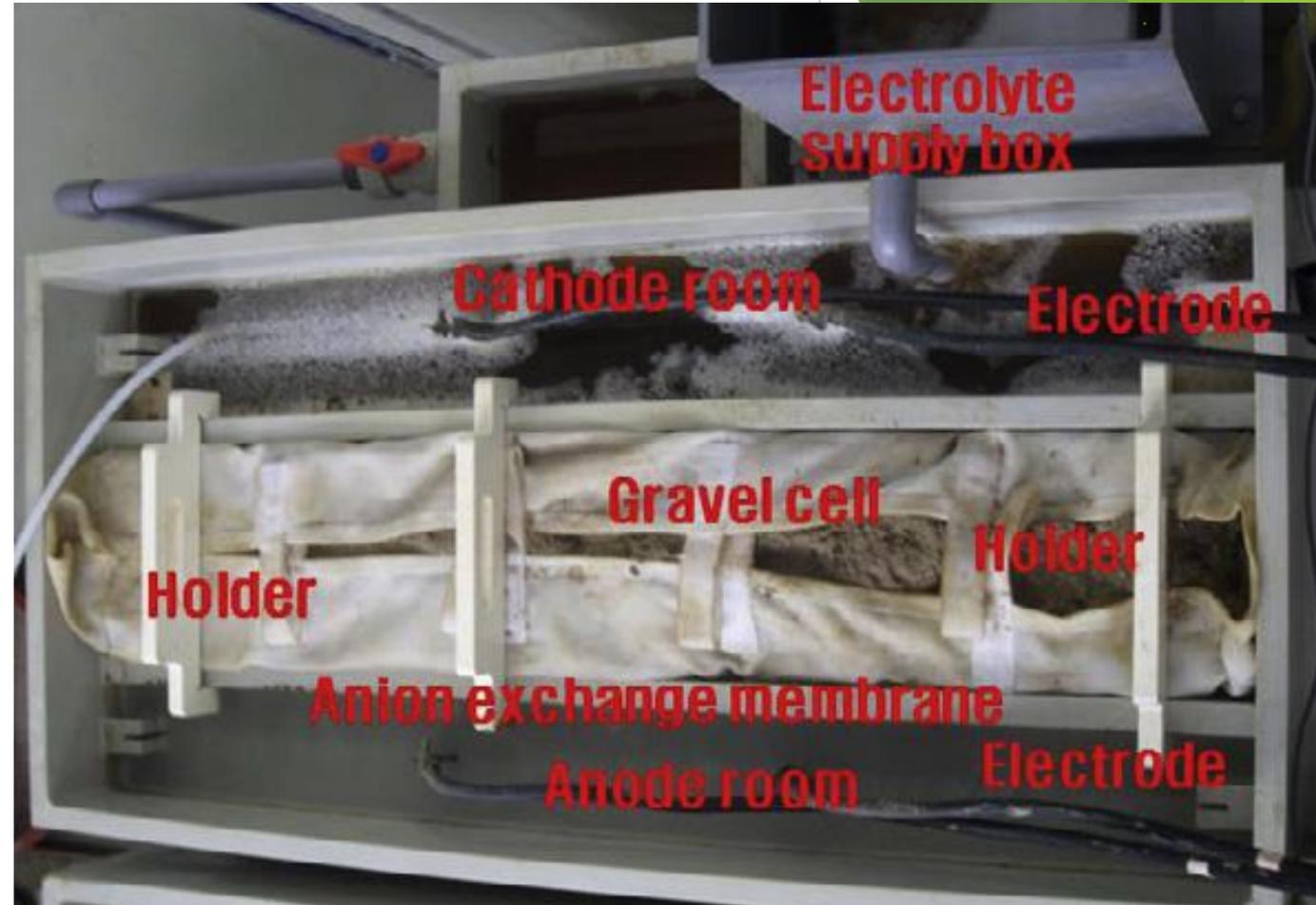


Fig. 5. Manufactured electrokinetic-electrodialytic decontamination equipment.

Risultati del gravel washing

- Numero di giri ottimale dell'impianto: 10 rpm
- Concentrazione di acido nitrico ottimale: 1.0 M
- Velocità ottimale del getto dall'ugello: 50 L/min

Gravel size	C, (Bq/g)	1st	2nd	3rd	Removal efficiency (%)
5 cm (154 g)	2.25	1.04	1.01	1.0	56
5 cm (266 g)	2.93	2.14	2.10	2.09	29
10 cm (766 g)	2.54	1.83	1.76	1.76	31
10 cm (784 g)	2.12	1.67	1.61	1.60	25
15 cm (944 g)	1.9	1.32	1.27	1.22	36
15 cm (1074 g)	1.2	0.68	0.67	0.65	46
Average	2.16	1.45	1.40	1.39	37.2

Table 2

Removal efficiency according to the gravel size by gravel washing.

- Concentrazione di ghiaia contaminata decresce all'aumentare delle dimensioni
- Dopo il primo lavaggio concentrazione media di ghiaia contaminata di 1.45 Bq/g
- Efficienza di rimozione media:
 - di circa 37% dopo il terzo lavaggio;
 - piccola se confrontata a quelle del primo e secondo lavaggio;
 - non collegata alle dimensioni della ghiaia.

Risultati del gravel washing

Gravel weight (g)	C_i (Bq/g)	1st	2nd	Removal efficiency (%)
1328	0.97	0.91	0.9	7
1526	3.71	2.1	1.6	43
1656	1.6	1.2	1.18	26
1876	0.61	0.4	0.37	39
2200	0.4	0.2	0.18	50
2252	0.72	0.32	0.3	58
3242	0.76	0.72	0.54	29
Average	1.25	0.84	0.72	42

Table 3
Removal efficiency according to the gravel weight by gravel washing (drum 1).

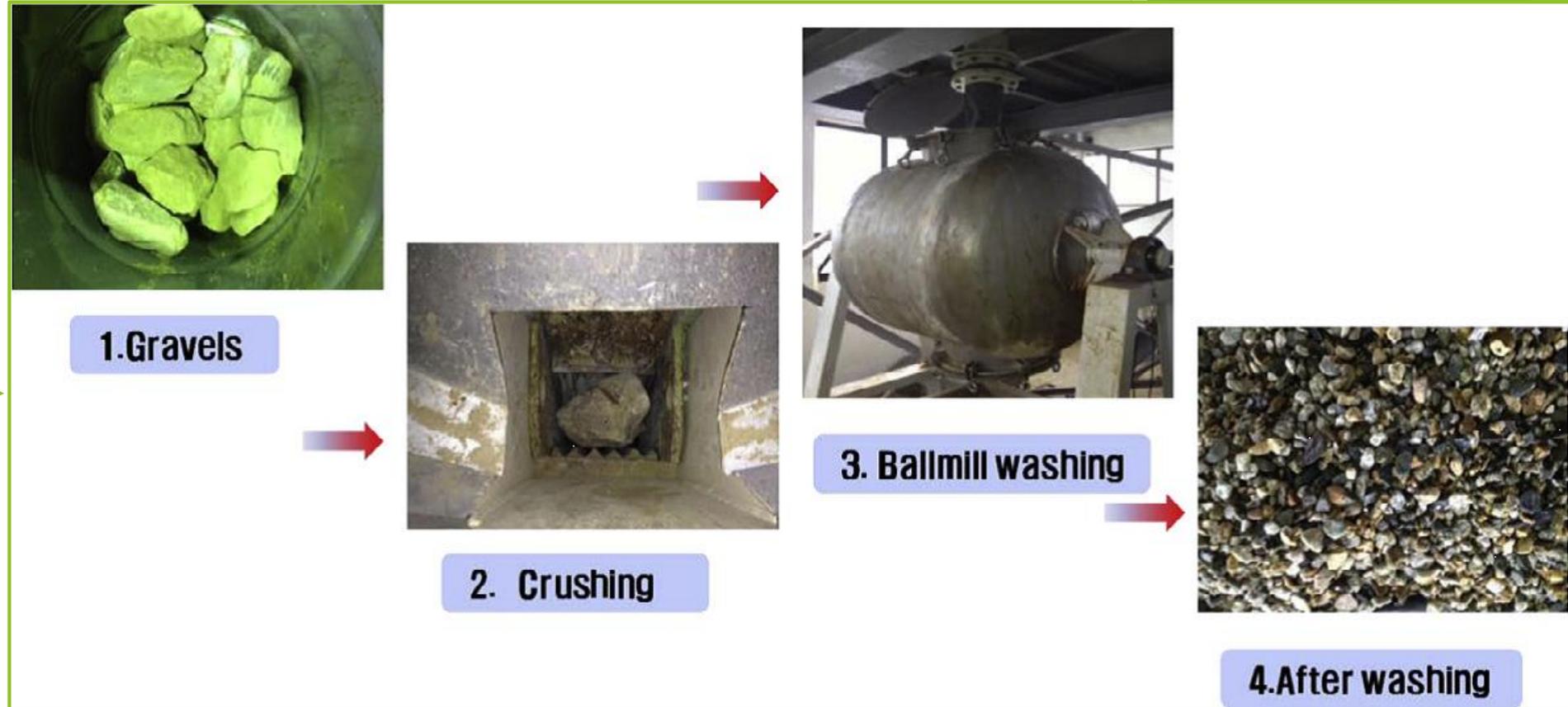
Gravel weight (g)	C_i (Bq/g)	1st	2nd	Removal efficiency (%)
1214	3.68	1.86	2.03	45
1244	1.5	1.47	1.23	18
1382	6.49	4.26	3.68	43
1432	0.89	0.68	0.67	25
1458	1.2	0.67	0.59	51
1760	1.45	0.99	0.98	32
2728	0.95	0.85	0.84	12
3250	0.73	0.63	0.54	26
4440	0.71	0.28	0.27	62
4906	0.79	0.54	0.47	41
Average	1.84	1.22	1.13	39

Table 4
Removal efficiency according to the gravel weight by gravel washing (drum 2).

- Concentrazione di ghiaia contaminata decresce all'aumentare del peso
- Concentrazione di contaminazione ed efficienza di rimozione dipendono dal tipo di roccia
- Impossibile decontaminare ghiaia profondamente contaminata con questo metodo
- Numero ottimale di lavaggi è 2
- Efficienza di decontaminazione non connessa al peso della ghiaia

Risultati del gravel washing

Lavoro di frantumazione e lavaggio per aumentare l'efficienza di decontaminazione

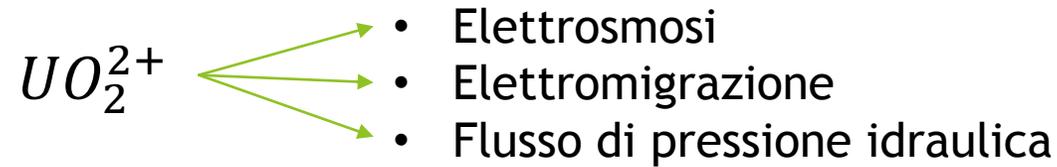


- Frantumazione a 1 mm
- Lavaggio e frantumazione per 3-4 h
- Efficienza di rimozione media dopo il secondo lavaggio > 90%

Fig. 7. Crushing and ball mill washing for gravel contaminated with high concentration.

Gravel weight (g)	C_i (Bq/g)	1st	2nd	Removal efficiency (%)
550	4.8	0.95	0.36	92.5
650	3.6	0.75	0.32	91.1
850	3.45	0.64	0.27	92.2

Risultati della decontaminazione elettrocinetica-elettrodialitica



$$j = [(k_o + k_m)R\nabla I + k_h\nabla p]C - \frac{D}{\tau^2}\nabla C$$

- j flusso molare della specie per unità di area dei pori
- k_o permeabilità elettrosmotica
- k_m coefficiente di elettromigrazione
- R resistenza elettrica
- I corrente elettrica
- k_h permeabilità idraulica
- p pressione
- C concentrazione molare
- D coefficiente di diffusione
- τ tortuosità adimensionale

Condizioni sperimentali

- Volume di ghiaia: 400 L
- Corrente elettrica: 150-200 A
- Tensione elettrica: 15-20 V
- Velocità di afflusso dell'elettrolita: 130-160 mL/min
- Temperatura: 65 °C
- L (volume dell'elettrolita, mL)/S (peso della ghiaia, g): 0.33

Risultati della decontaminazione elettrocinetica-elettrodialitica

Lapsed time	Origin (Bq/g)	5 Days (%)	10 Days (%)	15 Days (%)	20 Days
Removal efficiency	2.3	42	67	74	83% (0.39 Bq/g)
	1.7	39	64	71	80.6% (0.31 Bq/g)
	1.3	38	63	70	80% (0.26 Bq/g)
Average	1.7	40	65	72	81% (0.32 Bq/g)

Table 6

Removal efficiency according to the lapsed time by electrokinetic-electrodialytic equipment.

- Rimozione di ^{238}U del 40%, 65%, 72% e 81% dopo 5, 10, 15 e 20 giorni
- Indice di efficienza diminuisce all'aumentare del tempo
- Maggiore è la concentrazione iniziale di ^{238}U , maggiore è l'efficienza di rimozione

Conclusioni

- Per ghiaia avente dimensioni < 10 cm sono previste operazioni di soil washing e tecnologie elettrocinetiche;
- Per ghiaia avente dimensioni > 10 cm ma < 20 cm sono previste operazioni di gravel washing e tecnologie elettrocinetiche-elettrodialitiche;
- Per ghiaia avente dimensioni > 20 cm è previsto semplice gravel washing;
- Ghiaia appartenente a gruppi ad alta concentrazione di uranio è trattata tramite operazioni di frantumazione e successivo lavaggio.