

**Università degli studi di Napoli Federico II**  
**Scuola Politecnica e delle Scienze di Base**  
**Tesi di Laurea in**  
**Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio**  
Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della  
Produzione Industriale



***Rimozione dei Radionuclidi dalle acque tramite Zeoliti Naturali***

Relatore: Ch.mo Prof. de Gennaro Bruno

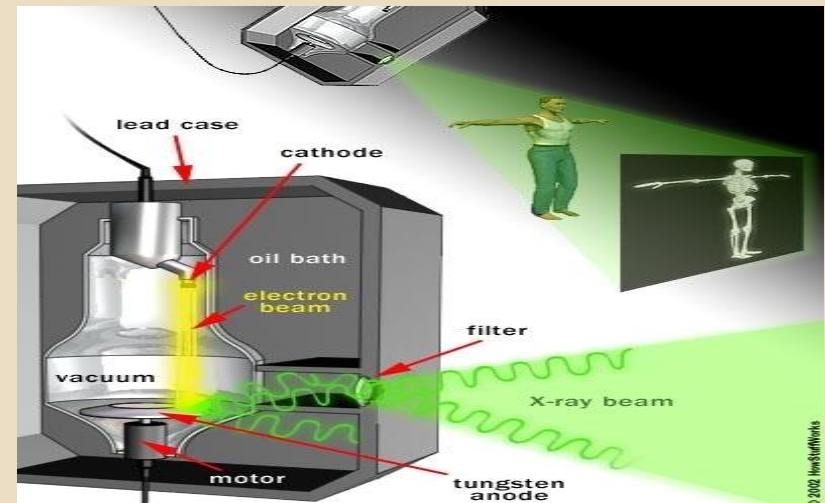
Candidato: Daniele Criscuolo  
matr.: n49/310

Anno Accademico: 2014/2015

# L'INQUINAMENTO AMBIENTALE

## ► Cause principali:

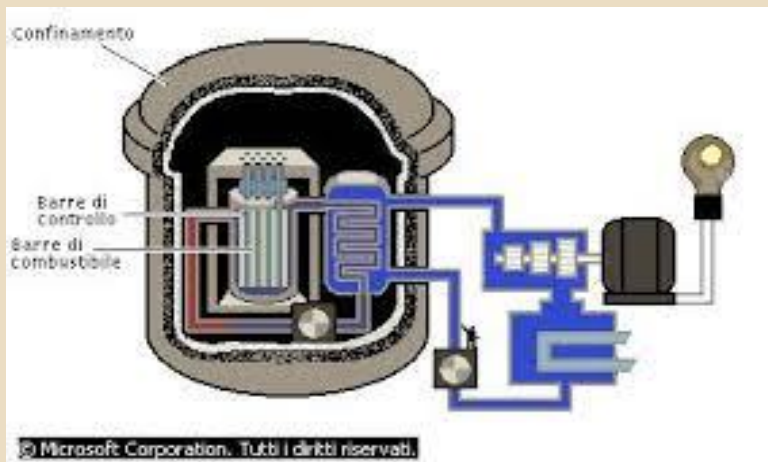
- Le macchine radiogene per la produzione di raggi X e di altri tipi di radiazioni usate in medicina o nell'industria;
- Le ricadute radioattive causate dagli esperimenti nucleari militari o incidenti avvenuti nelle centrali nucleari;
- Materiali radioattivi derivanti dalla produzione di energia elettronucleare.



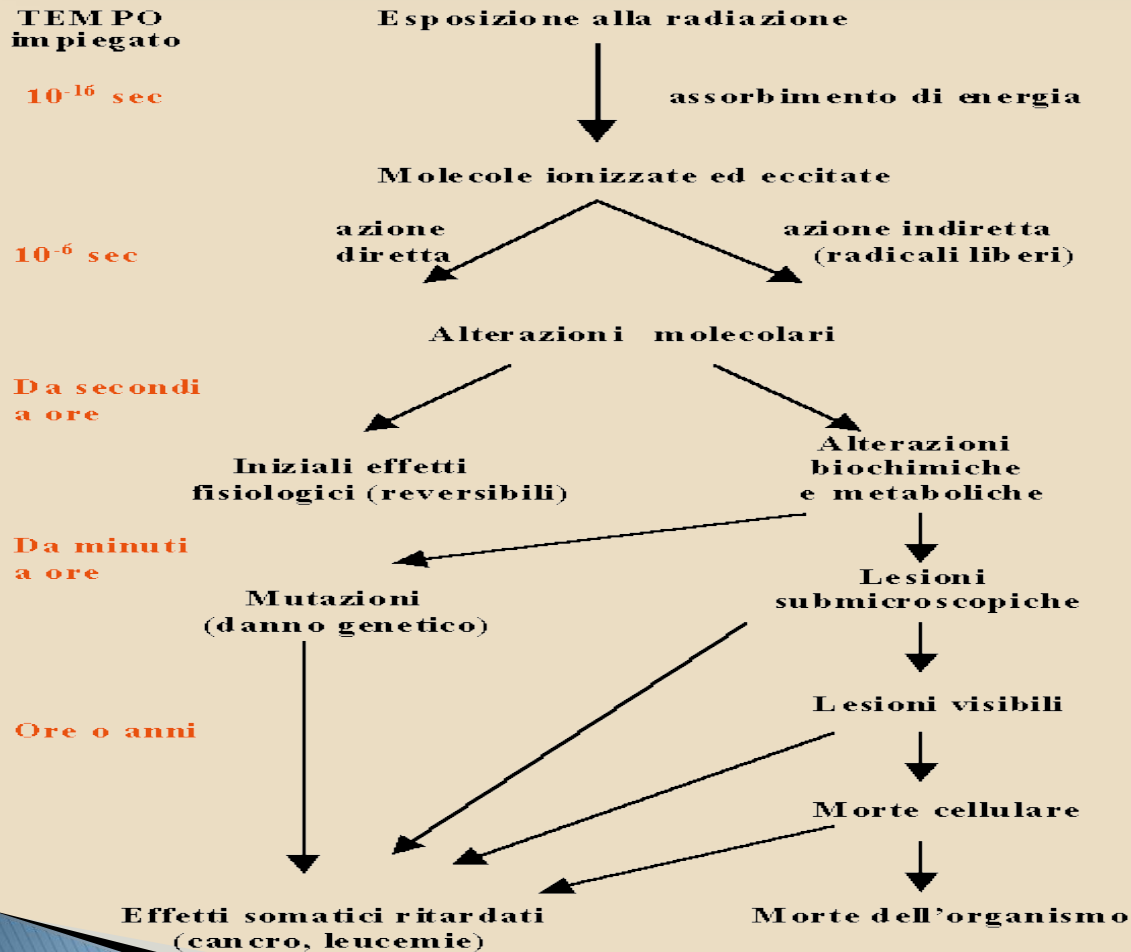
# INQUINAMENTO DEI CORPI IDRICI

## ► Cause principali:

- Meccanismi di raffreddamento ad acqua del nocciolo della centrale nucleare;
- Fenomeno fall-out nucleare.



# EFFETTI DELL'INQUINAMENTO DA RADIONUCLIDI SULL'UOMO



- Effetti *somatici* che colpiscono il corpo degli individui esposti.

- Effetti *genetici* o ereditari che colpiscono la prole.

# VALUTAZIONI IMPATTO AMBIENTALE: riferimenti legislativi

**DIRETTIVA 2013/51/EURATOM DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2013 che stabilisce “Requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano”.**

Concentrazioni  
relative alla  
radioattività nelle  
acque destinate al  
consumo umano.

Origine	Nuclidi	Concentrazione
Naturale	U-238/U-234	3,0/2,8 Bq/l
	Ra-226/Ra-228	0,5/0,2 Bq/l
	Pb-210/Po-210	0,2/0,1 Bq/l
Artificiali	C-14	240 Bq/l
	Sr-90	4,9 Bq/l
	Pu-239/Pu-240	0,6 Bq/l
	Am-241	0,7 Bq/l
	Co-60	40 Bq/l
	Cs-134/Cs-137	7,2 Bq/l

# LE ZEOLITI

- **Definizione:** le zeoliti sono alluminosilicati idrati di metalli alcalini e alcalinoterrosi. La parola zeolite (pietra che bolle) fu coniata dallo studioso svedese Axel Fredrik Cronstedt che osservò il liberarsi di vapore acqueo (dovuto all'acqua intrappolata nelle cavità) scaldando uno di questi minerali.



**PHILLIPSITE**

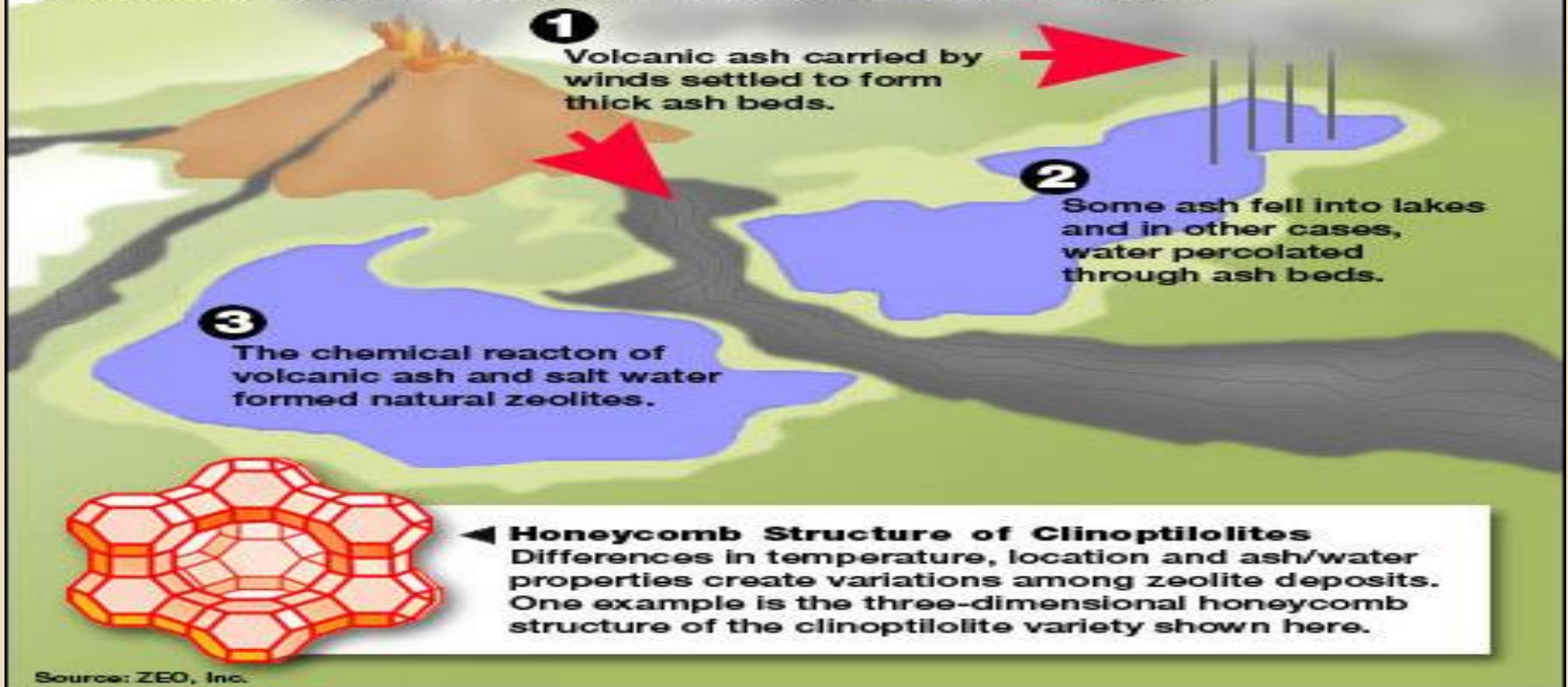


**CABASITE**

# LE ZEOLITI: Formazione

## Natural Zeolite Formation

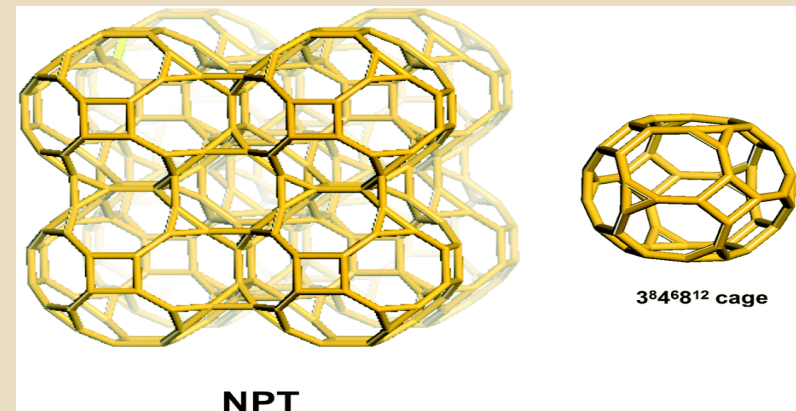
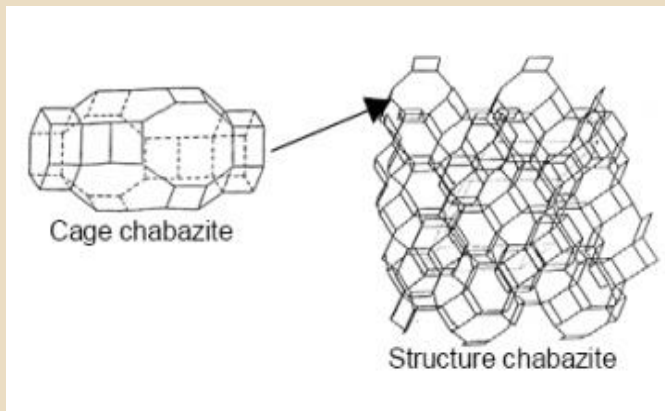
Zeolite deposits formed millions of years ago, when volcanoes emitted large amounts of ash-aluminosilicates from alkaline earth.



FONTE: ZEO, Natural Zeolite Products & Technology

# LE ZEOLITI: Proprietà

- La struttura, è formata di cavità e di canali uniformi, intercomunicanti e di dimensioni comprese tra 3 e 10 Å.
- Canali occupati da acqua o da molecole polari di diametro critico non maggiore delle finestre di accesso ai canali stessi.



Tali proprietà sono fondamentali per capire l'applicazione



# LE ZEOLITI: Applicazioni

- **Le Zeoliti come Agenti disidratanti.**
- **Le Zeoliti come Adsorbimento e Setacciamento Molecolare.**
- **Le Zeoliti come Catalizzatori.**
- *Le Zeoliti come Scambiatori Ionici.*

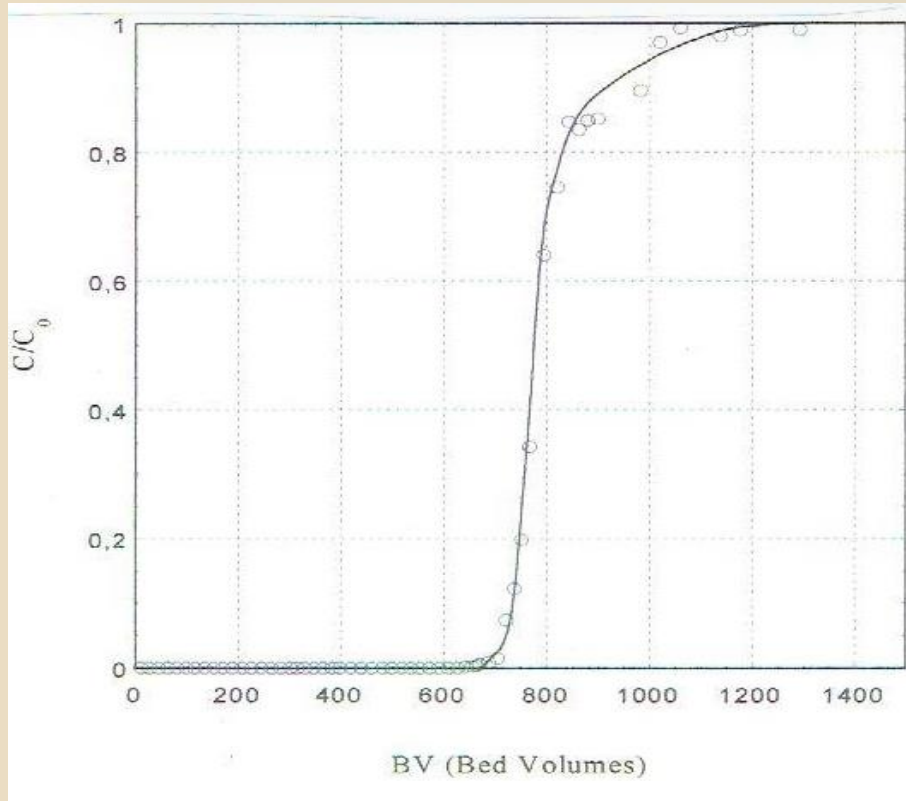
<b>Applicazioni</b>	<b>Settore di Impiego</b>	<b>Tipo di Zeolite</b>
<b>Scambio Ionico</b>	<b>Abbattimento ammonio da reflui di diversa origine</b>	<b>PHILLIPSITE</b>
	<b>Condizionamento di acque per piscicoltura</b>	<b>PHILLIPSITE</b>
	<b>Abbattimento e/o recupero di metalli da reflui industriali</b>	<b>PHILLIPSITE + CABASITE</b>
	<b>Essiccazione e deumidificazione</b>	<b>CABASITE</b>

# RIMOZIONE DEI RADIONUCLIDI DALLE ACQUE TRAMITE ZEOLITI NATURALI

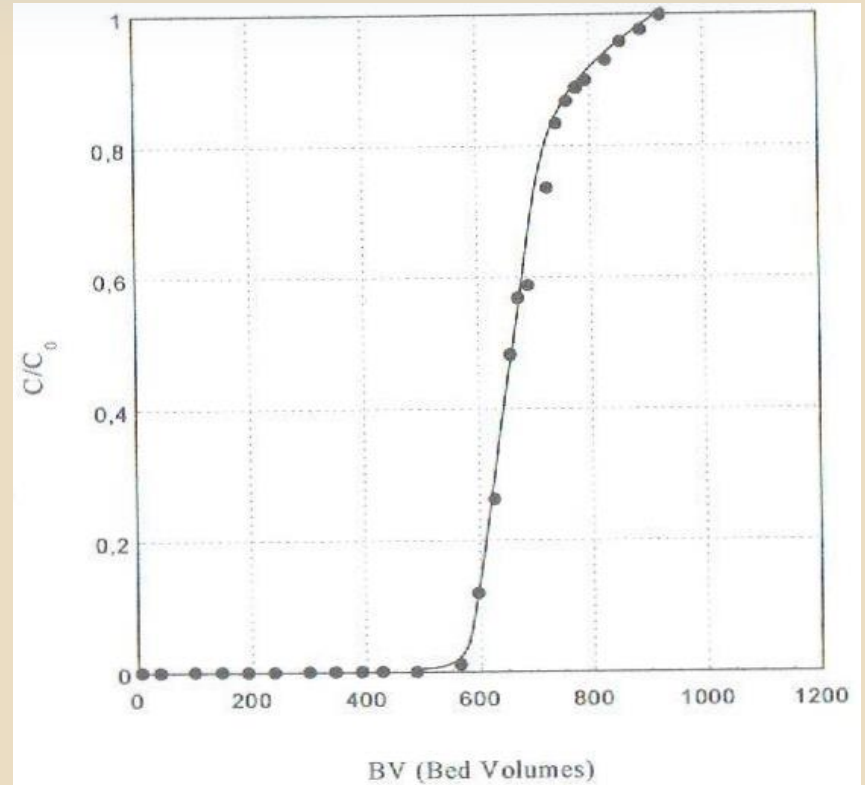
- ▶ **Tecniche di Scambio Cationico:**
  - **Eluzione di un letto di materiale zeolitico in colonna.**
  - **Aggiunta diretta di materiale zeolitico in reattori batch.**



# Curve di Sfondamento



*Curva di sfondamento del cesio ottenuta eluendo un letto di grani di tufo cabasitico in forma sodica con una soluzione contenente 98 mg/l di Cs. Portata volumetrica = 0,42 l/h*

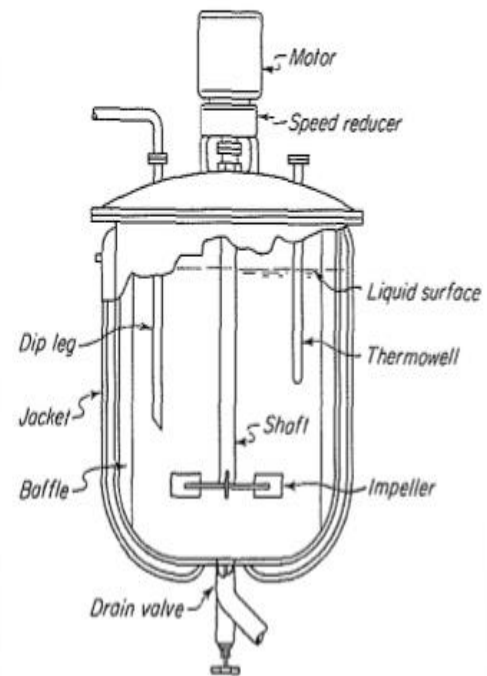


*Curva di sfondamento del cesio ottenuta eluendo un letto di grani di tufo phillipsitico in forma sodica con una soluzione contenente 98 mg/l di Cs. Portata volumetrica = 0,42 l/h*

# Scambio Cationico con Aggiunta Diretta

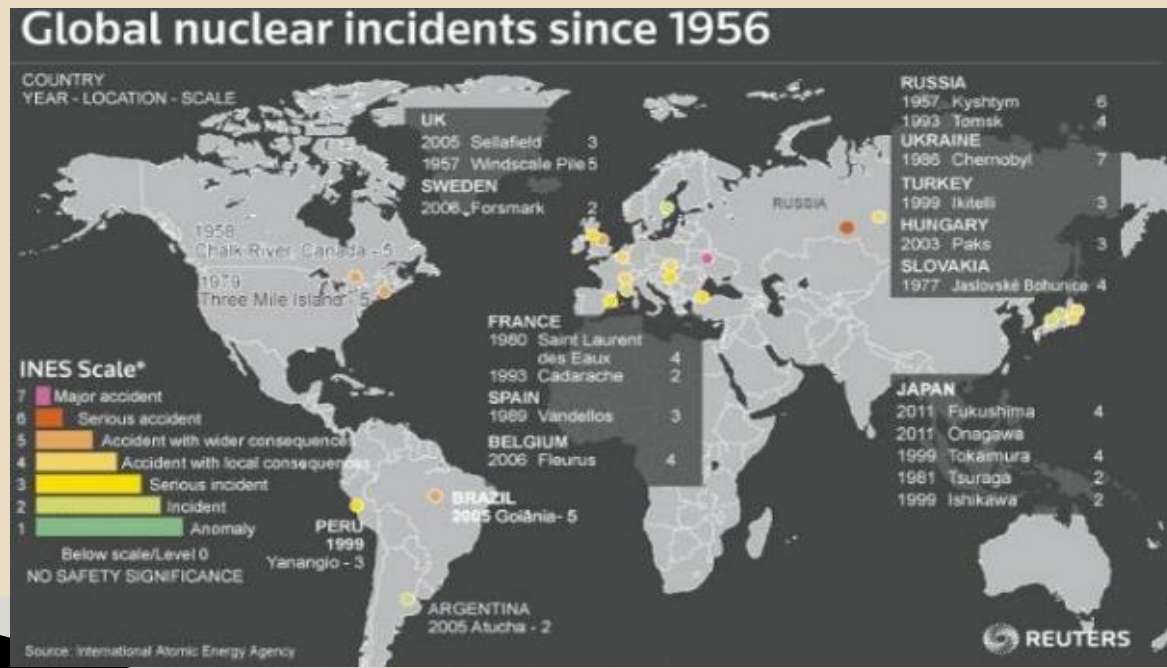
Aggiunta diretta di materiale zeolitico in polvere all'acqua di scarico da trattare. Tale materiale viene miscelato in reattori batch, sotto continua agitazione, in quantità tali e per un tempo sufficiente da permettere che la reazione di scambio conduca la concentrazione dell'inquinante al di sotto dei limiti previsti dalla legge. Dopo la separazione dall'acqua mediante filtrazione, vengono miscelati con clinker di Portland ordinario.

## A Typical Batch Reactor



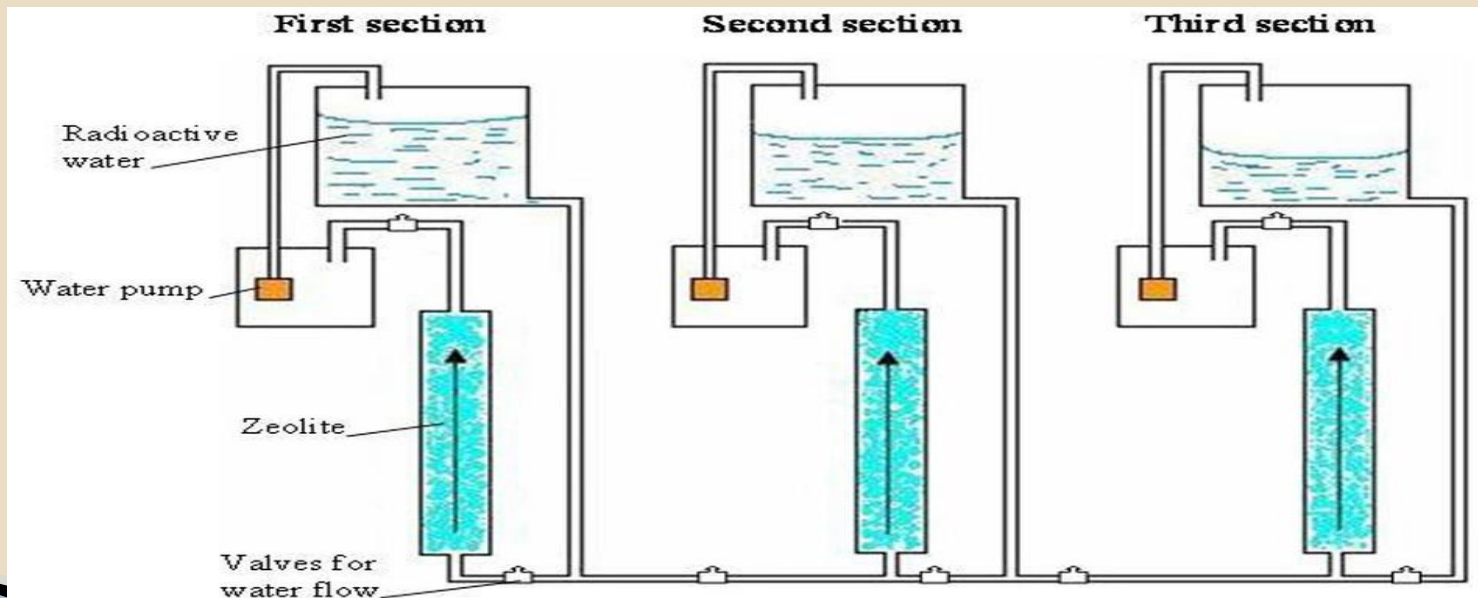
# INCIDENTI NUCLEARI

- Windscale (Inghilterra, 1957);
- Three Mile Island (Stati Uniti, 1979) fu usato un letto di zeolite contenente una miscela di cabasite e zeolite sintetica A per rimuovere Cs e Sr da acque altamente radioattive;
- Chernobyl (Ucraina, 1986) dove furono utilizzate circa 500.000 tonnellate di clinoptilolite;
- Fukushima (Giappone, 2011).



# Applicazione di zeoliti in casi di incidenti a centrali nucleari

- Hanford Atomic Energy Project è basato sull'uso di letti di cabasite per rimuovere Cs
- Idaho National Engineering Lab, il quale ha previsto colonne di scambio in parallelo contenenti clinoptilolite per la rimozione di contaminanti radioattivi in basse concentrazioni.





# VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Le zeoliti costituiscono un ottimo mezzo per rimuovere i radionuclidi dalla fase liquida attraverso scambio ionico. Le ragioni che consigliano di scegliere le zeoliti naturali rispetto ad altri scambiatori inorganici e organici discendono dai notevoli vantaggi che esse posseggono:

- L'alta selettività mostrata da alcune zeoliti nei confronti di alcuni contaminanti quali, ad esempio, il cesio, anche se presenti in forma di tracce;
- Buona resistenza alla radiazioni ed al calore, che impedisce la fuoriuscita del contaminante;
- Compatibilità con l'inertizzazione in matrice cementizia e vetrificazione/vetroceramizzazione;
- Recupero del radionuclide che può essere usato come risorsa di calore e radiazione;
- Elevata diffusione e basso costo.