

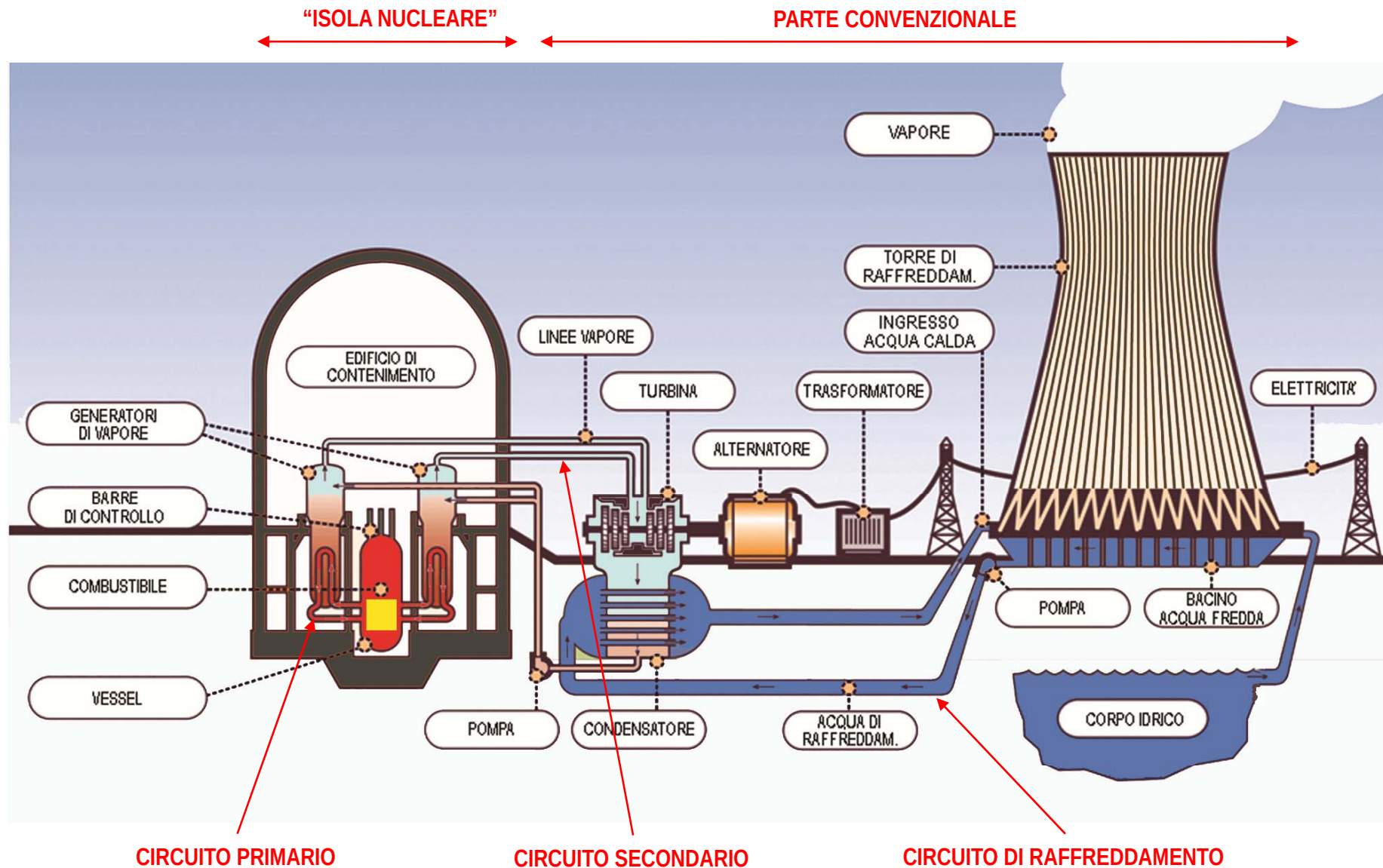
L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI



Ing. Ugo Spezia
Segretario Generale Associazione Italiana Nucleare

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

COME FUNZIONA UN IMPIANTO NUCLEARE



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

COSA PRODUCE UN IMPIANTO NUCLEARE

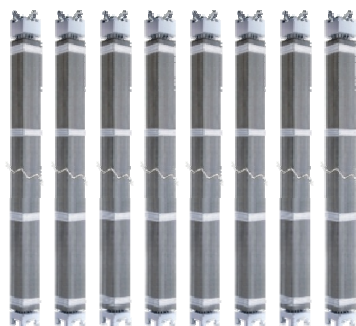
VAPORE ACQUEO
(NON RADIOATTIVO)

EFFLUENTI GASSOSI
CON TRACCE
DI RADIOATTIVITÀ

ACQUA TIEPIDA
(NON RADIOATTIVA)

EFFLUENTI LIQUIDI
CON TRACCE
DI RADIOATTIVITÀ

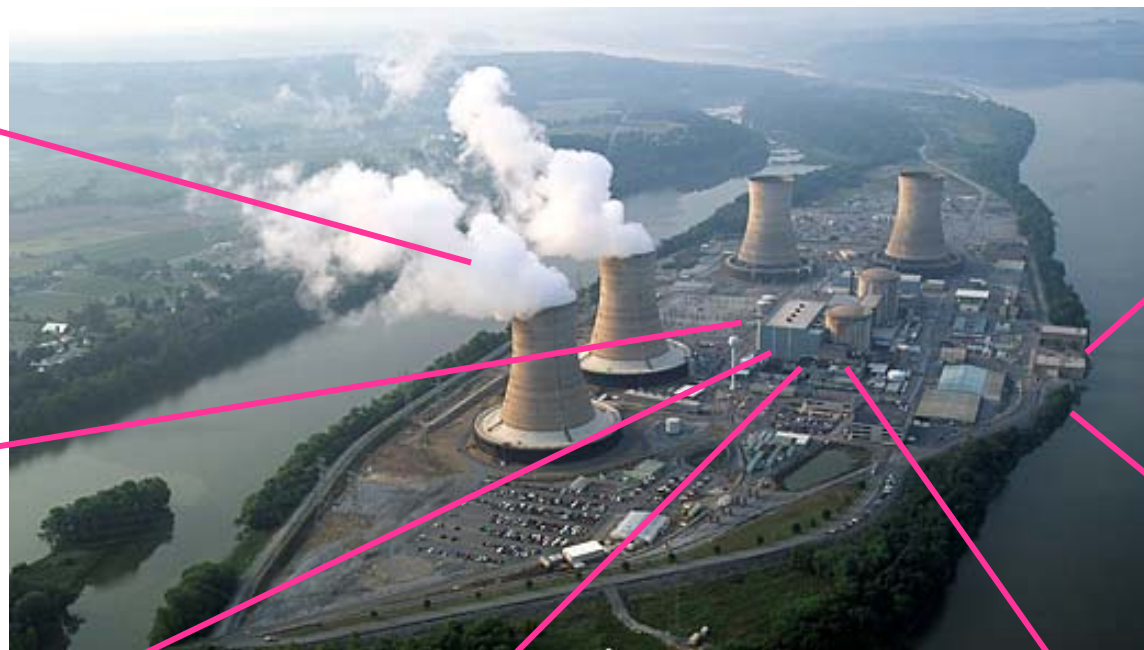
COMBUSTIBILE
NUCLEARE IRRAGGIATO



MATERIALI
AD ALTA ATTIVITÀ



MATERIALI
A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

COME FUNZIONA UN IMPIANTO NUCLEARE

- I rifiuti radioattivi sono prodotti in **quantitativi molto limitati**, inferiori di molti ordini di grandezza ai quantitativi di rifiuti tossico-nocivi prodotti nelle centrali termoelettriche convenzionali e più in generale nelle attività industriali.

■ Centrale nucleare da 1.000 MWe:

combustibile movimentato
rifiuti ad alta attività
rifiuti a bassa e media attività
radioattività (effluenti a lunga vita)

20 t/anno

2 t/anno

20 t /anno

2 GBq/anno

2 carri ferroviari all'anno

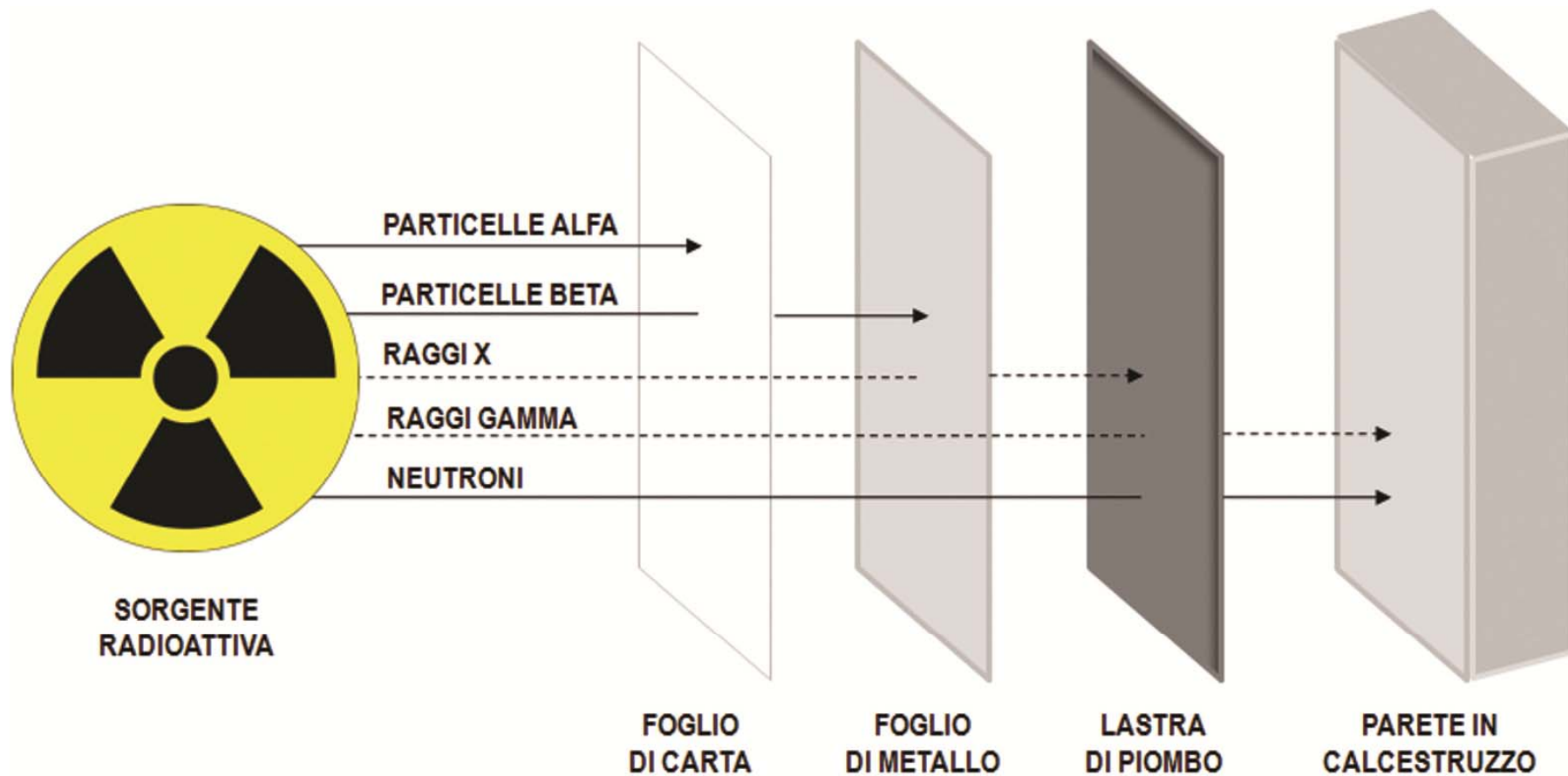
100 carri ferroviari al giorno

■ Centrale termoelettrica (gas, olio combustibile, carbone) da 1.000 MWe:

combustibile movimentato	da	1.000.000	a	2.000.000	t/anno
CO ₂	"	4.000.000	"	7.000.000	t/anno
CO	"	600	"	2.000	t/anno
ossidi di zolfo	"	4.500	"	120.000	t/anno
ossidi di azoto	"	4.000	"	27.000	t/anno
particolati in atmosfera	"	1.500	"	5.000	t/anno
ceneri	"	25.000	"	100.000	t/anno
metalli pesanti nelle ceneri	"	1	"	400	t/anno
radioattività (a lunga vita)	"	1	"	50	GBq/anno

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

COMPONENTI DELLA RADIAZIONE



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ



- I rifiuti radioattivi a bassa e media attività hanno origine dalle normali attività di gestione degli impianti.
- Si tratta in massima parte degli indumenti a perdere (tute, soprascarpe) indossati dal personale nelle cosiddette “zone controllate” dell’impianto.
- Questi materiali sono raccolti in sacchi di polietilene e immagazzinati in depositi controllati all’interno di fusti in acciaio.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ



- I fusti contenenti i rifiuti sono successivamente compattati mediante l'uso di presse idrauliche.
- Le “pizze” derivanti dalla compattazione sono racchiuse in nuovi fusti in acciaio all'interno dei quali è colata una matrice di cemento. In tal modo si elimina ogni rischio di dispersione nell'ambiente.
- Se la radioattività a contatto dei fusti è bassa non sono richieste ulteriori precauzioni. In caso contrario si adottano schermi in calcestruzzo o in piombo.



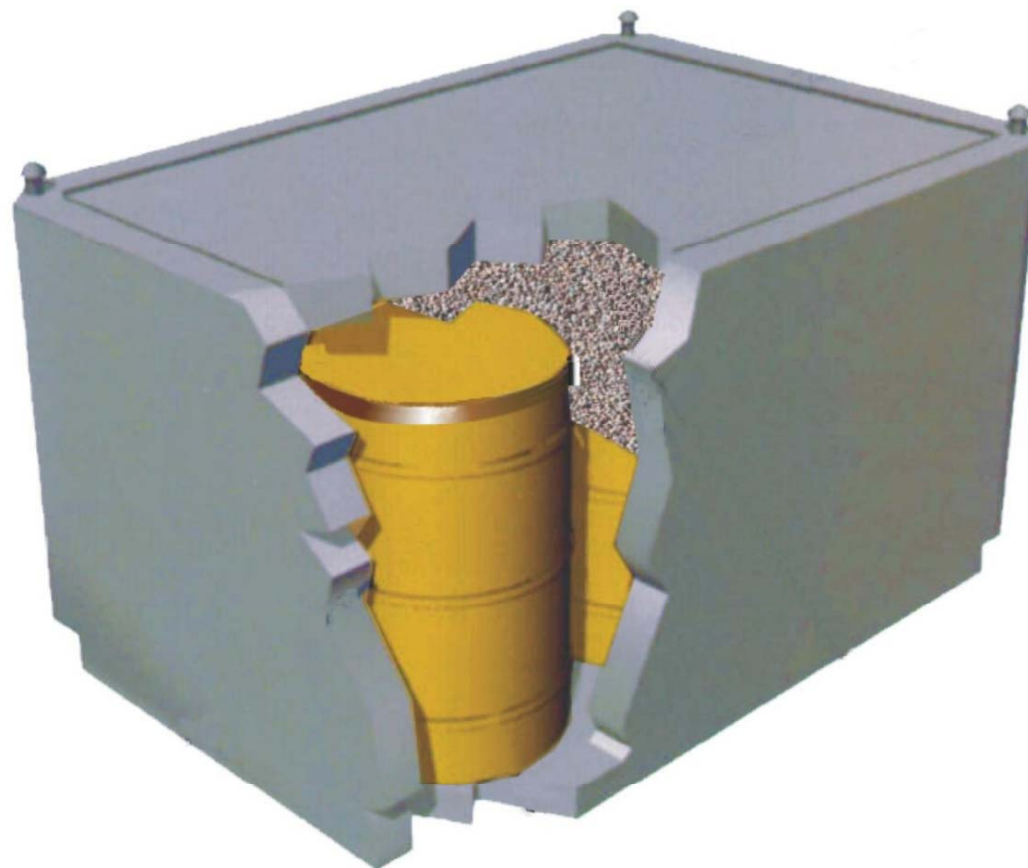
L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ

- I materiali a bassa e media attività sono smaltiti all'interno di depositi di superficie o sotterranei.
- I fusti ("manufatti condizionati") sono inseriti all'interno di contenitori in calcestruzzo ("moduli di deposito") e immobilizzati con una colata di cemento bituminoso specificamente qualificato.



Manufatto condizionato



Modulo di deposito

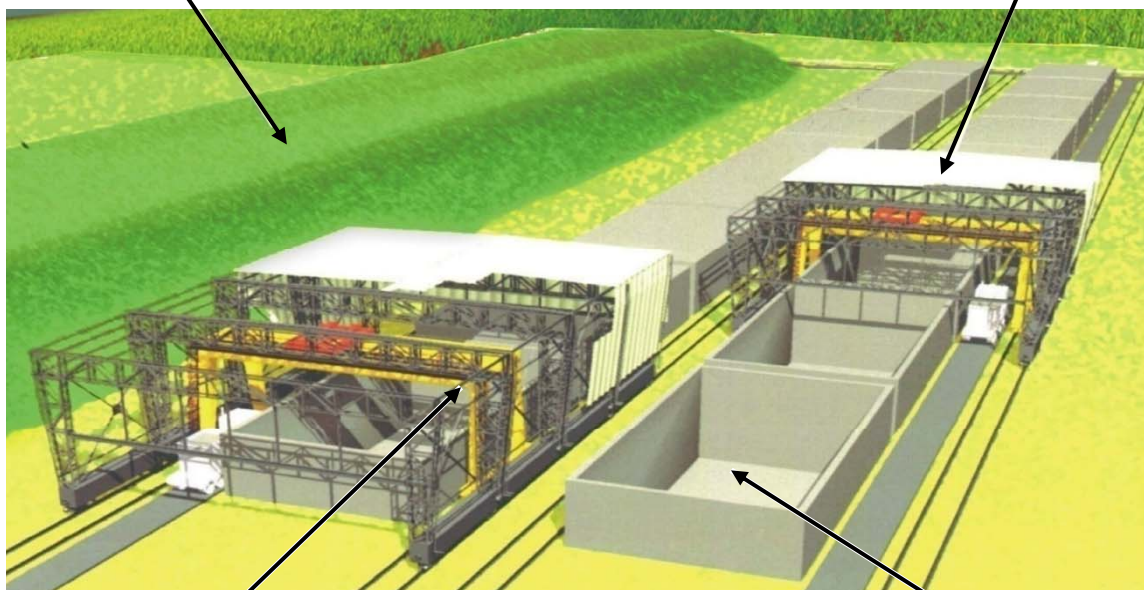
L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ

- I moduli di deposito sono a loro volta inseriti all'interno di vasconi in calcestruzzo ("celle di deposito") e ulteriormente immobilizzati con una colata di cemento bituminoso.
- Più celle di deposito in linea costituiscono una "unità di deposito".

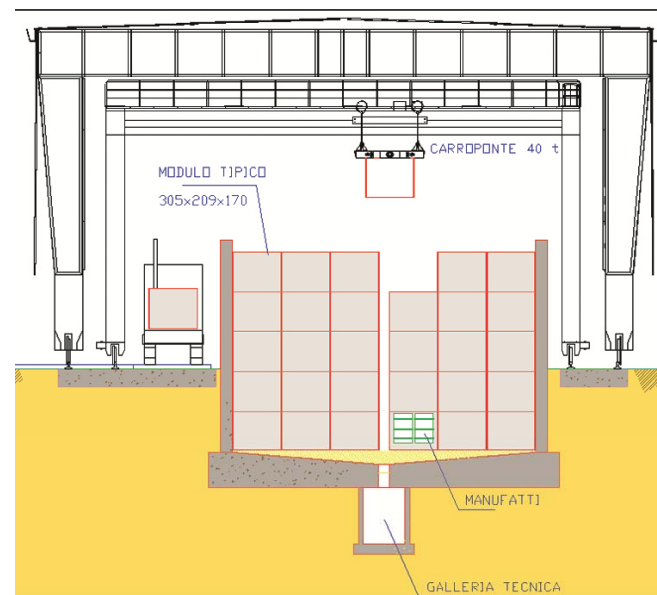
UNITÀ DI DEPOSITO
DOPO CHIUSURA DEFINITIVA

UNITÀ DI DEPOSITO
IN FASE OPERATIVA



COPERTURA
MOBILE

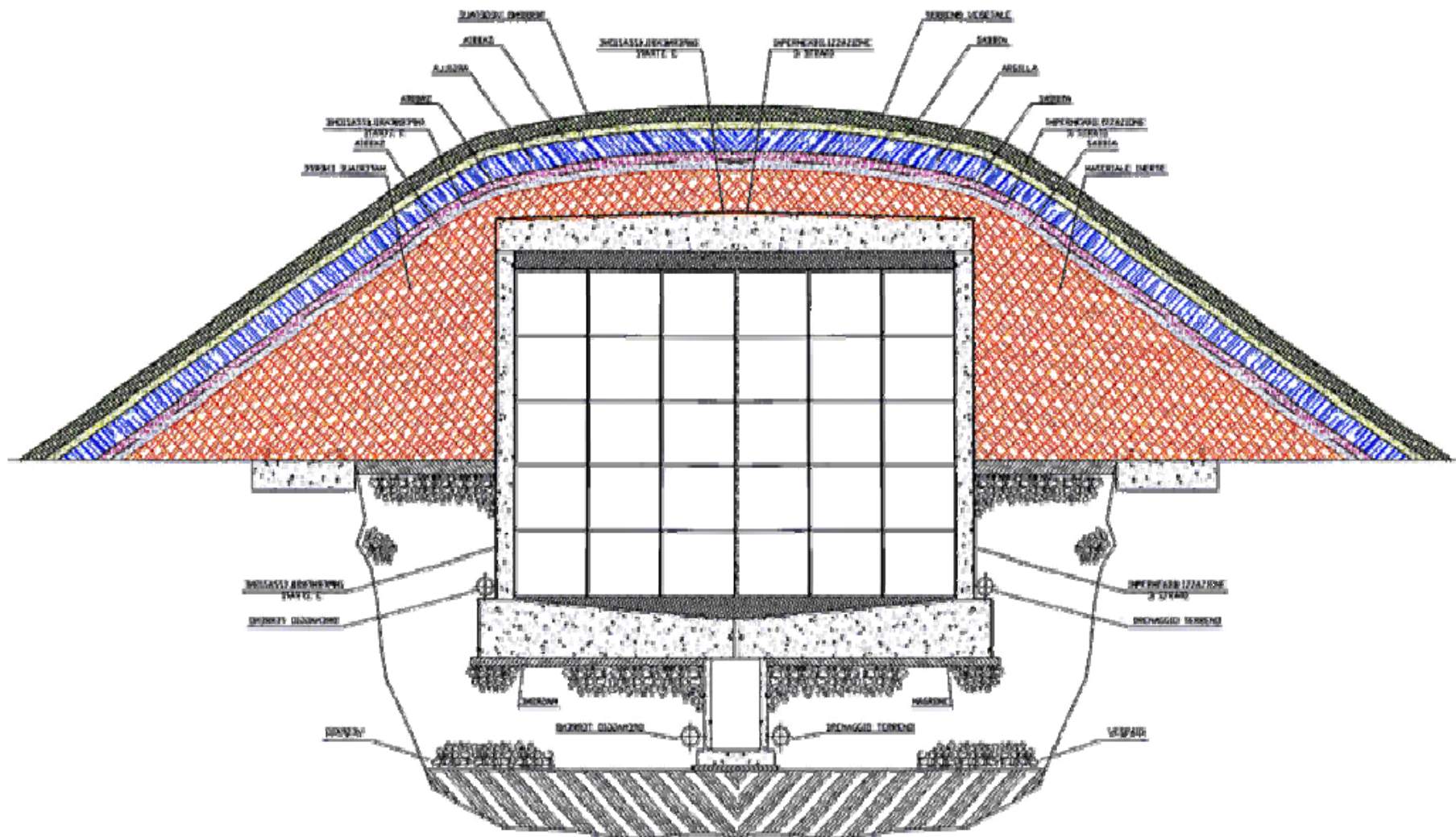
CELLA DI
DEPOSITO



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ

- Dopo il riempimento le unità di deposito sono impermeabilizzate e ricoperte con strati di terreno.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ

- I materiali a bassa e media attività devono rimanere nel deposito controllato per circa 300 anni.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ

- Depositi definitivi per materiali a bassa e media attività (il 95% dei materiali radioattivi prodotti negli impianti nucleari) sono in esercizio in quasi tutti i paesi industriali (in Italia non ancora).



Forsmark (Svezia)



Oskarshamn (Svezia)



Gorleben (Germania)



Konrad (Germania)



Morsleben (Germania)



El Cabril (Spagna)



L'Aube (Francia)



La Manche (Francia)

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ



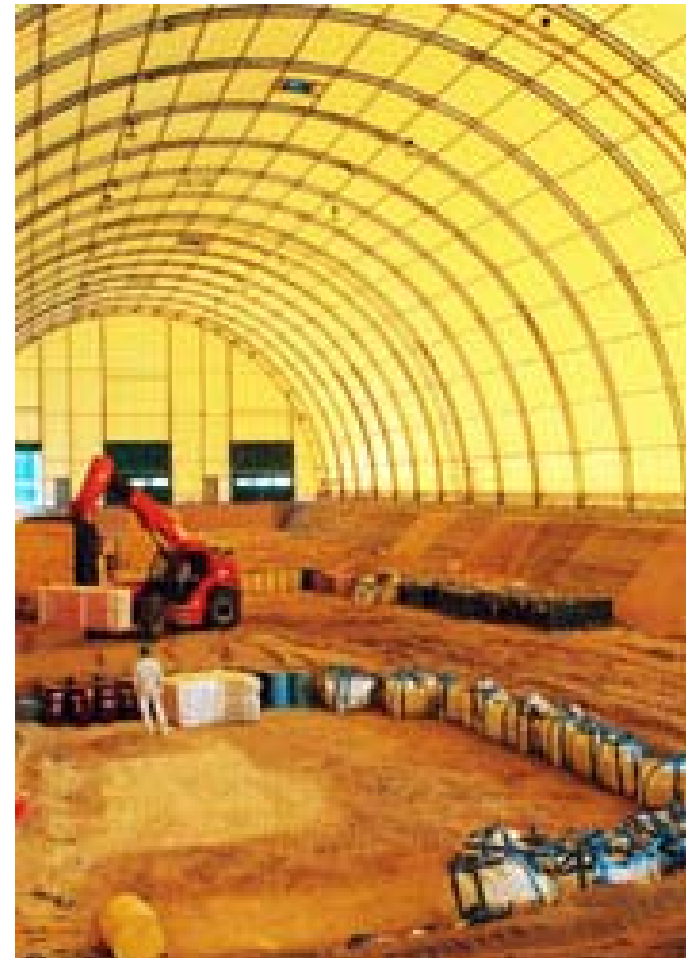
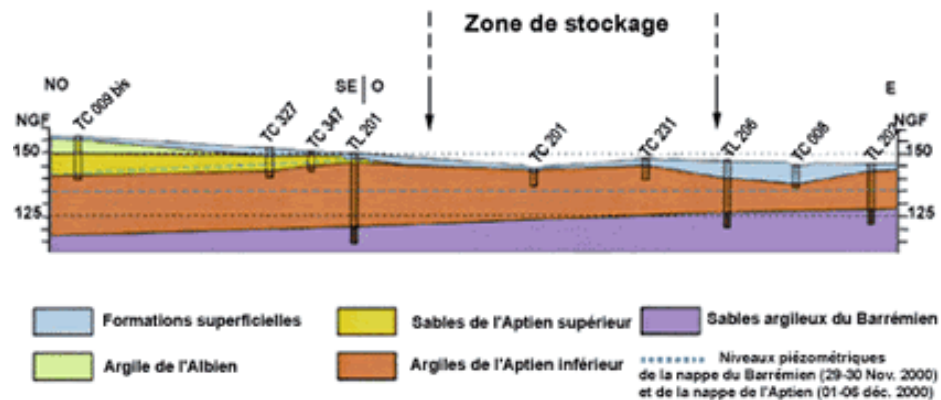
Deposito di La Manche (Francia).

Capacità di stoccaggio:
500.000 metri cubi.

Deposito esaurito e chiuso nel 1994.

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI A BASSA E MEDIA ATTIVITÀ

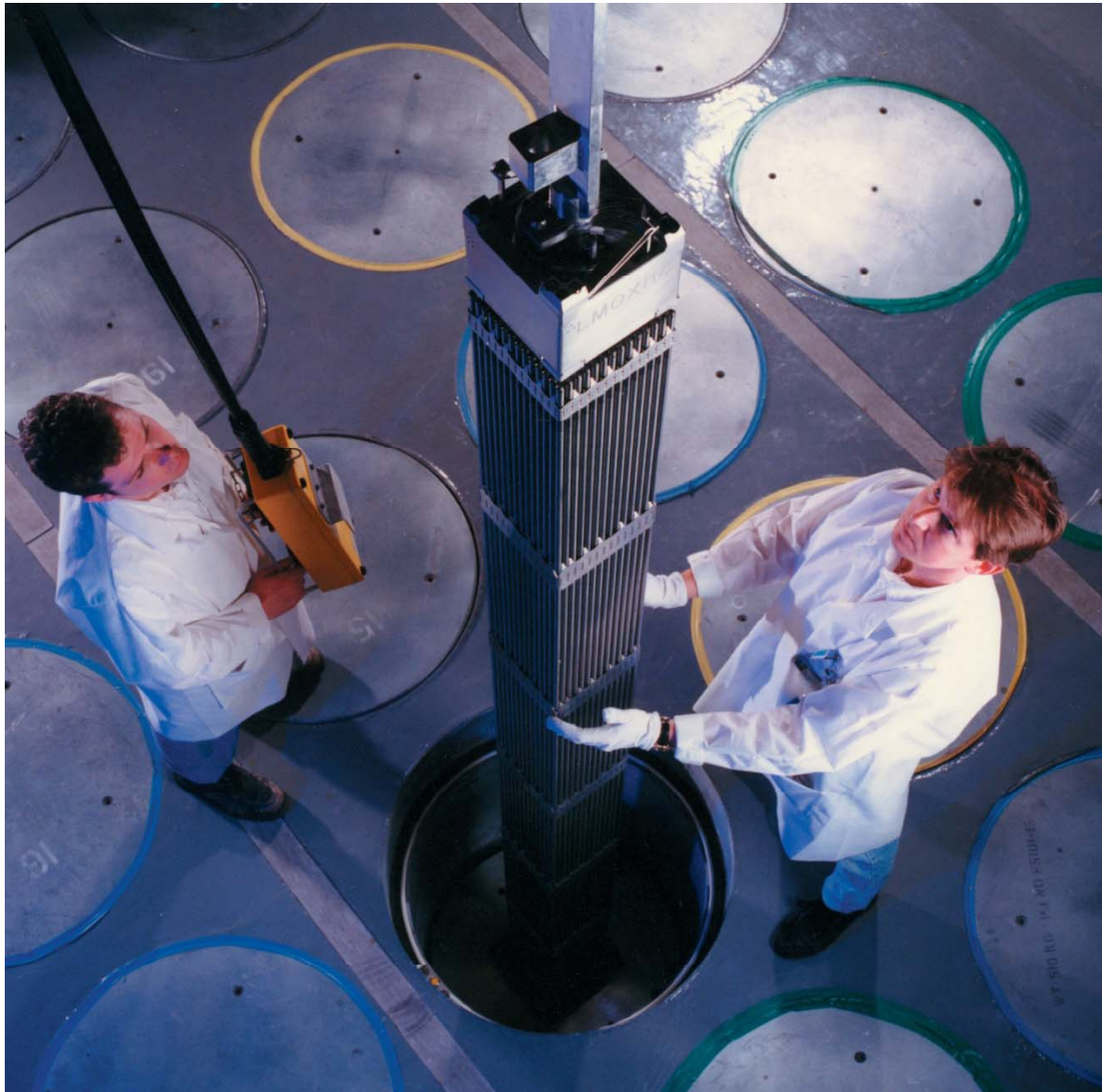


Deposito TFA di Morvilliers (Francia).

Capacità di stoccaggio: 650.000 metri cubi

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE



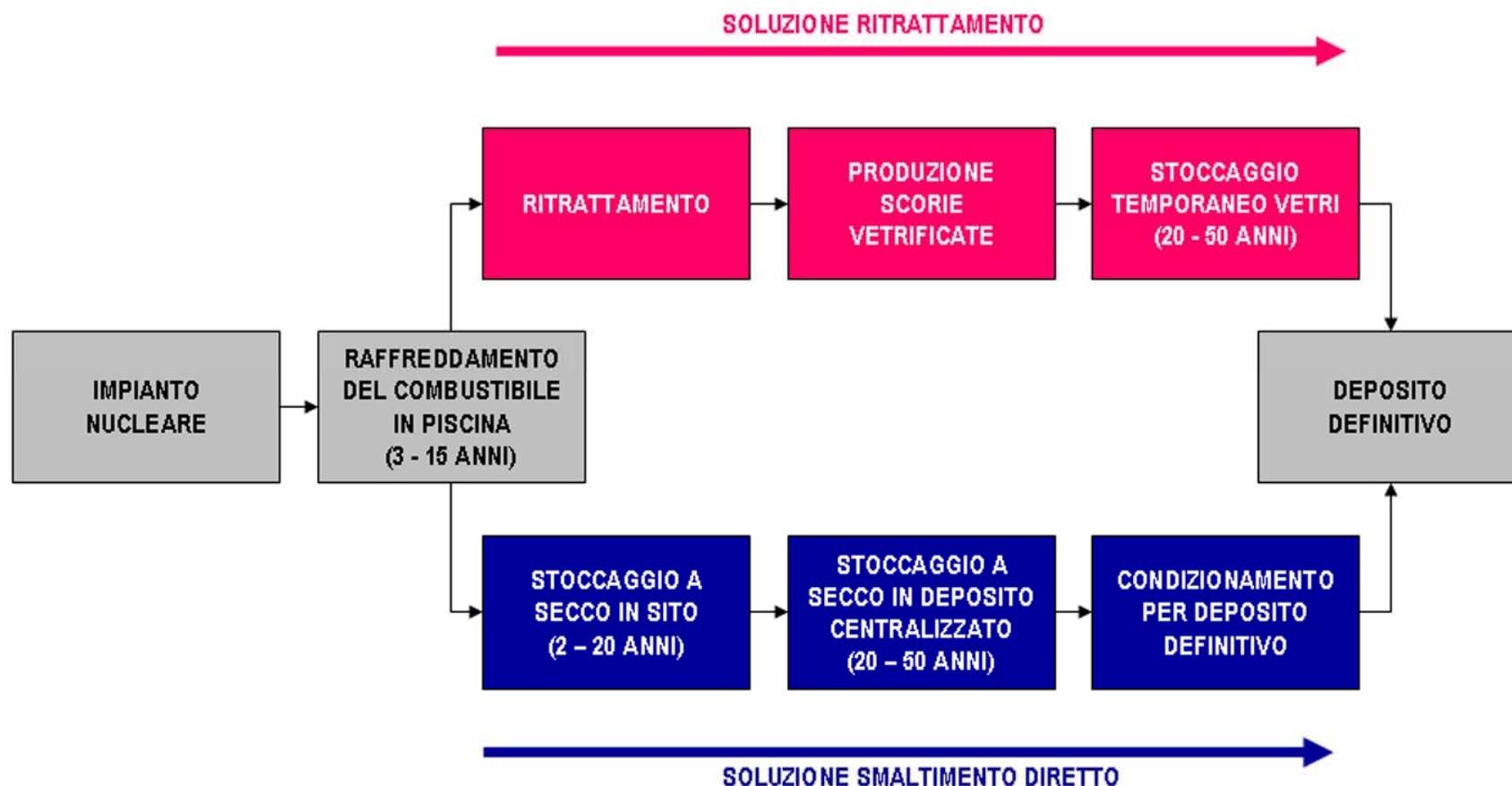
- Il combustibile nucleare fresco è un materiale debolmente radioattivo la cui gestione non richiede particolari precauzioni di tipo radiologico.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE

- Dopo lo scarico dal reattore il combustibile nucleare è altamente radioattivo.
- La sua gestione può seguire due diverse filosofie.

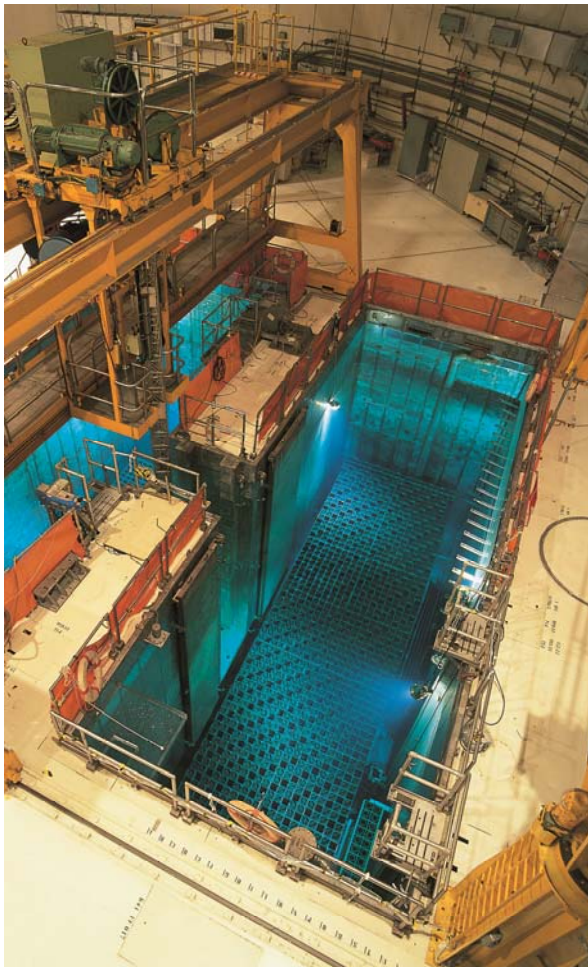


L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

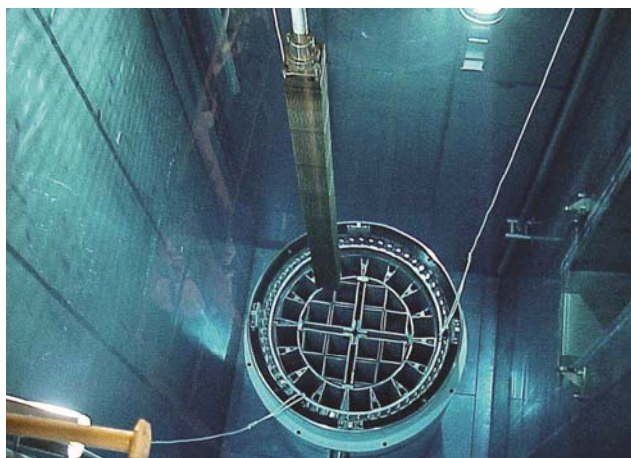
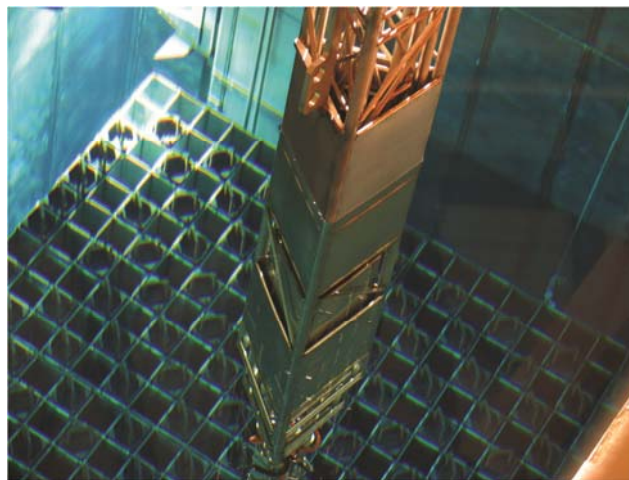
GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE

■ Stoccaggio temporaneo e successivo smaltimento diretto.

1 - Stoccaggio in piscina

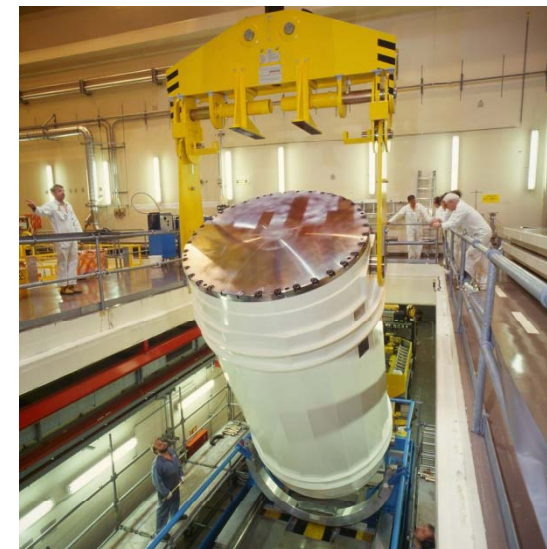


2 - Estrazione dalla piscina



3 - Caricamento nei cask

4 - Estrazione dei cask



5 - Deposito temporaneo dei cask

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE

- Stoccaggio temporaneo a lungo termine del combustibile nucleare irraggiato.



Negli Stati Uniti

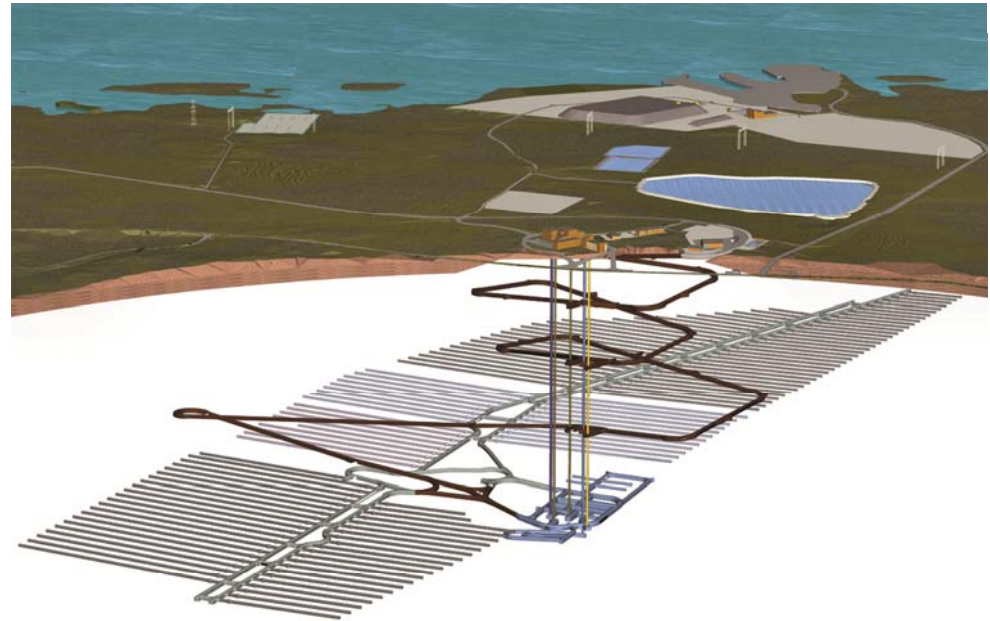


In Europa

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE

- Sistema per lo smaltimento geologico (Finlandia).

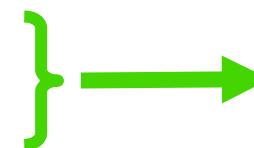


L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE

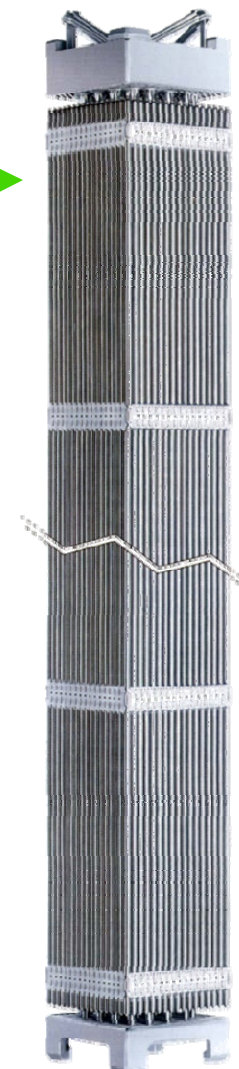
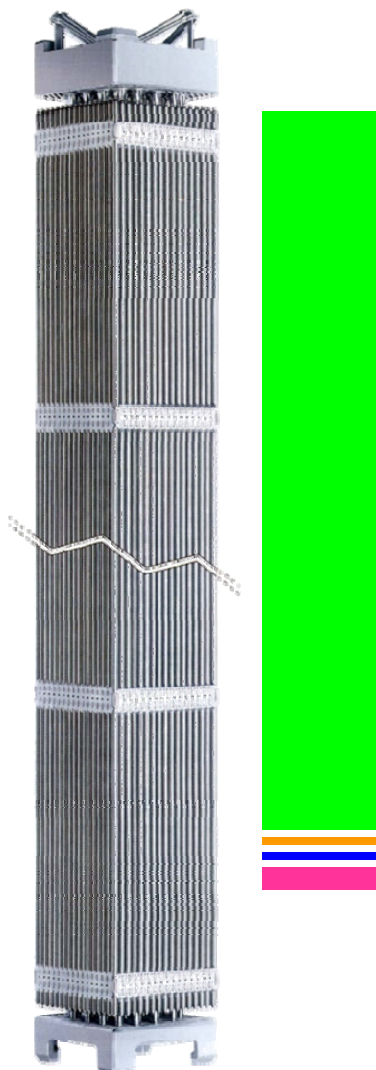
■ Composizione del combustibile nucleare esaurito:

	95%	uranio 238	riciclabile
	1%	uranio 235	riciclabile
	1%	plutonio	riciclabile
	3%	prodotti di fissione attinidi	scorie



- Il ritrattamento consente il **recupero e il riciclo del 97% del combustibile** nucleare esaurito.

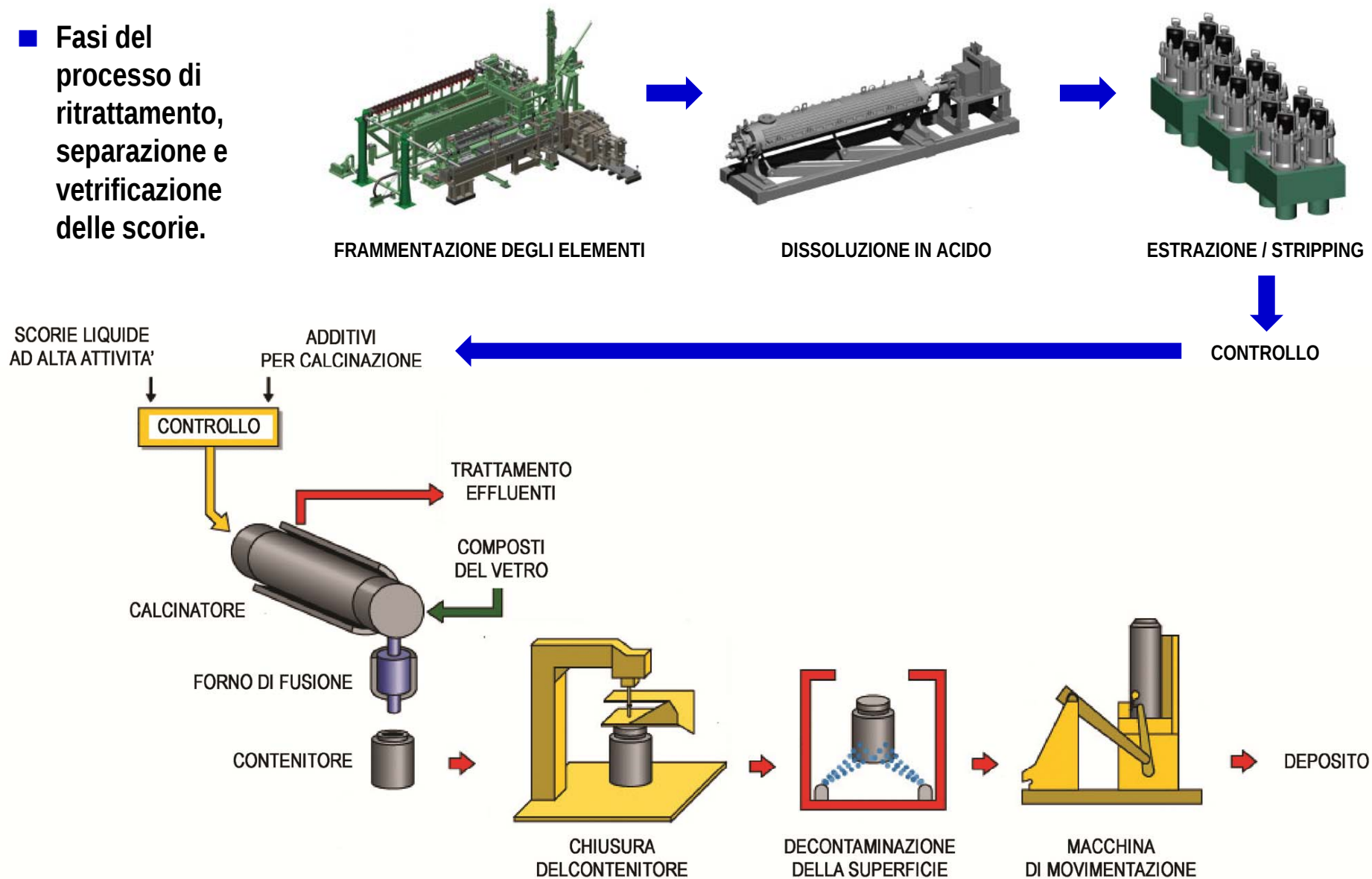
- Le **scorie ad alta attività** rappresentano solo **il 3%** del combustibile nucleare esaurito.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE

- Fasi del processo di ritrattamento, separazione e vetrificazione delle scorie.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE



Trasporto stradale, ferroviario e marittimo dei cask contenenti il combustibile nucleare irraggiato.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE



Controllo dei canister



L'impianto di ritrattamento THORP di Sellafield (UK)



Colaggio del vetro



Chiusura del canister e saldatura del tappo

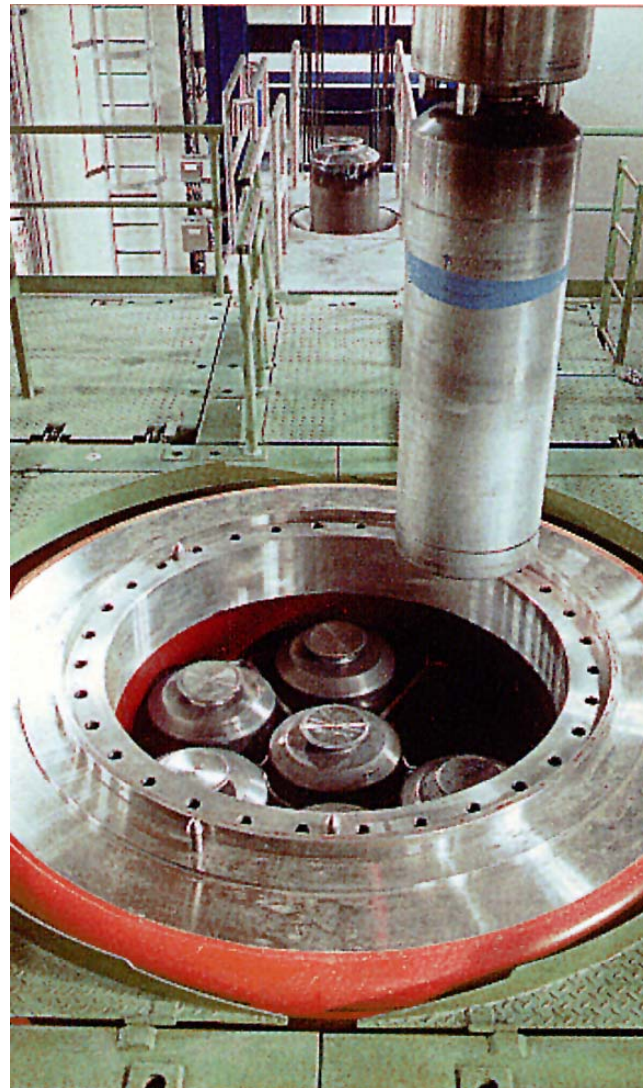
L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

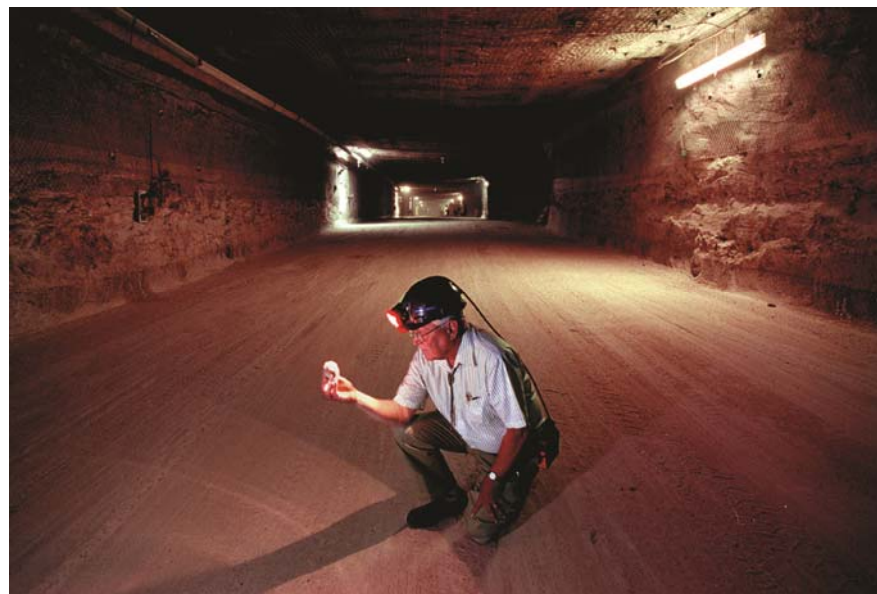
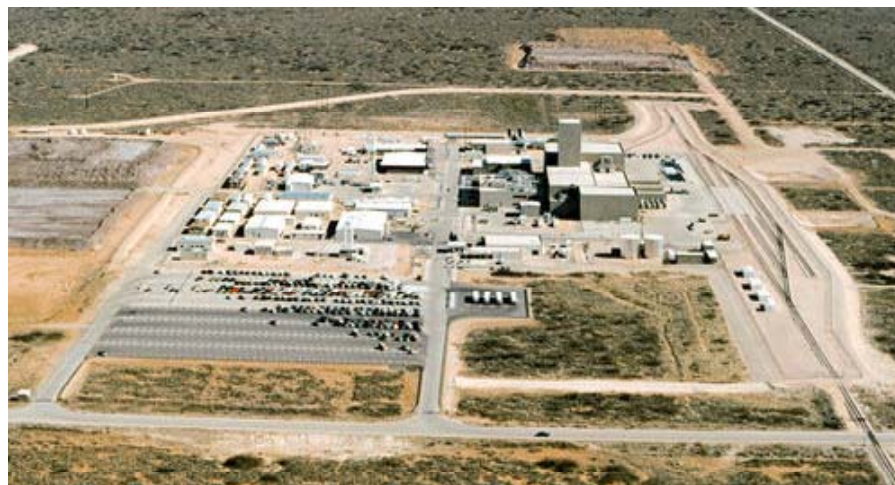
GESTIONE DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ

- Per i materiali ad alta attività (**solo il 5%** dei materiali radioattivi prodotti negli impianti nucleari) è **in fase di studio** in molti paesi lo **smaltimento geologico**.
- L'**unico deposito geologico** attualmente in funzione si trova nel New Mexico (USA), ma ospita materiali derivanti dai **programmi militari**.
- Data la piccola quantità, lo smaltimento geologico dei materiali provenienti dalle centrali nucleari al momento **non è necessario**: i materiali continuano quindi ad essere stoccati presso gli impianti.
- In molti paesi sono in corso **studi sulle formazioni geologiche** di salgemma, argilla e granito.
- L'Unione Europea ha rinviato le decisioni ed è orientata verso la realizzazione di un numero ristretto di **depositi multinazionali**.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

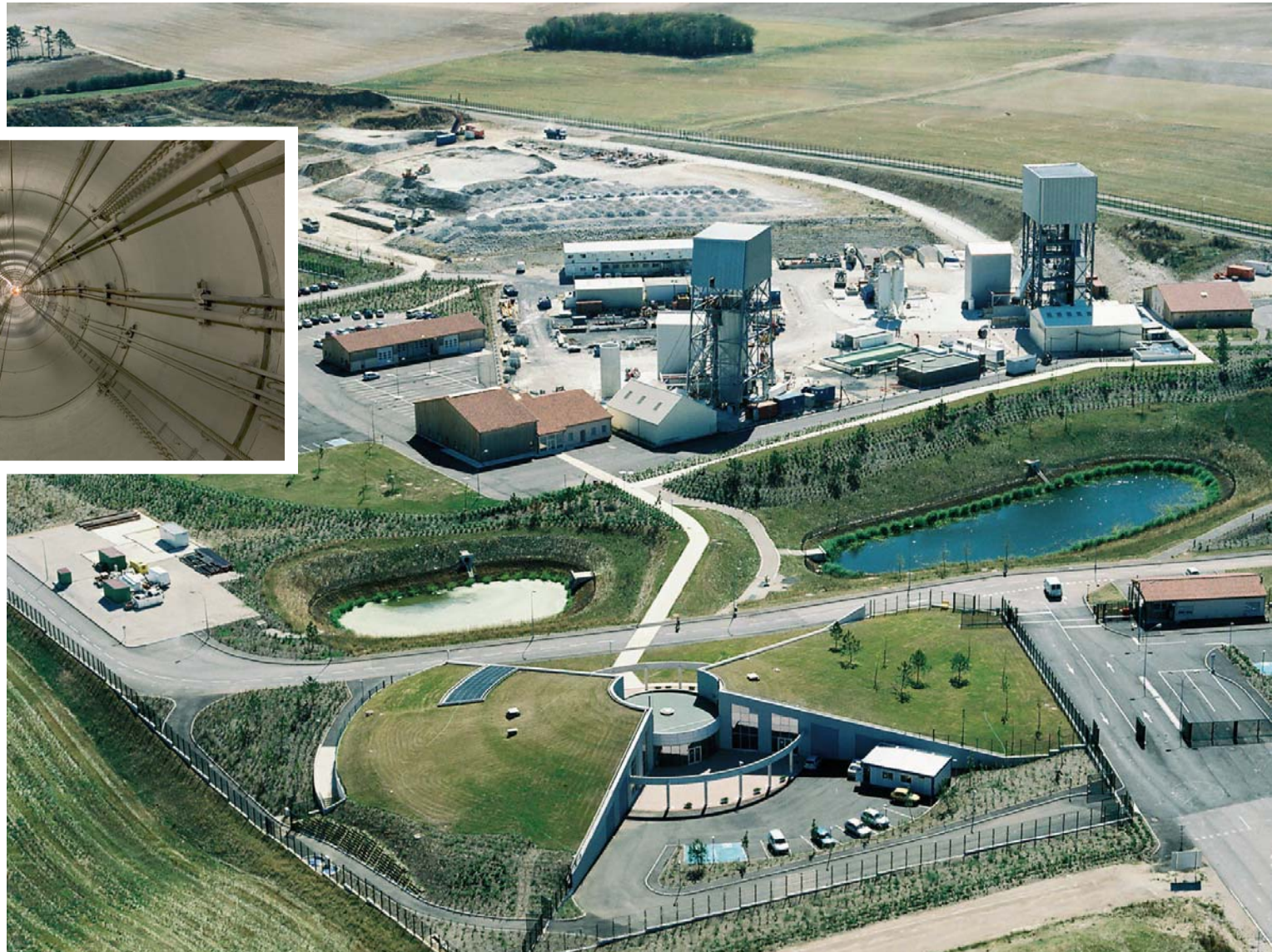
GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ

- La fattibilità dello **smaltimento geologico** è scientificamente dimostrata dalla capacità di confinamento delle formazioni verificata per i materiali radioattivi naturali.
- A Oklo (Gabon) è stato studiato un giacimento di uranio nel quale, circa due miliardi di anni fa, si stabilirono spontaneamente le condizioni per avviare la reazione nucleare di fissione nel minerale.
- Il giacimento di Oklo si “accese” quindi in più punti (ne sono stati finora scoperti una ventina) che funzionarono a lungo come altrettanti reattori nucleari, fino alla rarefazione del materiale fissile (uranio-235) nel minerale.
- Le verifiche condotte sulla migrazione degli isotopi radioattivi generati dalle reazioni (alcuni centimetri in due miliardi di anni) hanno dimostrato l'effettiva capacità delle formazioni geologiche di confinare le sostanze radioattive a lunga vita fino al loro completo decadimento.



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ



Laboratorio
sotterraneo
di Meuse-
Haute Marne
(Francia).

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ



Laboratorio
sotterraneo di
Äspö (Svezia).

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ



Laboratorio sotterraneo di Mol (Belgio).



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ

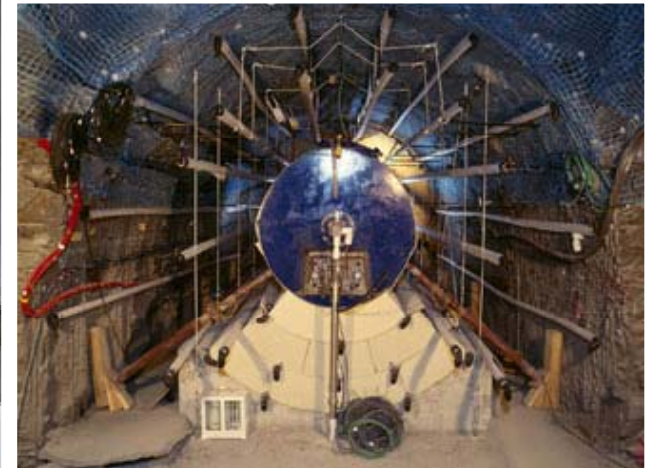


Laboratorio sotterraneo di Grimsel (Svizzera).



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GESTIONE DEI MATERIALI AD ALTA ATTIVITÀ



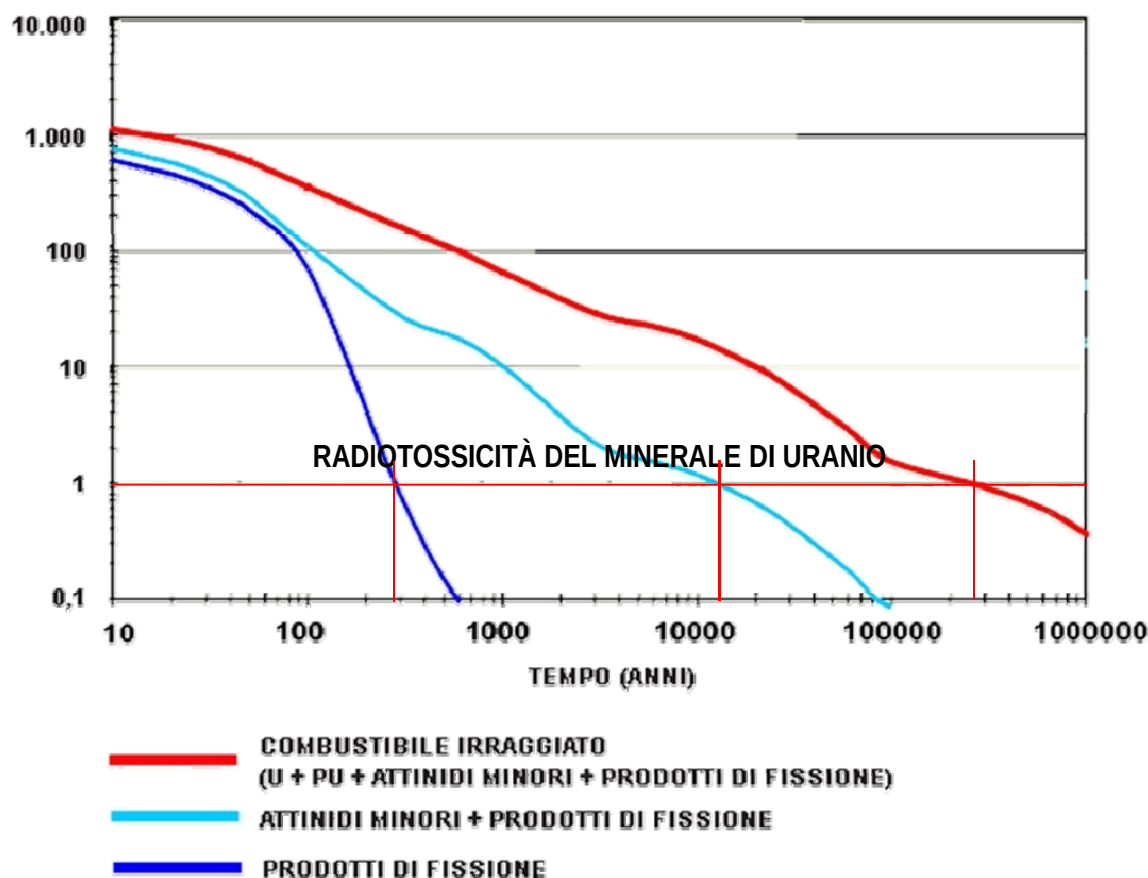
Laboratorio sotterraneo
di Mont Terri (Svizzera).

L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

GLI SVILUPPI FUTURI

- Il problema delle scorie ad alta attività è in via di soluzione sistematica attraverso le ricerche sulla separazione e sulla trasmutazione delle componenti ad alta attività e a lunga vita.

RADIOTOSSICITÀ RELATIVA

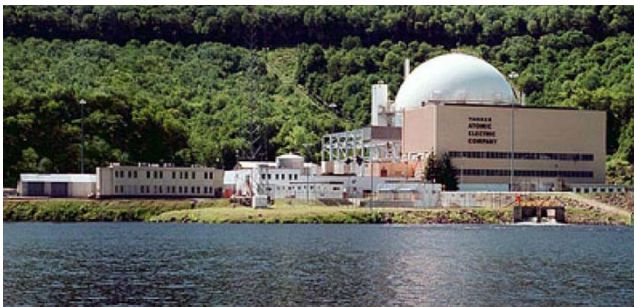


- Il riciclo di uranio e plutonio (MOX) riduce il periodo di decadimento di un fattore 20.
- La trasmutazione degli attinidi minori riduce ancora il periodo di decadimento di un fattore 1000.
- La fattibilità del processo di trasmutazione è stata già dimostrata nell'ambito del programma di ricerca francese Atalante.
- Le tecniche in fase di sviluppo in Francia, Regno Unito, Stati Uniti, Russia e Giappone consentiranno di ridurre il tempo di decadimento a circa 300 anni (come per i materiali a bassa e media attività).

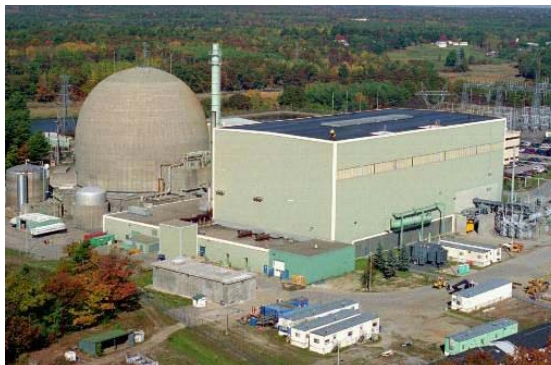
L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

SMANTELLAMENTO DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

**Centrale nucleare
di Yankee Rowe
(USA)**



**Centrale nucleare
di Maine Yankee
(USA)**



**Centrale nucleare
di Connecticut Yankee
(USA)**



L'ENERGIA NUCLEARE E I MATERIALI RADIOATTIVI

BUFALE NUCLEARI

- Gli impianti nucleari producono quantitativi enormi di rifiuti radioattivi.
- Nessuno sa dove mettere i rifiuti radioattivi.
- Nessuno ha mai costruito un deposito geologico.
- La gestione dei rifiuti radioattivi comporta costi esorbitanti.
- Non si sa come smantellare gli impianti nucleari.
- L'industria nucleare non tiene conto dei costi di smantellamento degli impianti.
- La radioattività è dannosa anche in dosi minime.



- Gli impianti nucleari contaminano irrimediabilmente l'ambiente circostante.
- Nelle centrali nucleari accadono ogni giorno gravi incidenti.
- Intorno agli impianti nucleari si registrano forti incrementi dei tumori, delle leucemie e delle malformazioni neonatali.
- Etc.