Politecnico di Milano

L'ENERGIA NUCLEARE: PROBLEMI E POTENZIALITA'

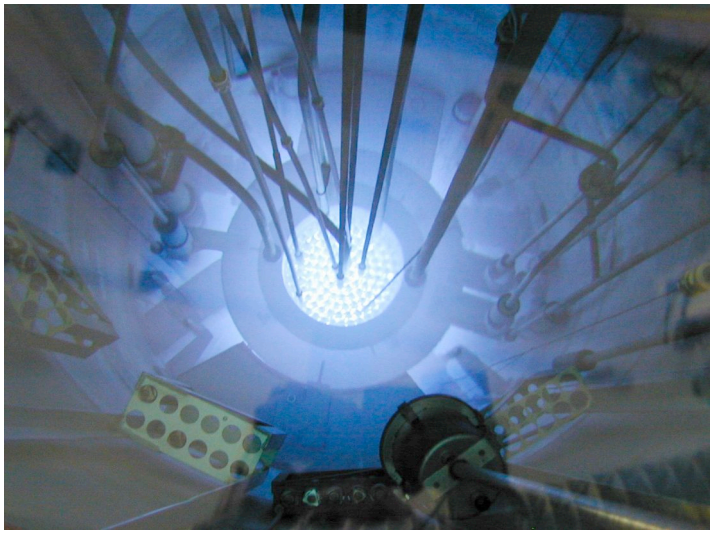
Materiali radioattivi

Francesco Troiani
Presidente NUCLECO S.p.A.
ENEA: Assistente Scientifico del Direttore del Dipartimento Fusione, Tecnologie e Presidio Nucleare

Membership:
Commissione Tecnica per la Sicurezza Nucleare e Protezione Sanitaria
Advisory Group of Independent Experts to assist the JRC sites with the execution of the Action Plan on Historical Liabilities (Commissione Europea)
Steering Committee dell'European SAfeguards Research and Development Association

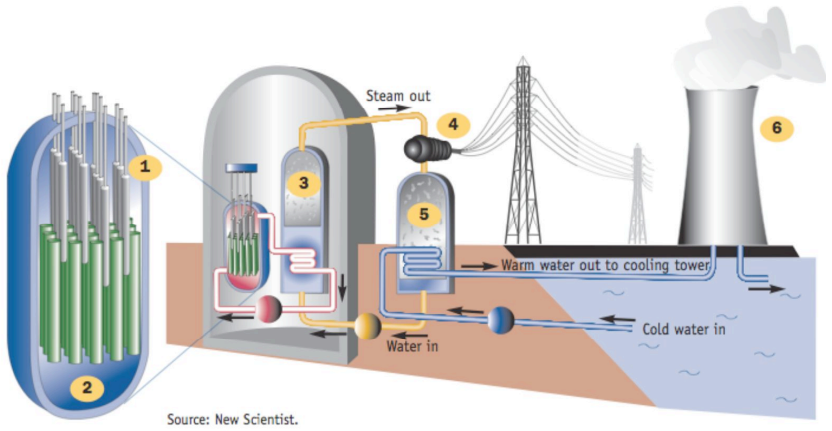
Energia Nucleare

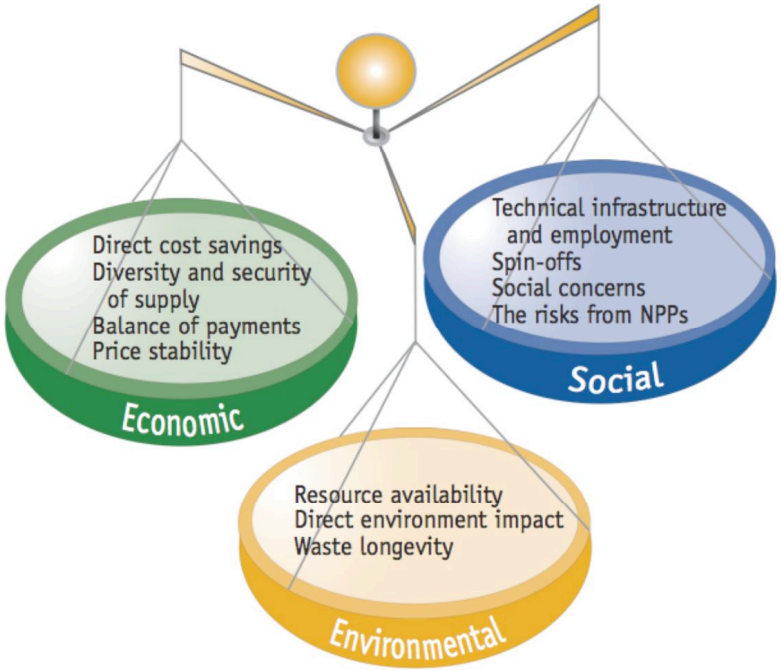
Sostenibilità: economica, ambientale e sociale



ENEA- CR Casaccia: TRIGA RC-1 – 1 MW

ENEA- CR Casaccia: RSV TAPIRO – 5 kW





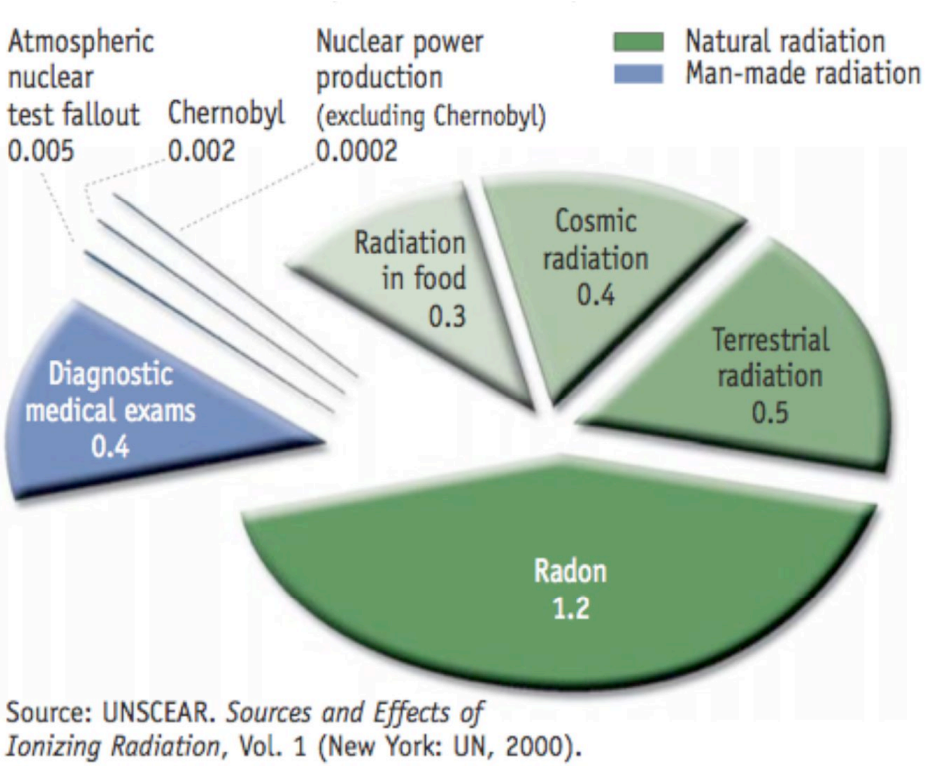
Libro di testo di scuola media, "*Conforme al D.M. 547/99*"

"…. Un'altra forma di inquinamento dell'aria è la radioattività, dovuta all'immissione nell'atmosfera di radiazioni derivanti dalla produzione di energia atomica e, soprattutto, dalle esplosioni di armi atomiche. I danni causati da questo tipo di inquinamento sono gravissimi: tumori e alterazioni genetiche con effetti disastrosi anche sulle generazioni future …."

Gilda Flaccavento; Nunzio Romano
Viaggio nelle scienze - La Terra nell'universo, pag. 67
TEMI E MODULI
Fabbri Editori, ISBN 88-451-3510-1

Comunicazione e Informazione

Origine della dose radioattiva



Source: UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, Vol. 1 (New York: UN, 2000).

Dosi in mSv

Radiation Protection 122 EUR, nei materiali da costruzione:

- cemento $^{40}K = 0{,}4$ Bq/g
- tufo $^{40}K = 1{,}8$ Bq/g
- granito $^{40}K = 0{,}64$ Bq/g

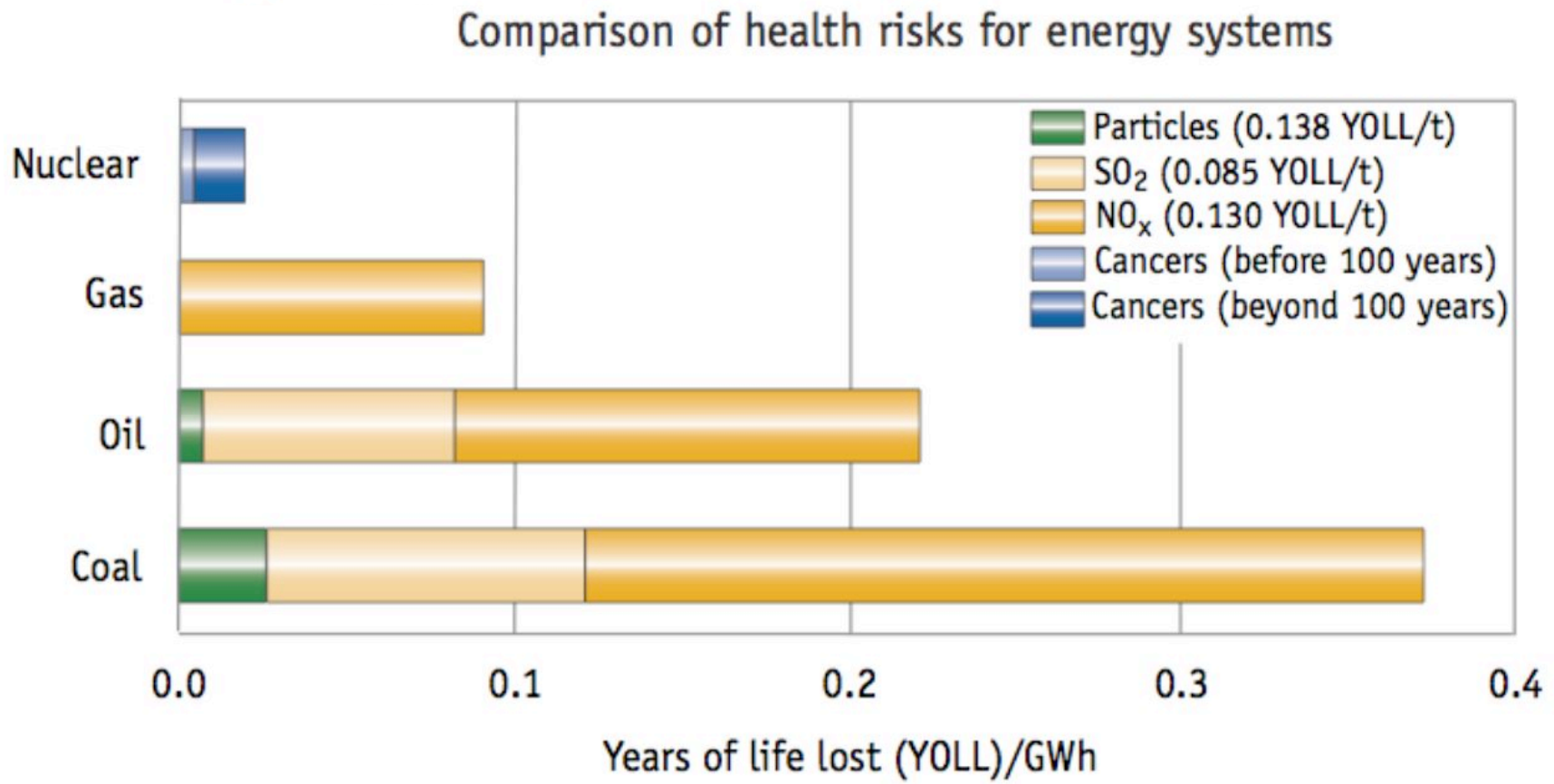
ICRP 30, nel corpo umano:

$^{40}K = 0{,}06$ Bq/g

$^{14}C = 0{,}21$ Bq/g

Comunicazione e Informazione

Danni alla popolazione a causa della produzione di energia elettrica

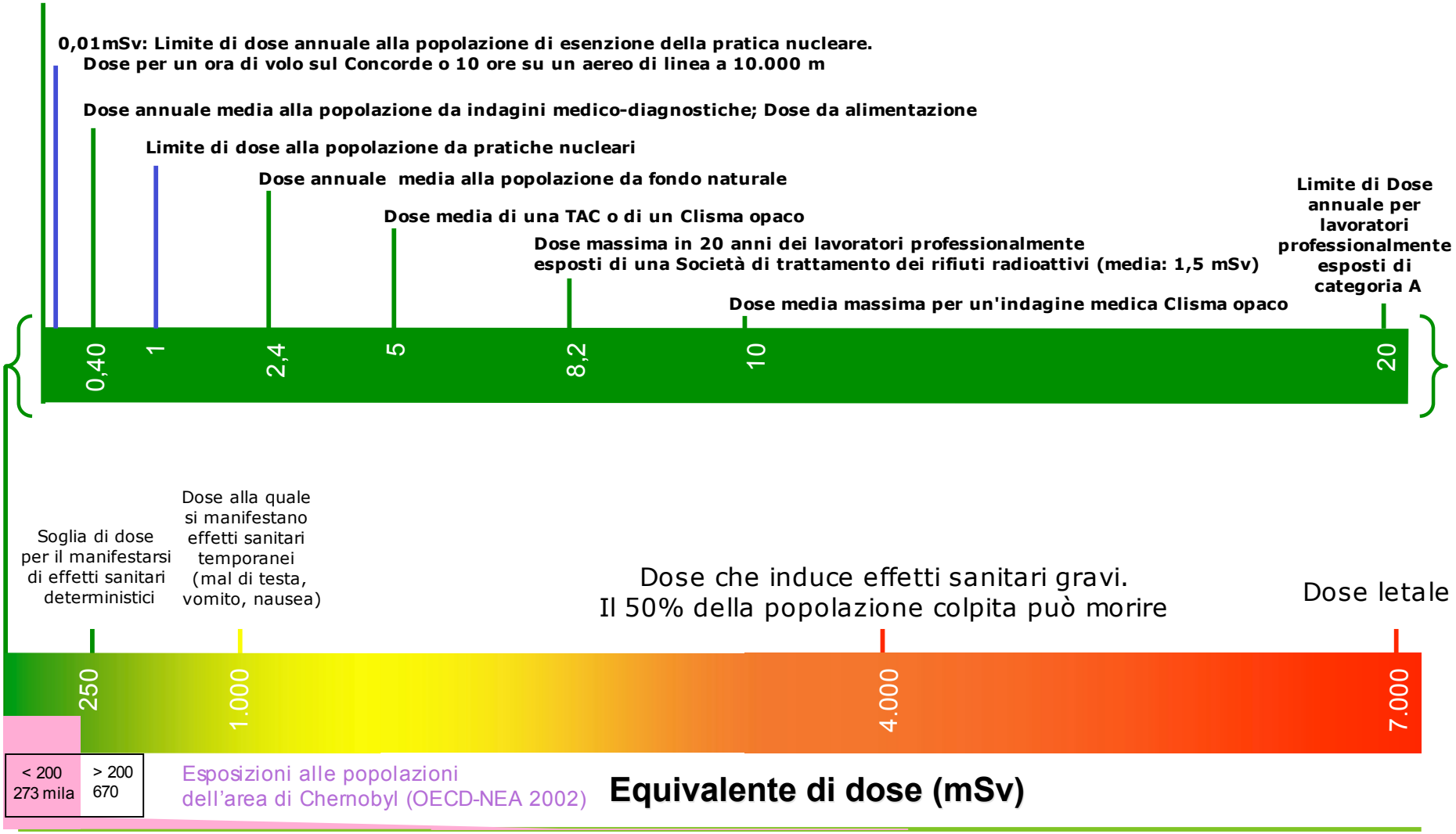


Source: "Comparative Assessment of Emissions from Energy Systems", *IAEA Bulletin*, 41/1/1999.

Comunicazione e Informazione

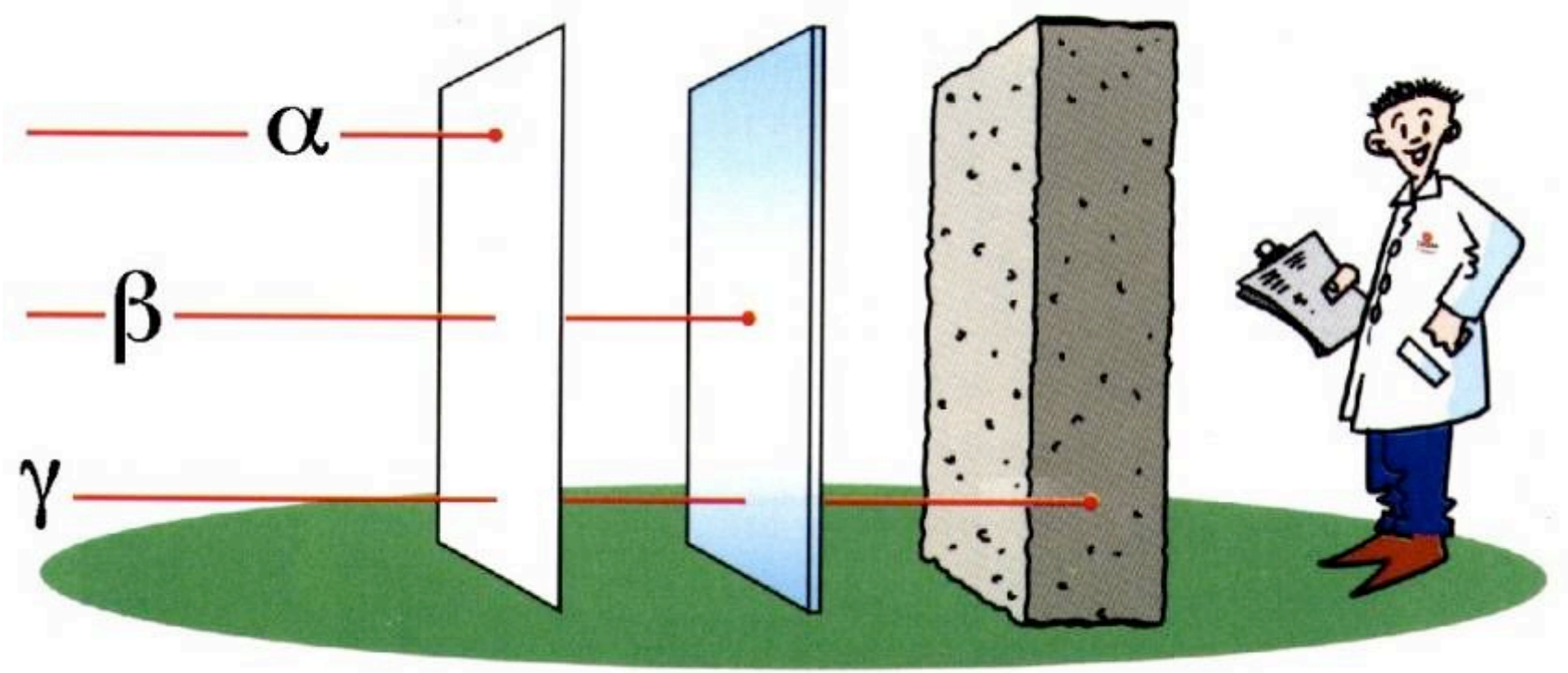
Origine della dose radioattiva, effetti e limiti alle persone nelle pratiche nucleari

0,0002 mSv:Dose media annuale alla popolazione dall'industria nucleare (escluso Chernobyl)
0,002 mSv: Dose annuale media alla popolazione nel 2000 per l'incidente di Chernobyl
0,005 mSv: Dose annuale media alla popolazione nel 2000 per i test nucleari in atmosfera negli anni '60

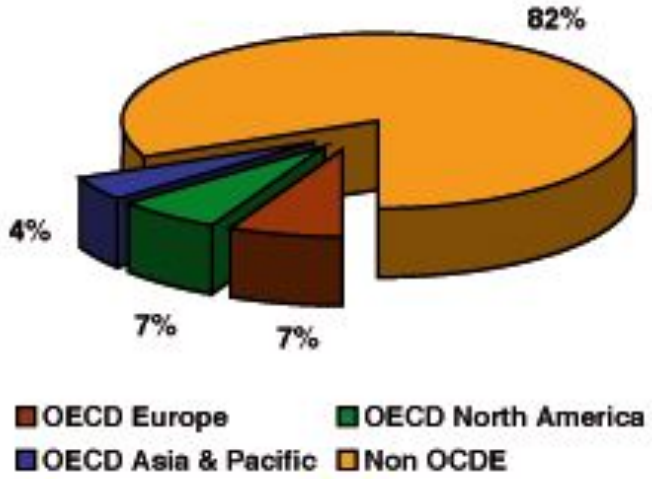


Comunicazione e Informazione

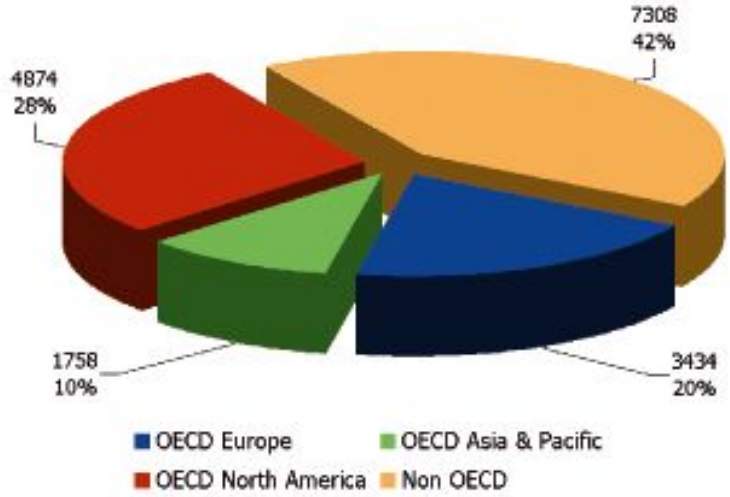
Contenimento e schermaggio: barriere di protezione dalle radiazioni ionizzanti



Distribuzione della popolazione del pianeta



Emissioni anno 2004 di CO2 in Mt

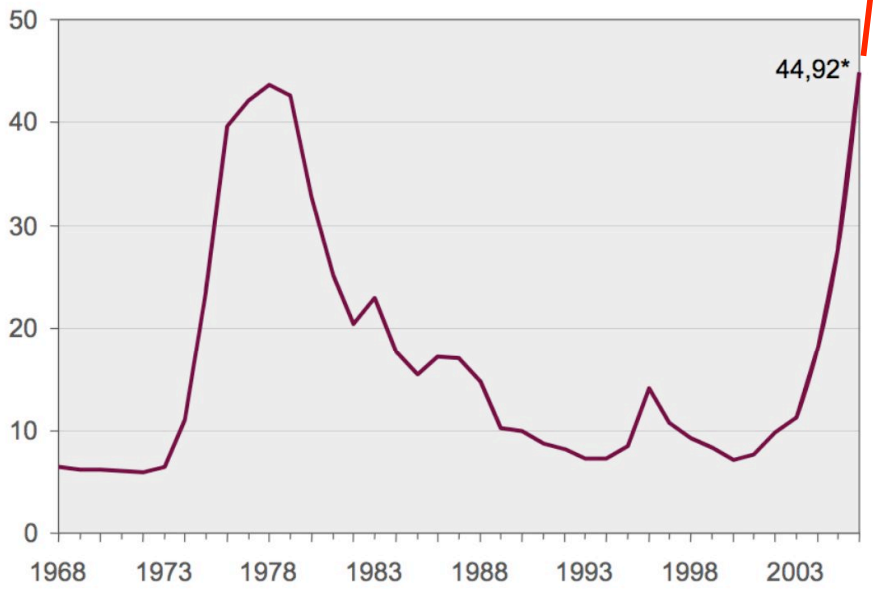


fonte IAEA,
riportata dal World Energy Council, 2007

Risorse

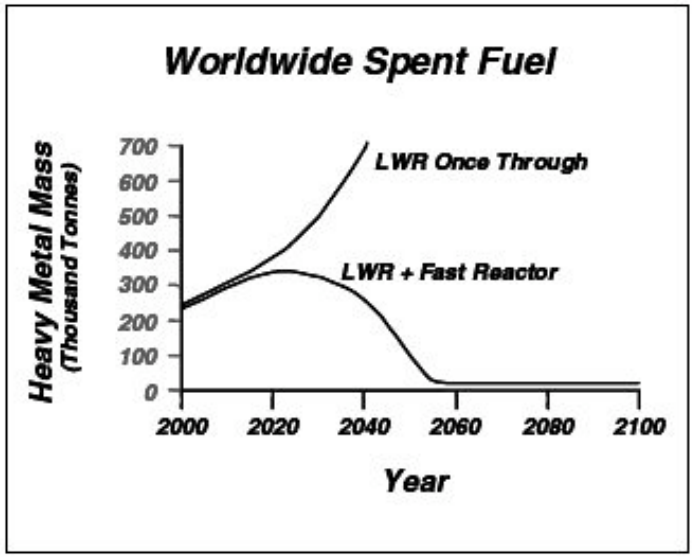
Uso razionale delle risorse a lungo termine

Prezzo dell'Uranio in US$/lb (1 lb = 0,4536 g)

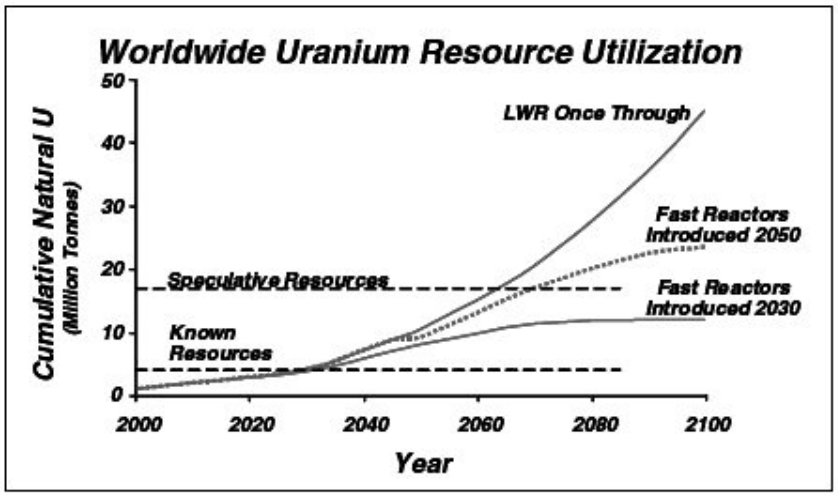


*Average price for the period 1 January through 31 October 2006

Source: NUKEM GmbH, October 2006

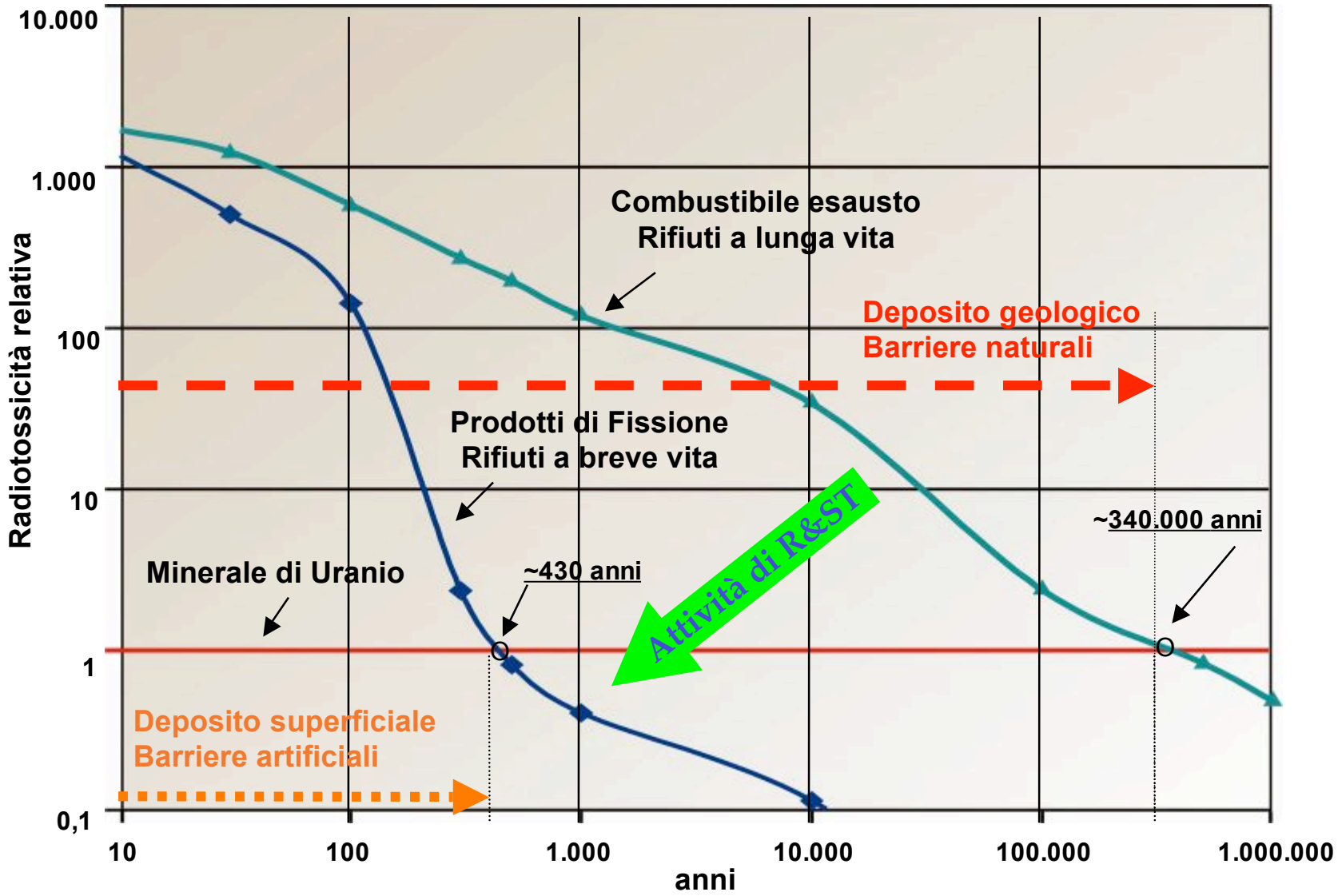


Fonte GIF



Risorse

Produzione di rifiuti



Obiettivi generali:

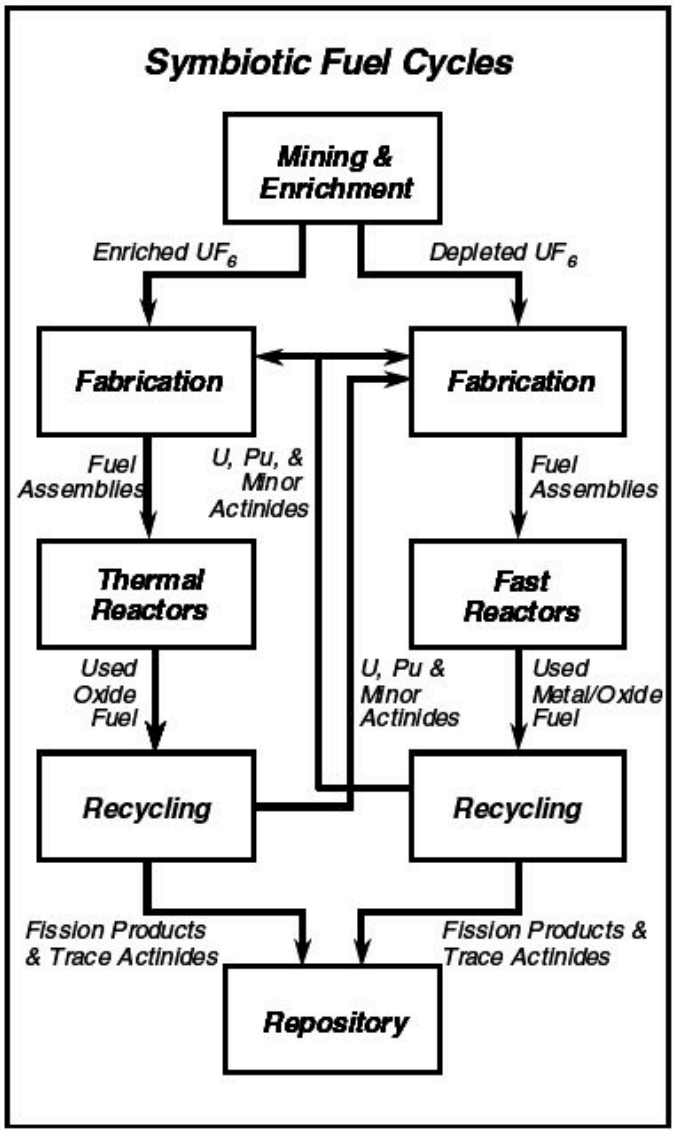
I. Sostenibilità: efficiente utilizzo del combustibile (riciclo), minimizzazione dei rifiuti, abbattimento dei rifiuti a vita lunga;
II. Competitività ed Economicità: riduzione dei costi di produzione (allungamento della vita degli impianti), delle incertezze e del rischio finanziario
III. Sicurezza & Affidabilità: robusta progettazione, drastica riduzione della probabilità di incidenti, compresi quelli severi del nocciolo, con eliminazione della necessità di piani di emergenza esterna ed evacuazione della popolazione
IV. Resistenza alla Proliferazione e Protezione Fisica: sistemi nucleari e cicli di combustibile, non adatti o comunque meno "attraenti" ai fini della diversione, con innalzamento sinergico dei livelli di protezione fisica ai fini della prevenzione del furto e dell'uso improprio dei materiali nucleari.

Risorse

Percorso

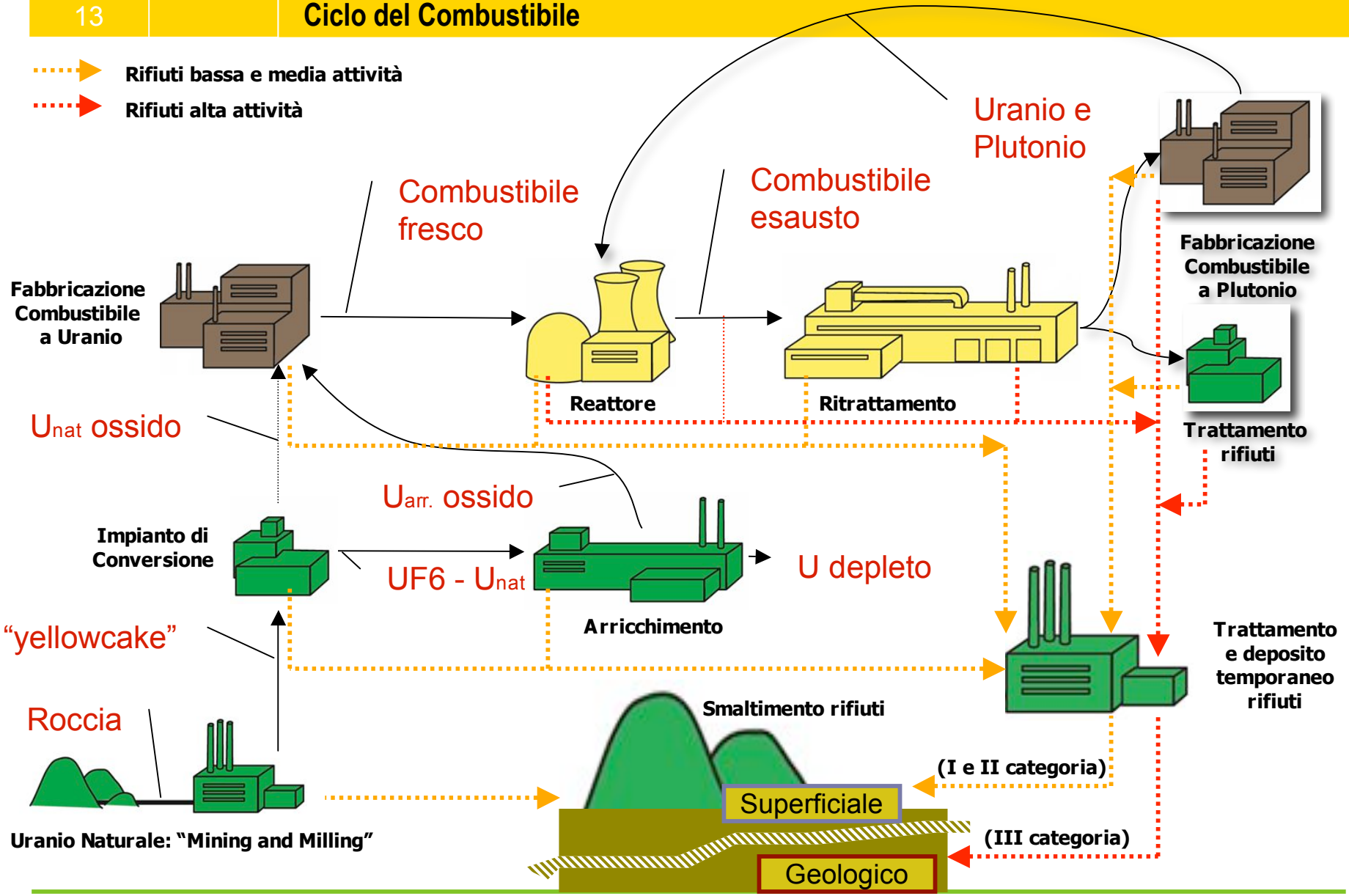
- Reattori attuali (Gen. III);
- Reattori evolutivi (Gen III+), basati sulle attuali tecnologie con miglioramenti tecnologici;
- Reattori innovativi Gen IV), basati su concetti completamente nuovi e nuove tecnologie.

Sviluppo di un piano razionale di utilizzo delle risorse primarie a lungo termine, che preveda l'impiego delle attuali tecnologie (GEN-III-III+) e l'introduzione futura di tecnologie più avanzate (GEN-IV), appena avranno raggiunto la necessaria maturità industriale



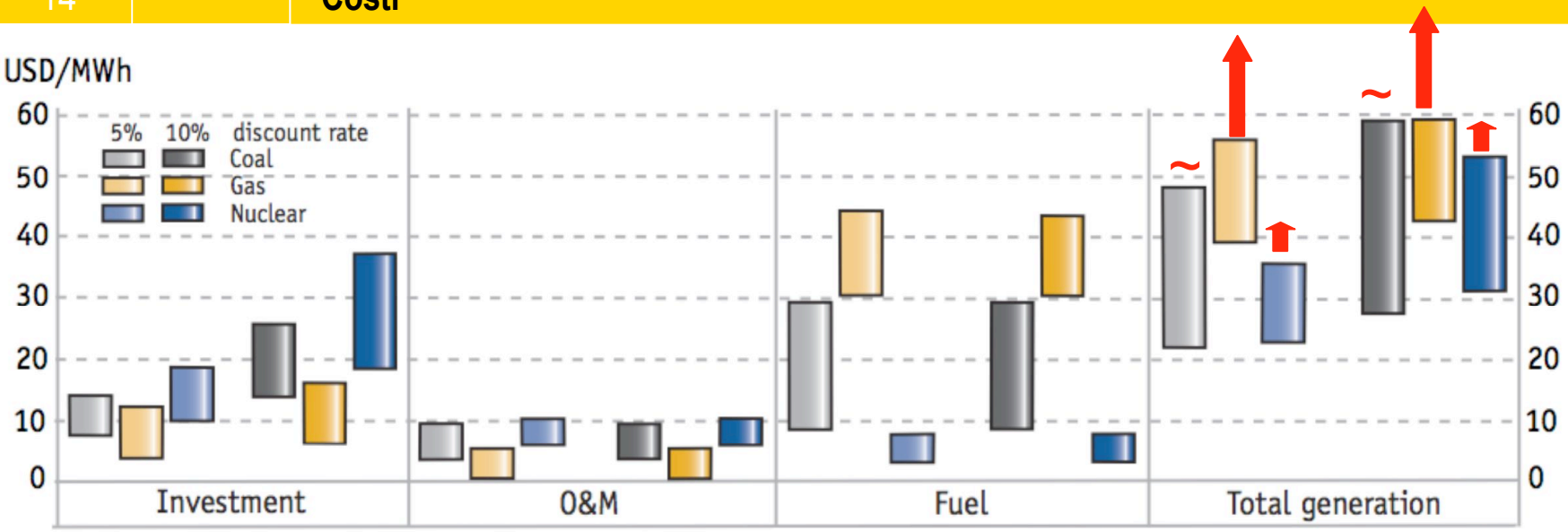
Ciclo materie radioattive

Ciclo del Combustibile

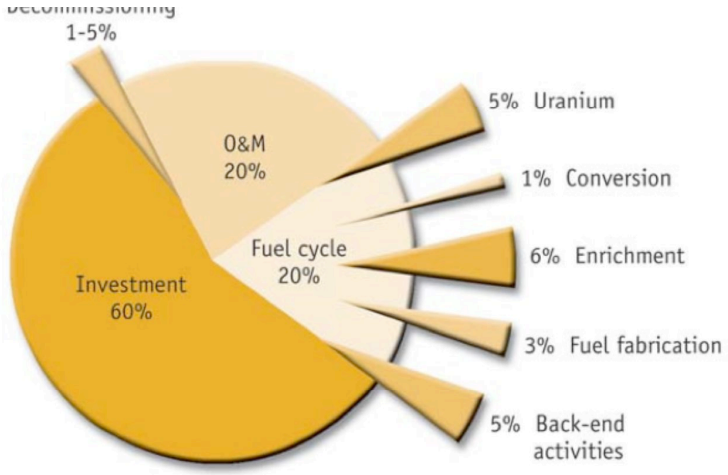


Energia Nucleare

Costi



Fonte: OECD - NEA, 2005

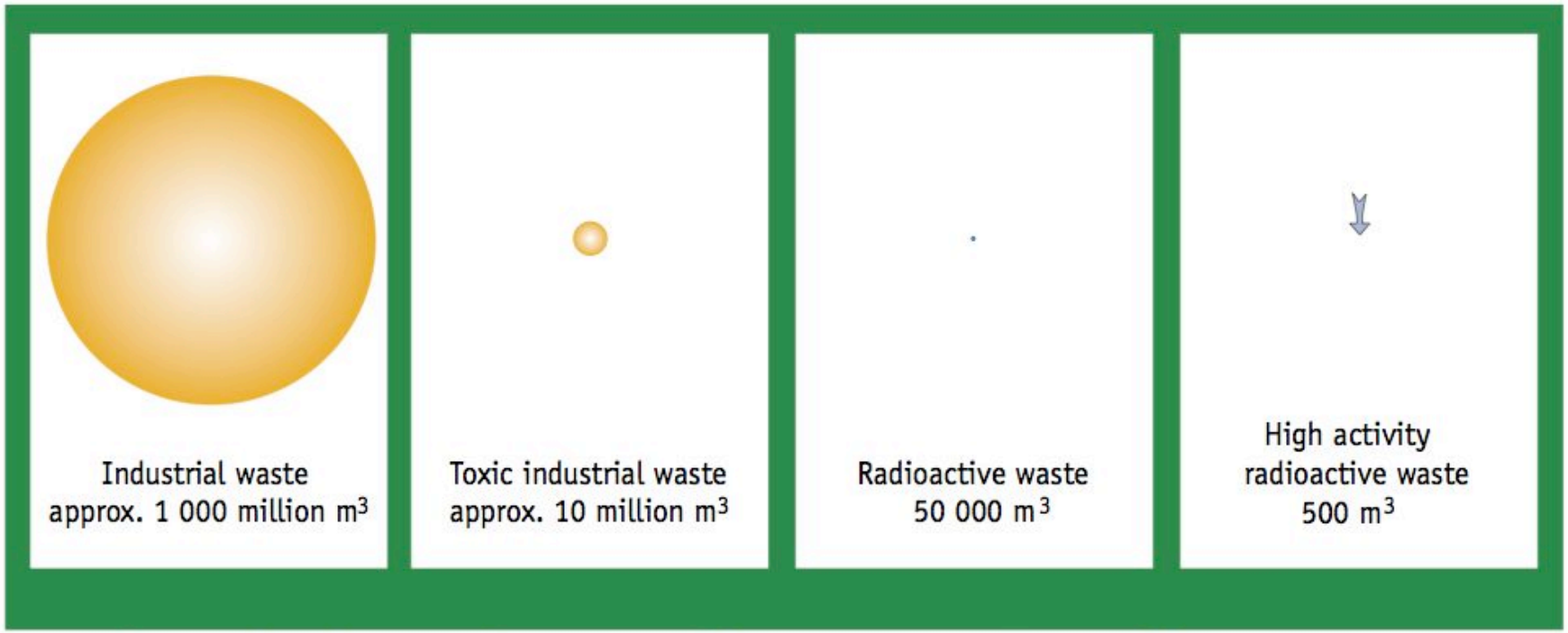


	Nuclear	Gas CCGT	Coal	Wind
Investment*	50-60%	15-20%	40-50%	80%-85%
O&M	30-35%	5-10%	15-25%	10-15%
Fuel	15-20%	70-80%	35-40%	0%

* Including decommissioning

Produzione di rifiuti

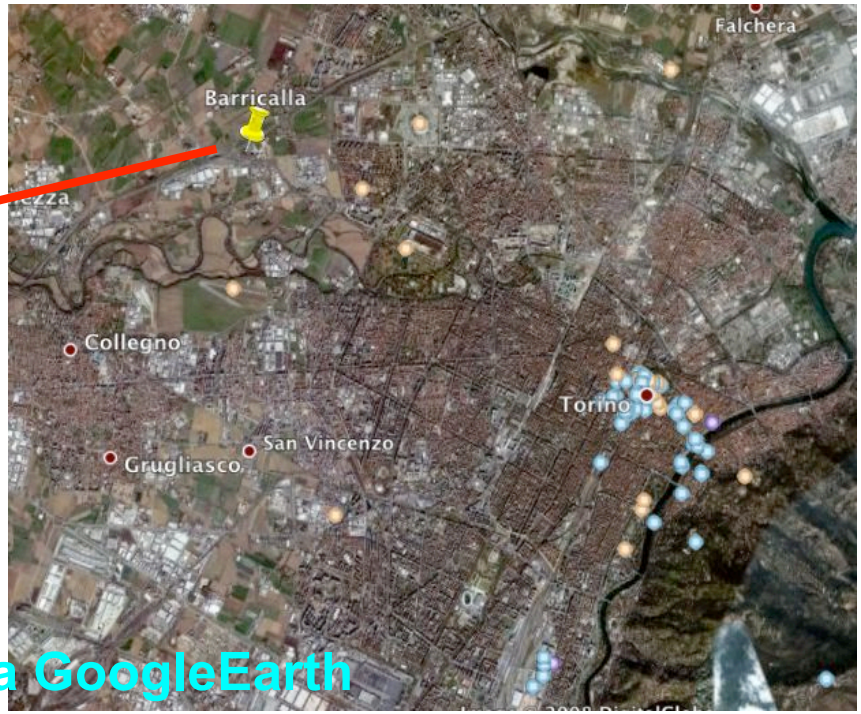
Origine dei rifiuti prodotti annualmente in Europa



Source: *Nuclear and Renewable Energies* (Rome: Accademia Nazionale dei Lincei, 2000), updated with data from the European Commission, *Radioactive Waste Management in the European Union* (Brussels: EC, 1998).

Smaltimento rifiuti industriali

Un caso di successo



COLLEGNO (TO) - BARRICALLA S.p.A

Regione Piemonte: Bollettino Ufficiale n. 06 del 8 / 02 / 2007

Con riferimento al Progetto "Valorizzazione del sito di Barricalla ai fini della continuazione del servizio smaltimento rifiuti speciali pericolosi", ……. , con voti unanimi espressi in forma palese, la Giunta Provinciale …. di **esprimere** …… **giudizio positivo di compatibilità ambientale** …..; il giudizio di compatibilità ambientale è subordinato all'ottemperanza alle prescrizioni per la mitigazione, compensazione e monitoraggio degli impatti, contenute ……. ;

http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2007/06/annunci/00000051.htm

Generazione di rifiuti radioattivi

Esercizio di impianti nucleari ed attività non-elettriche

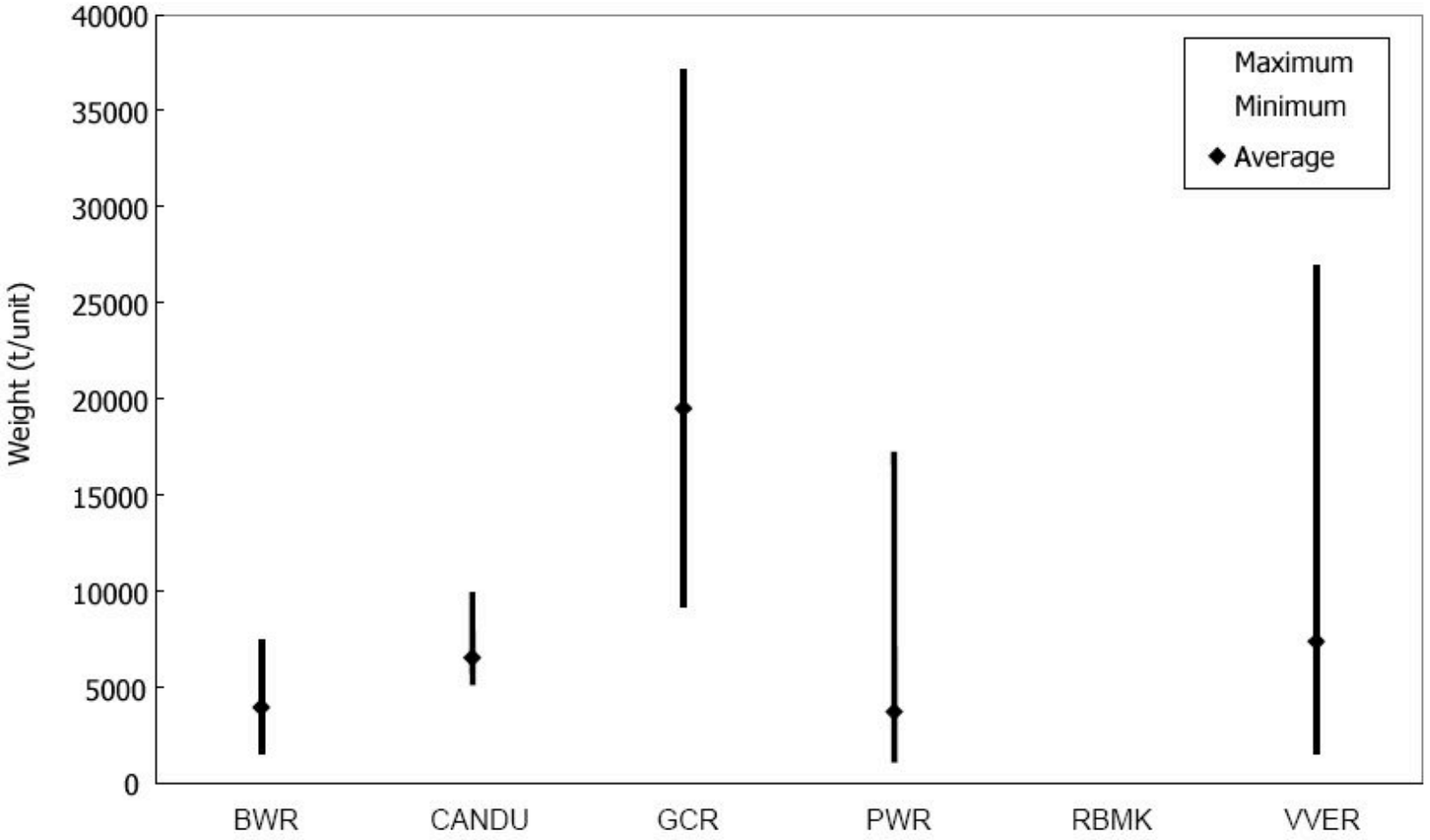
I rifiuti **a bassa attività** provengono generalmente da installazioni nucleari, applicazioni medicali, industria, ricerca scientifica; includono materiali contaminati quali: carta, stracci, indumenti protettivi, filtri, liquidi vari (soluzioni acquose o organiche), etc.
Un tipico reattore nucleare di potenza produce ad esempio **circa 200-300 m^3 all'anno** di rifiuti di esercizio di bassa attività. Il più importante contributo proviene però dalla disattivazione degli impianti nucleari a fine vita.

I rifiuti **a media attività** provengono generalmente da centrali nucleari, impianti del ciclo del combustibile (fabbricazione del combustibile, impianti di ritrattamento del combustibile irraggiato, installazioni di ricerca, etc.); includono generalmente scarti di lavorazione, rottami metallici, liquidi vari, fanghi, resine esaurite, etc. Un tipico reattore nucleare ne produce circa **100 m^3 all'anno** dall'esercizio, ma un significativo contributo proviene anche qui dal decommissioning.

I rifiuti ad **alta attività** contengono la maggior parte dei prodotti di fissione e dei transuranici prodotti nel reattore. Tipicamente sono rifiuti ad alta attività: il combustibile irraggiato esaurito come tale se non viene ritrattato (strategia dello smaltimento diretto) oppure il raffinato del primo ciclo di estrazione, se il combustibile è ritrattato.
Un tipico reattore nucleare di potenza produce circa **30 tonnellate all'anno** di combustibile irraggiato esaurito. Nel caso di ritrattamento questo quantitativo corrisponde a circa **4 m^3 di prodotti della vetrificazione** dei rifiuti liquidi ad alta attività.

Generazione di rifiuti radioattivi

Smantellamento di impianti nucleari



fonte: OECD-NEA- 2003

Rifiuti radioattivi in Italia

Le dimensioni del problema - oggi

Regione	Rifiuti radioattivi		Sorgenti dismesse	Combustibile irraggiato	TOTALE
	Attività	Volume	Attività	Attività	Attività
	10^9 Bq	m^3	10^9 Bq	10^{12} Bq	10^{12} Bq
Piemonte	4.967.681	3.968	4.519	289.423	294.395
Lombardia	56.758	3.269	130.367	3.694	3.881
Emilia Romagna	2.258	4.070	36,015	1.360.000	1.360.002
Lazio	79.588	5.790	587.695	5	672
Campania	444.027	2.625			444
Toscana	14.503	350	419.000	0,005	434
Basilicata	273.985	3.646	37	21.500	21.774
Molise	39	104	0		0,04
Puglia	238	1.140	1,46		0,24
Sicilia	0,83	2,64	0		0,001
TOTALE	**5.839.077**	**24.964**	**1.141.655**	**1.674.622**	**1.681.602**
Fonte: APAT					

Inventario Nazionale dei rifiuti radioattivi, delle sorgenti dismesse e del combustibile irraggiato per regione di ubicazione *fonte: APAT - 2005*

Rifiuti radioattivi in Italia

Le dimensioni del problema: a fine smantellamento impianti obsoleti

STIMA DELL'INVENTARIO DEI RIFIUTI RADIOATTIVI (rif.: www.sogin.it, fonte APAT)				
Impianto	II° Categoria		III° Categoria	
	Volume (m^3)	Attività (GBq)	Volume (m^3)	Attività (GBq)
TRINO	3.348	3,30 E+4	294	1,90 E+6
CAORSO	4.121	8,57 E+3	331	1,99 E+6
LATINA	12.665	3,80 E+4	5.157	1,53 E+6
GARIGLIANO	4.107	4,10 E+4	670	8,80 E+5
EUREX	3.661	4,78 E+4	310	7,33 E+6
ITREC	4.312	3,59 E+4	519	5,40 E+5
OPEC e PLUTONIO	3.316	8,59 E+2	1.083	4,24 E+5
NUCLECO *	5.482	3,41 E+3	1.724	8,44 E+5
FN	460	2,60 E+1		
CCR ISPRA	9.143	7,70 E+4	1.631	9,06 E+4
CISAM	573	6,79 E+3	279	4,69 E+3
AVOGADRO	534	3,32 E+2	1,4	6,59 E-3
TOTALE	**51.722**	**2,93 E+5**	**11.999**	**1,55 E+7**

*) I dati per Nucleco sono suscettibili di aumenti in funzione dell'uso dei materiali radioattivi in campo medico-ospedaliero

Rifiuti radioattivi in Italia

Riferimenti

TABELLA 1 — LIMITI DI CONCENTRAZIONE PER RIFIUTI RADIOATTIVI DELLA SECONDA CATEGORIA CONDIZIONATI AI FINI DELLO SMALTIMENTO

RADIONUCLIDI	CONCENTRAZIONE
α emettitori $t_{1/2}$ >5 anni	* 370 Bq/g (10 nCi/g)
β/γ emettitori $t_{1/2}$ >100 anni	* 370 Bq/g (10 nCi/g)
β/γ emettitori $t_{1/2}$ >100 anni in metalli attivati	3,7 K Bq/g (100 nCi/g)
β/γ emettitori 5< $t_{1/2}$ ≤100	37 K Bq/g (1 μCi/g)
^{137}Cs e ^{90}Sr	3,7 M Bq/g (l00 μCi/g)
^{60}Co	37 M Bq/g (1 mCi/g)
^{3}H	1,85 M Bq/g (50 μCi/g)
^{241}Pu	13 K Bq/g (350 nCi/g)
^{242}Cm	74 K Bq/g (2 μCi/g)
Radionuclidi $t_{1/2}$ ≤5 anni	37 M Bq/g (1 mCi/g)

* i valori sono da intendersi come valori medi riferiti alla totalità dei rifiuti contenuti nel deposito di smaltimento, tenendo presente che il valore limite per ciascun manufatto non può superare 3,7 KBq/g (100 nCi/g)

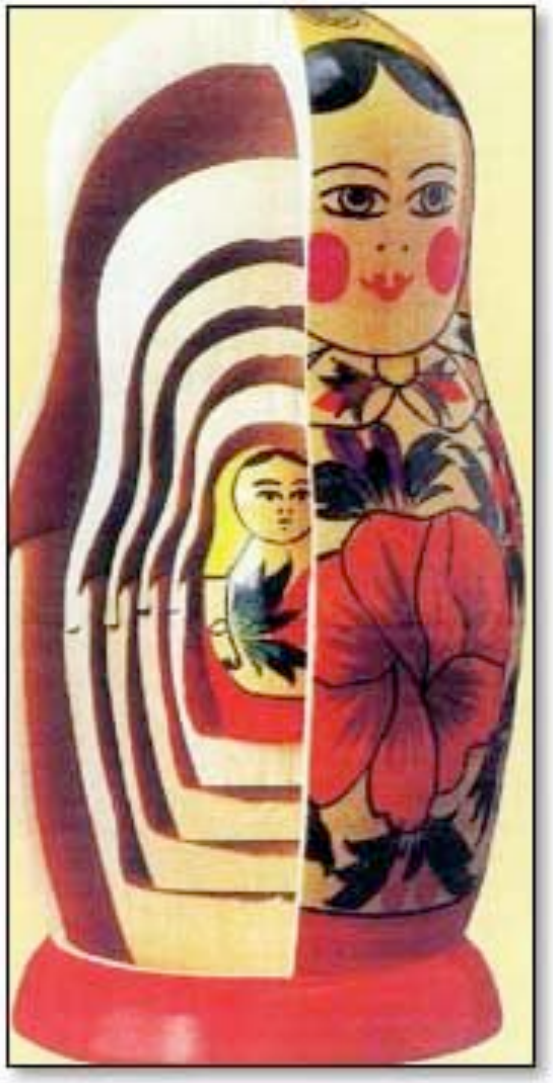
Obiettivi generali

- ✓ Protezione delle popolazioni (presenti e future) e dell'ambiente fino a quando il contenuto di radioattività nei rifiuti (o materiali non riutilizzabili) non avrà raggiunto un livello comparabile con quello naturale;

- ✓ Dose alla popolazione non superiore ai livelli stabiliti dalla legge (0.01 mSv/anno).

Barriere di Contenimento e Schermaggio

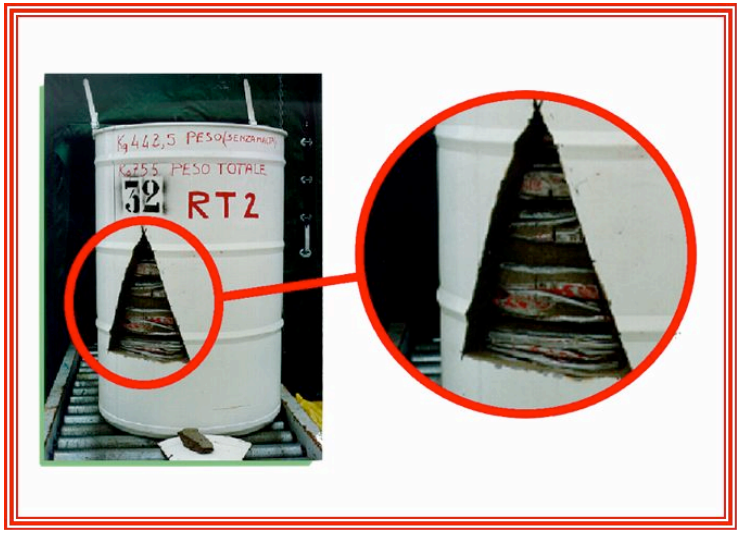
Il concetto multibarriera



Per prevenire il rilascio della radioattività nell'ambiente, i rifiuti radioattivi sono confinati all'interno di un adeguato numero di barriere artificiali e naturali

Trattamento

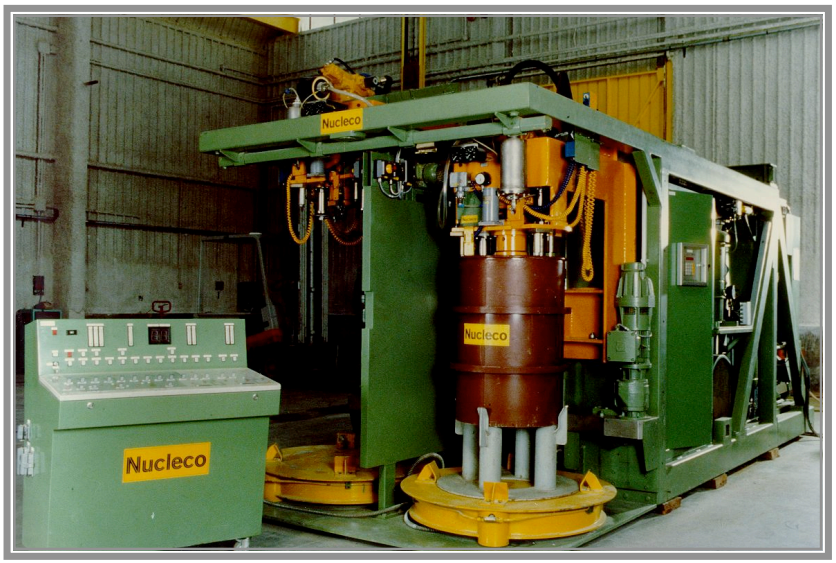
Riduzione di volume - Incenerimento o Compattazione di solidi

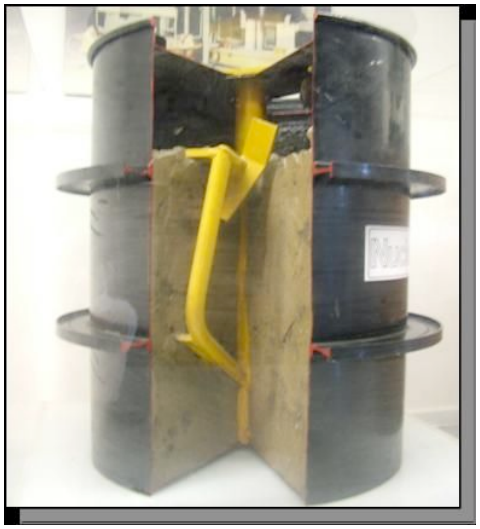


Condizionamento

Cementazione

In-drum mixer
(NUKEM)





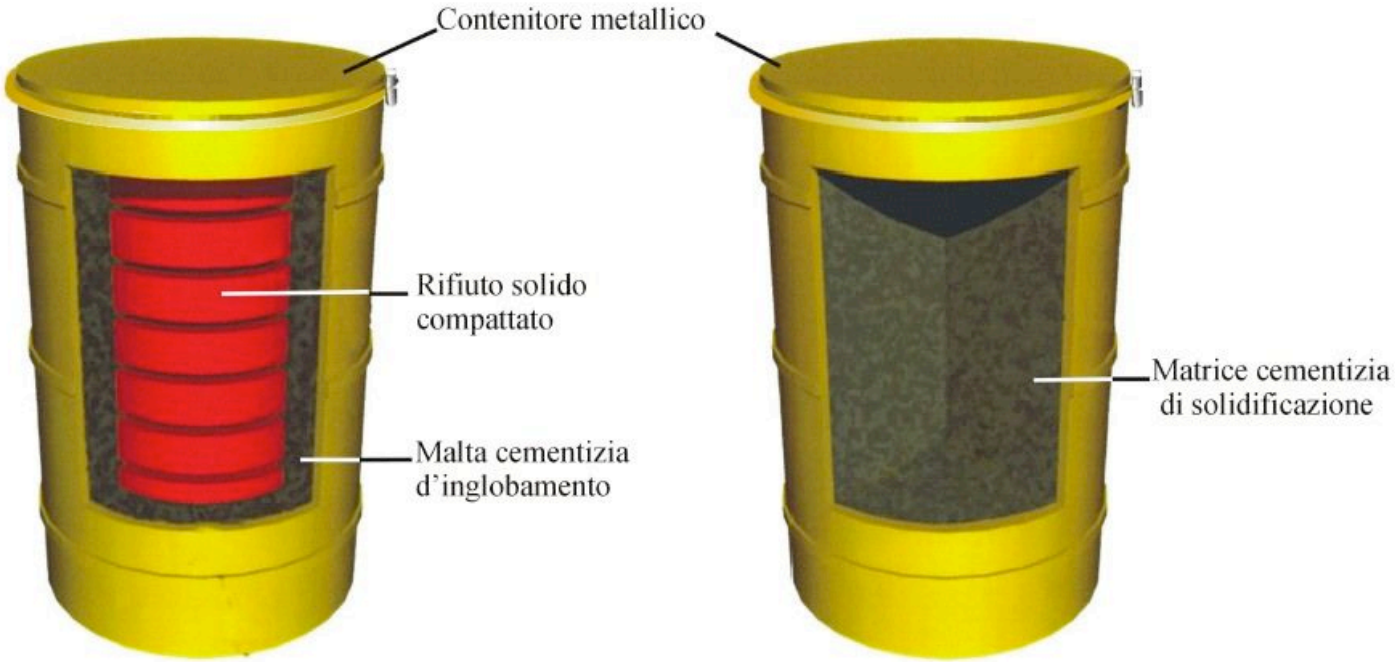
In-drum mixer
In Nucleco
(MOWA)

Condizionamento

Manufatti cementati

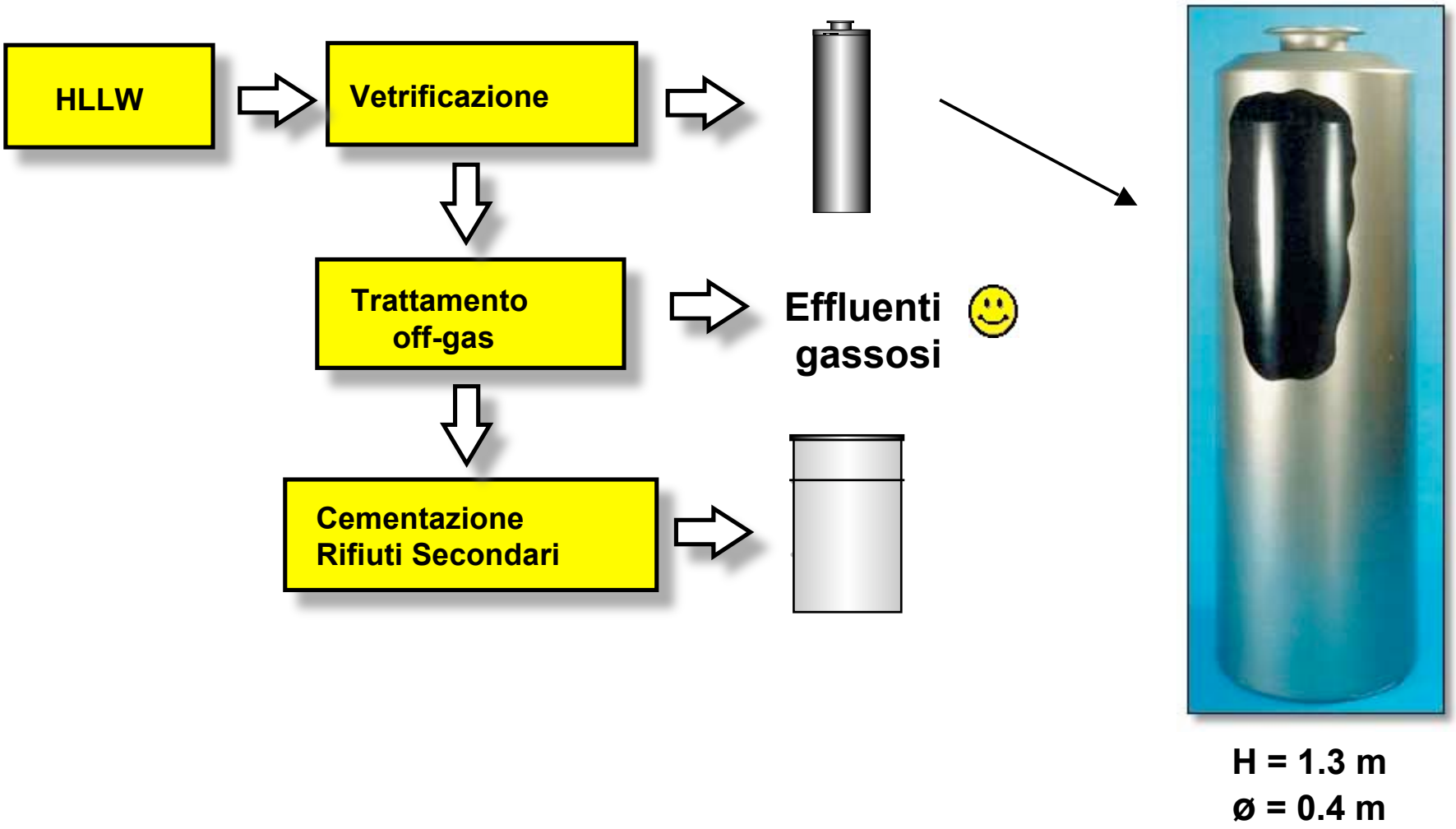
Fusto da 380 lt con rifiuti solidi compattati

Fusto da 400 lt con rifiuti liquidi cementati



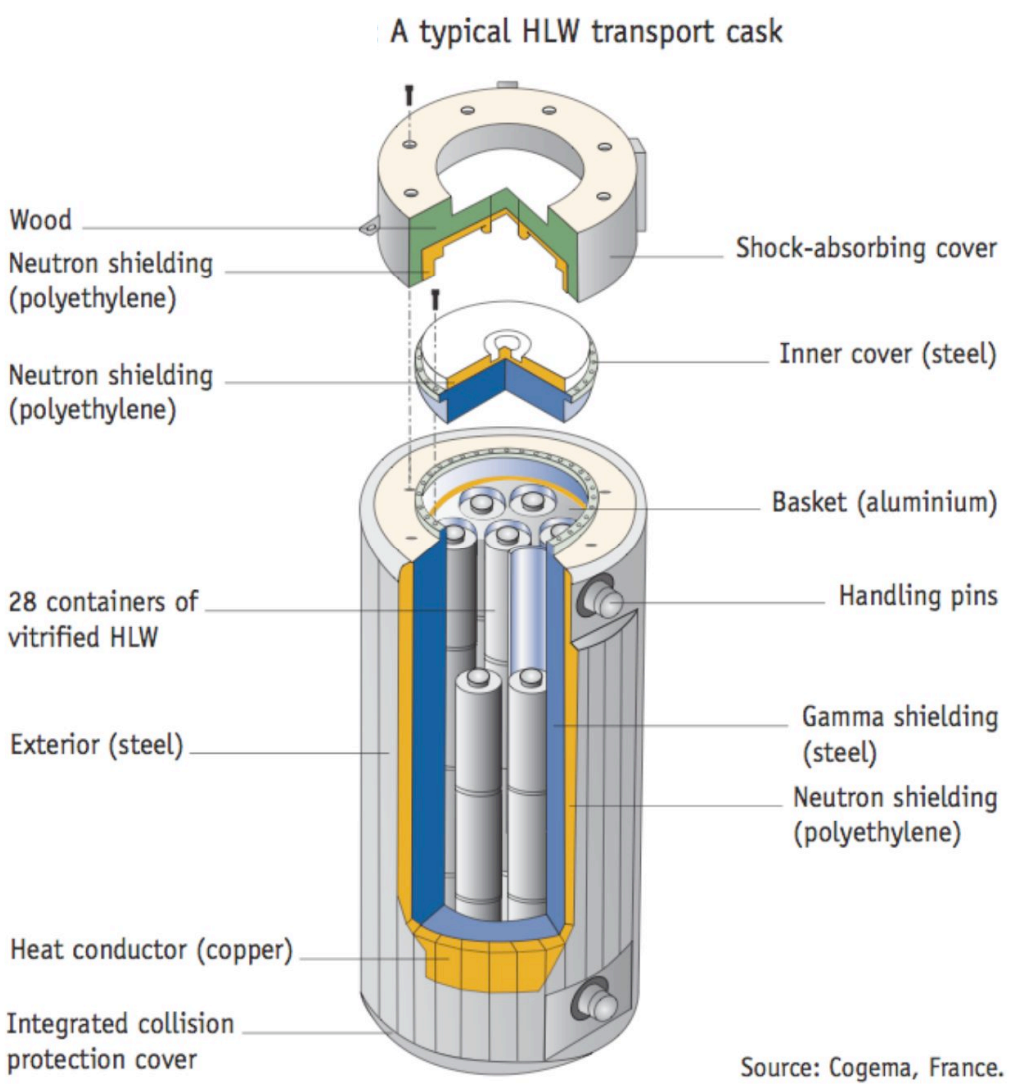
Condizionamento

Vetrificazione



Confinamento

Incapsulamento - Dual purpose Cask



Tipologie di smaltimento

Deposito Superficiale

- ✓ L'insieme sinergico delle matrici di condizionamento, delle barriere artificiali (opere ingegneristiche) e naturali (formazioni geologiche) mantiene confinata la radioattività. Le barriere devono mantenersi efficienti per tutto il tempo necessario al decadimento radioattivo.

- ✓ Il deposito Superficiale o sub superficiale è costituito da "sole" barriere artificiali (opere ingegneristiche), idonee a mantenere confinata la radioattività per un periodo relativamente "breve" (tipicamente inferiore a 1000 anni), comunque sufficiente al decadimento radioattivo.

Tipologie di smaltimento

Deposito Geologico

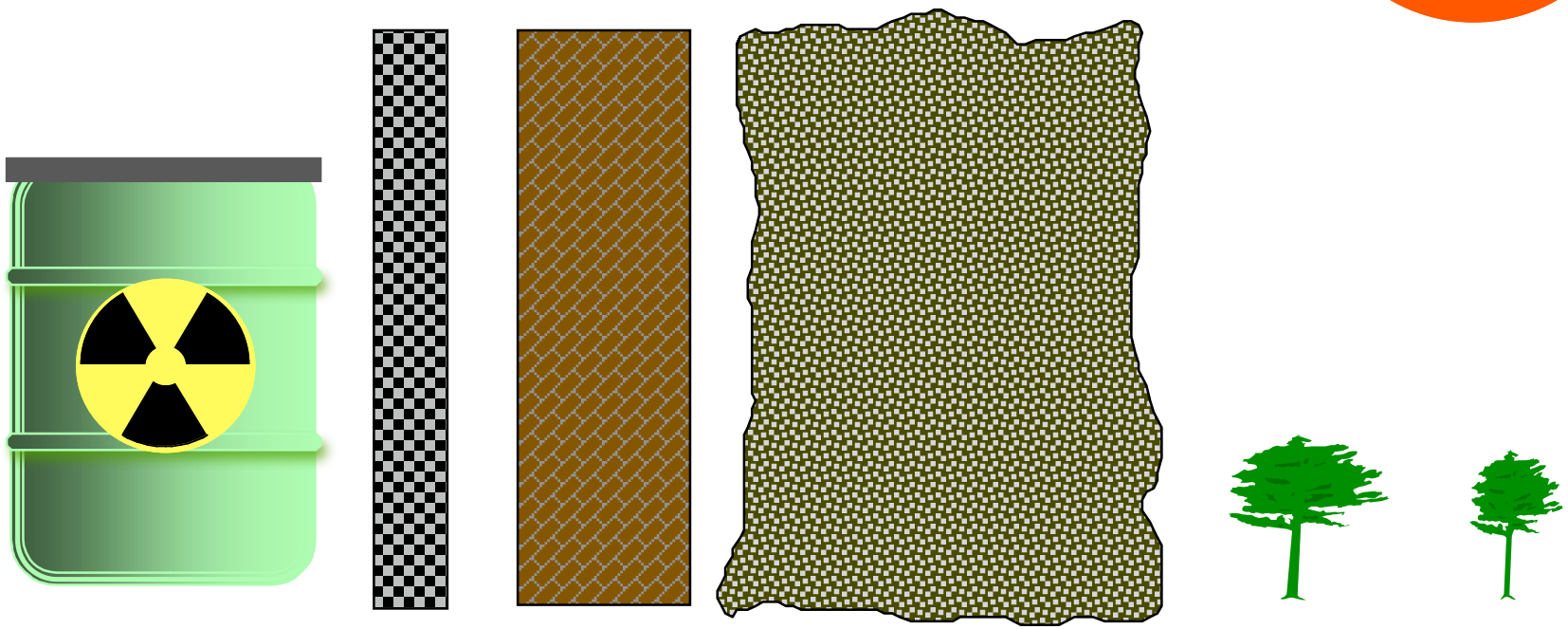
- ✓ Il deposito geologico è costituito da barriere artificiali (opere ingegneristiche) e barriere naturali stabili (formazioni saline, argillose, granitiche, etc.), idonee a mantenere confinata la radioattività per un periodo relativamente "lungo" (superiore a diverse centinaia di migliaia di anni), sufficiente al decadimento radioattivo. Le barriere artificiali, in tale tipologia di smaltimento devono comunque garantire il confinamento della radioattività nel periodo iniziale e fino a quando le penetrazioni nella formazione geologica non si sono riformate.

- ✓ Per alcune particolari classi di rifiuti (es: grafite radioattiva) alla formazione geologica impegnata può essere richiesto un minor grado confinamento e di durata (deposito intermedio), comunque sufficiente a mantenere confinata la radioattività fino al suo decadimento.

Sistemi Multibarriera

Tempo di decadimento

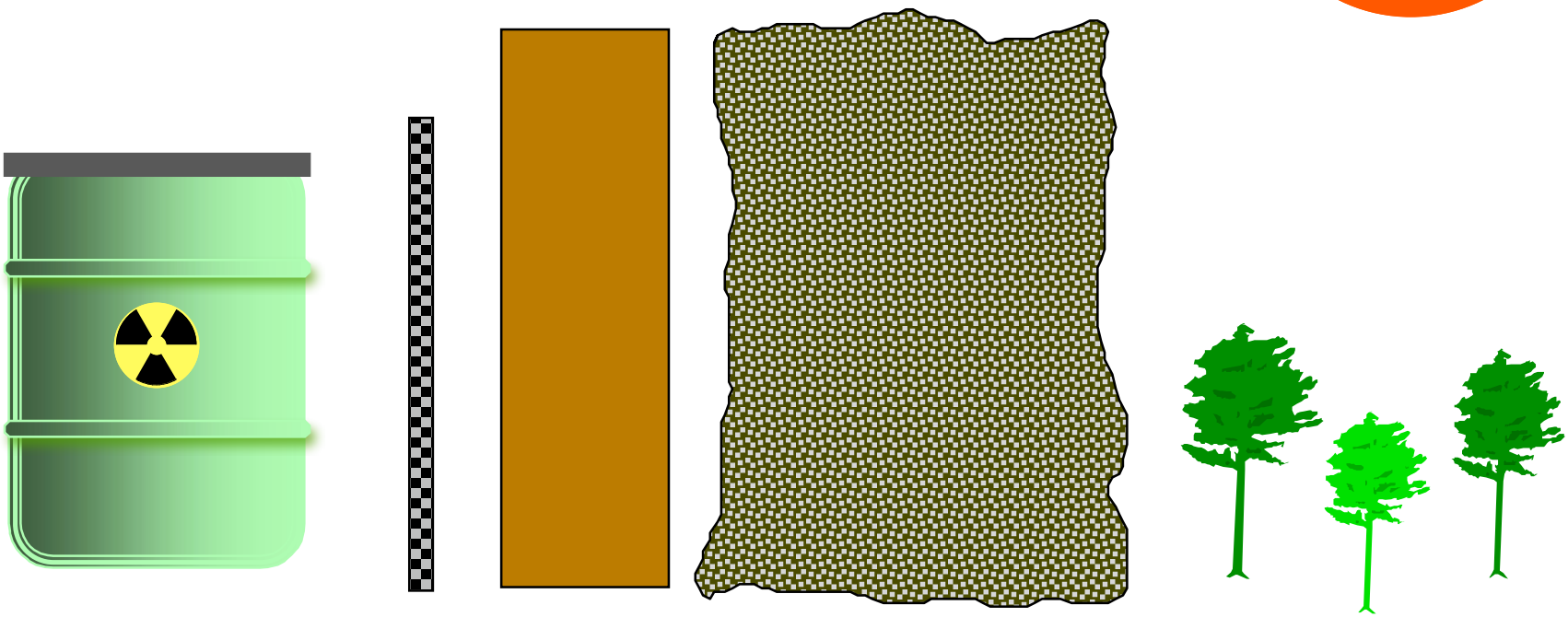
Il deposito di smaltimento finale dovrà essere composto da una serie di barriere (artificiali e/o naturali) coerentemente con la radioattività da confinare



Sistemi Multibarriera

Tempo di decadimento

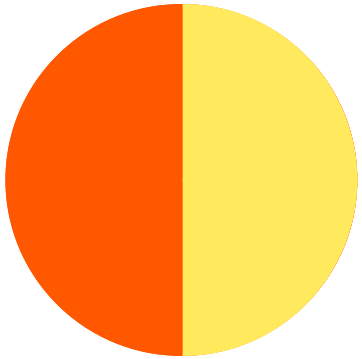
Nel tempo, le barriere diventeranno sempre meno efficienti …..

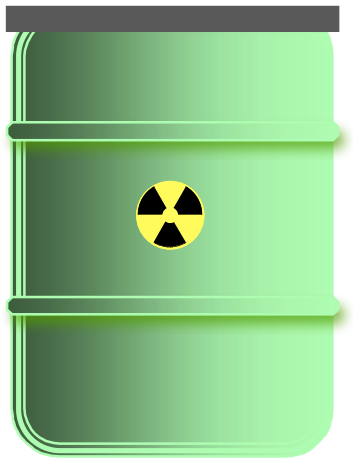


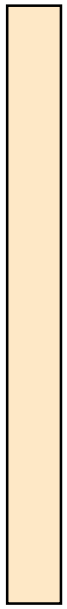
Sistemi Multibarriera

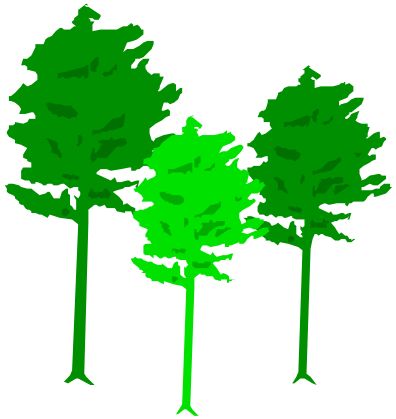
Tempo di decadimento

…ma, al tempo stesso, il decadimento radioattivo ridurrà le necessità di confinamento….





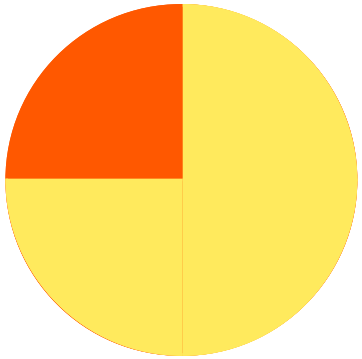


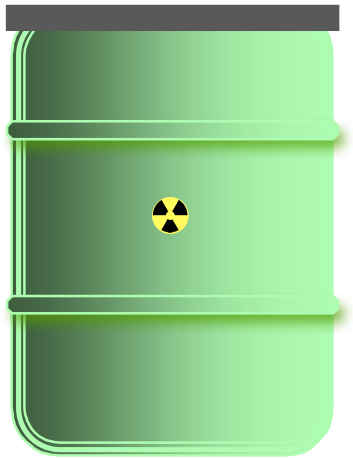


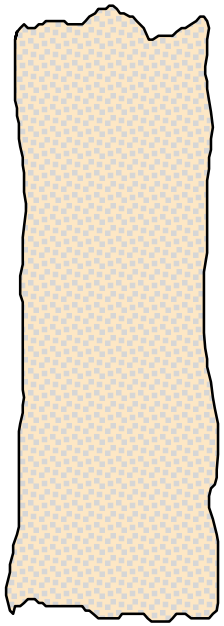
Sistemi Multibarriera

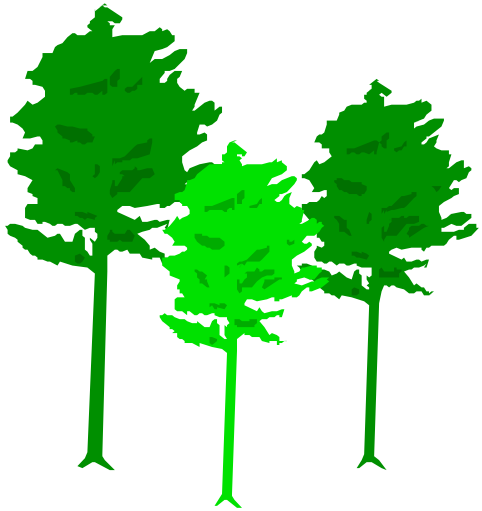
Tempo di decadimento

…fino a quando il livello di radioattività dei rifiuti …





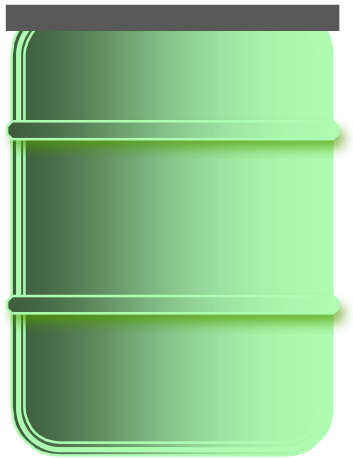


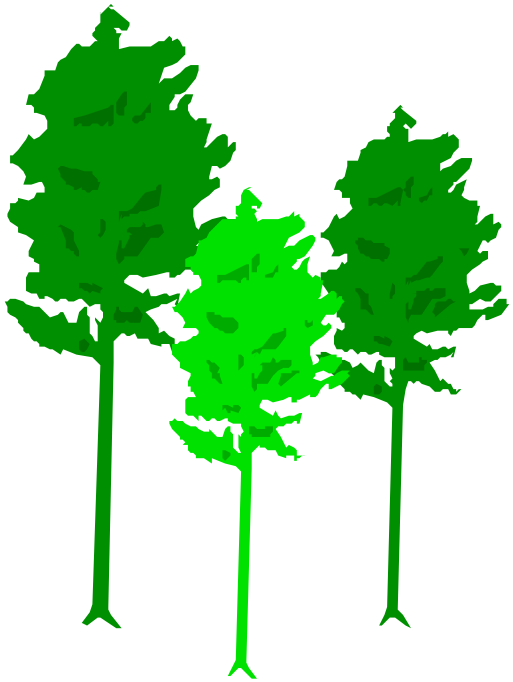


Sistemi Multibarriera

Tempo di decadimento

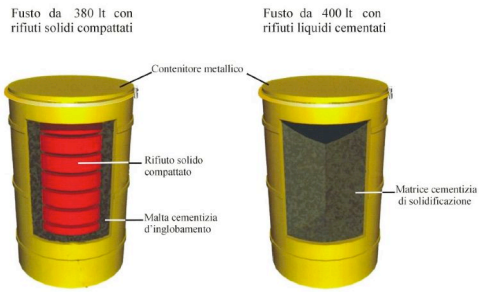
… che entrano in contatto con la biosfera sarà ad un livello comparabile con quello naturale.





Smaltimento superficiale

Rifiuti di II Categoria

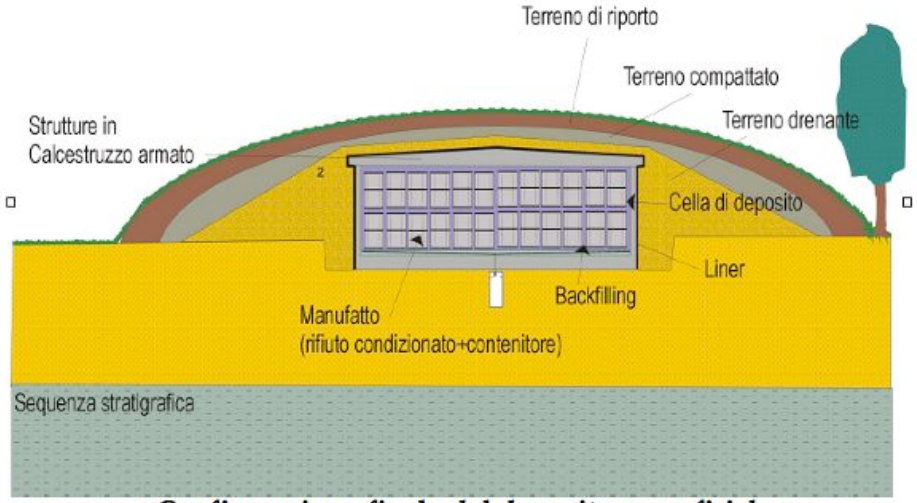


Condizionamento

Caratterizzazione e inventario

Modulo di isolamento

Cella di smaltimento



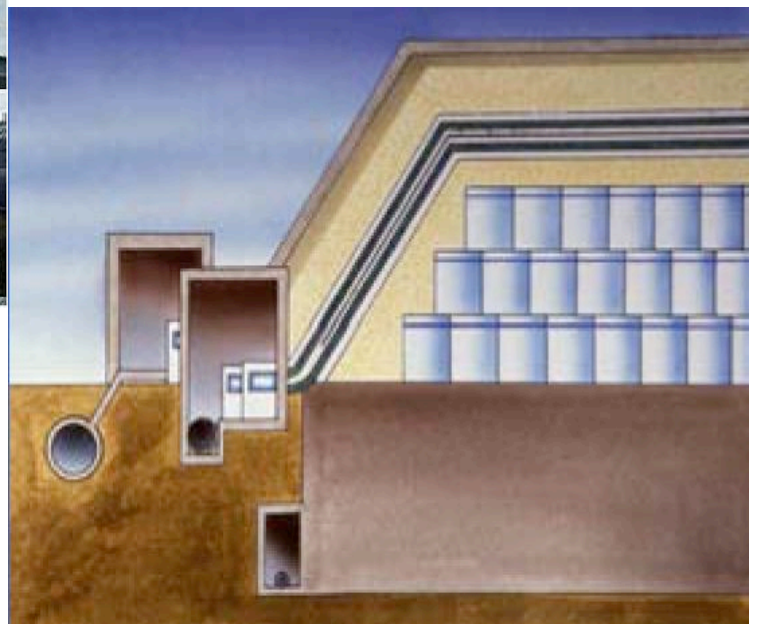
Configurazione finale del deposito superficiale

Smaltimento superficiale

Esempi di realizzazione - Francia

Sito di smaltimento superficiale di La Manche (France) Capacità: 500.000 m^3 (chiuso)

Schema barriere e drenaggi



Smaltimento superficiale

Esempi di realizzazione - Francia

Sito di smaltimento superficiale di Aube (France)
Capacità: 1.000.000 m^3
(in esercizio)

Smaltimento superficiale

Esempi di realizzazione - Regno Unito

Sito di smaltimento superficiale di Drigg (UK)
Capacità: 1.000.000 m^3
(in esercizio)

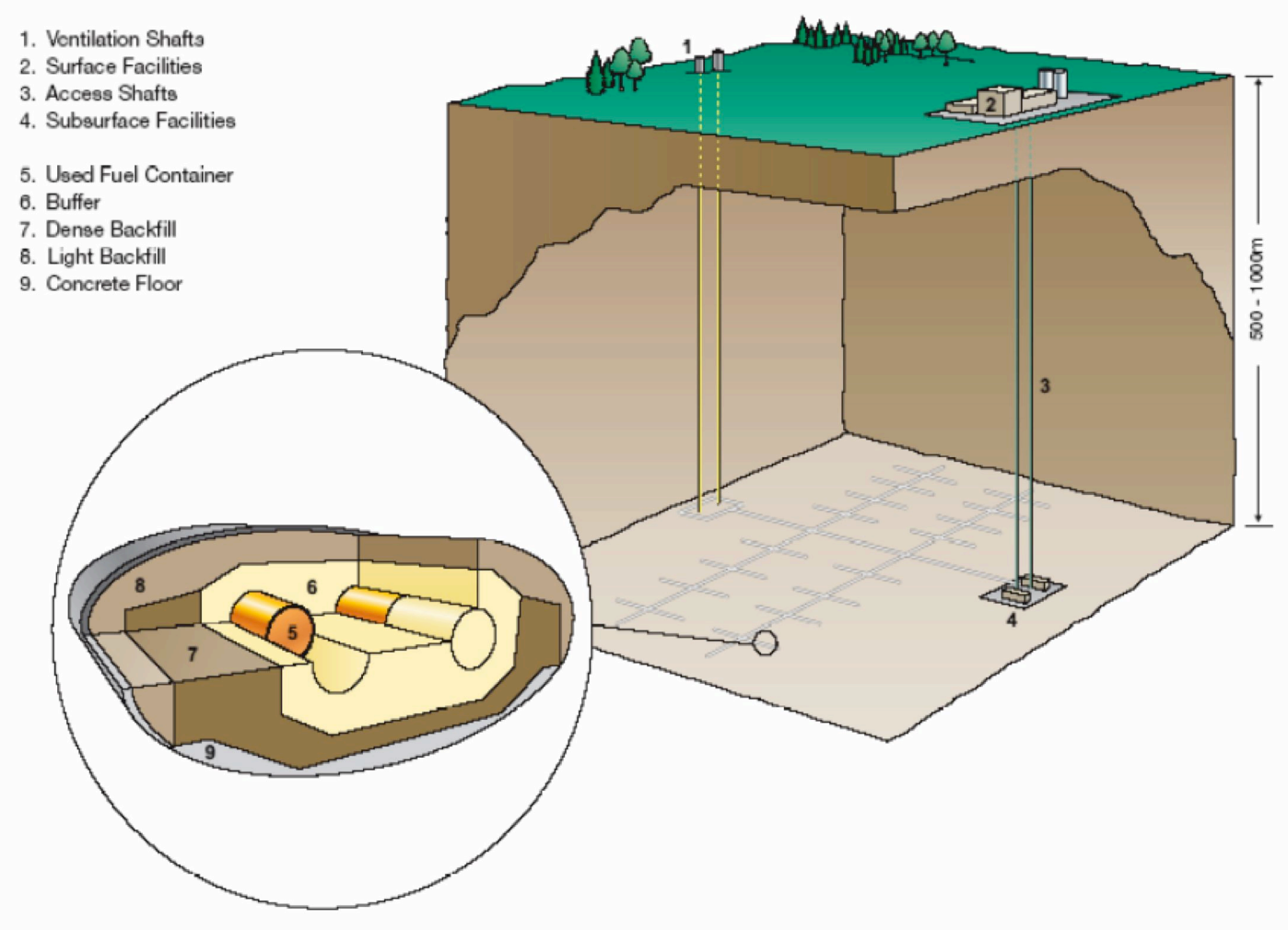
Smaltimento superficiale

Esempi di realizzazione - Spagna

Sito di smaltimento superficiale di El Cabril (Spain)
Capacità: 100.000 m^3
(in esercizio)

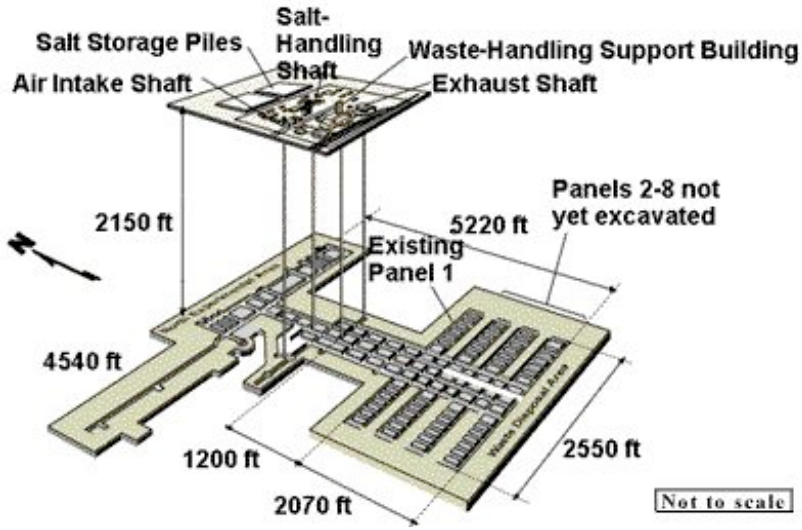
Smaltimento geologico

Rifiuti di III Categoria - concetto di deposito geologico

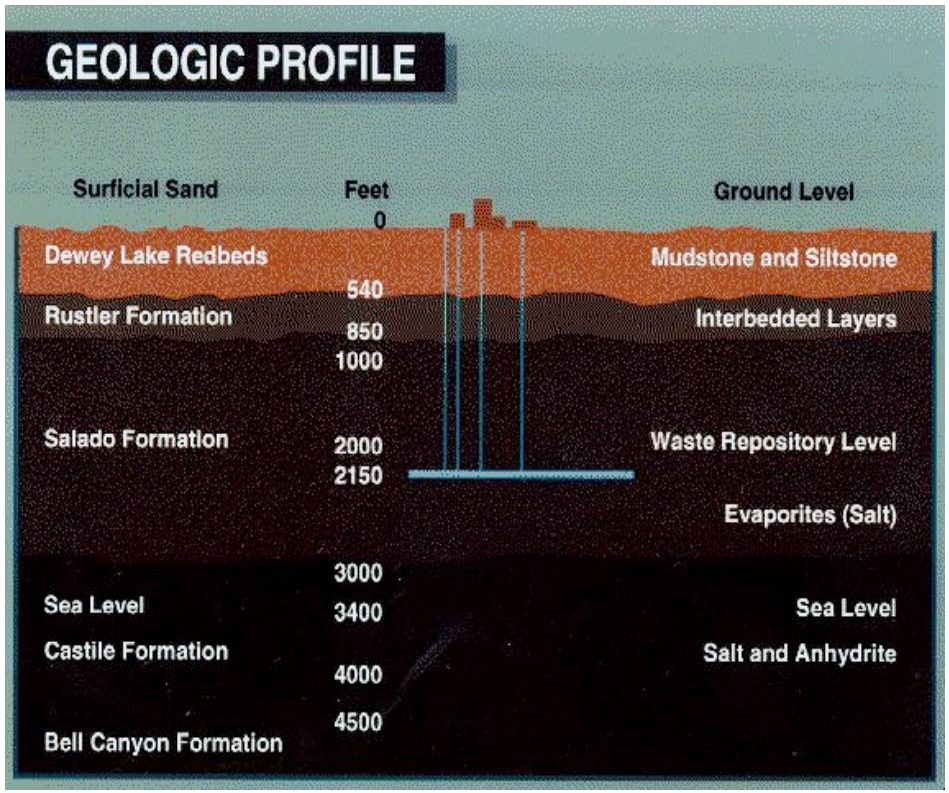


Smaltimento geologico

Rifiuti di III Categoria - Esempio di realizzazione



WIPP - Waste Isolation Pilot Plant (USA, Carlsbad, New Mexico)



Necessità per lo smaltimento dei rifiuti radioattivi

Il ruolo delle Istituzioni, Autorità, Enti Esperti, Industrie ed Operatori

- ✓ Rimuovere le paure e gli stati d'ansia nella popolazione, attraverso una informazione chiara e trasparente, a più livelli e con interlocutori "credibili"
- ✓ Dimostrare che lo smaltimento dei rifiuti radioattivi è una condizione necessaria per poter continuare l'uso della radioattività nelle diagnosi e cure mediche e rende possibile il decommissioning degli impianti obsoleti con minori costi, in tempi più brevi e con più elevato livello di sicurezza
- ✓ Creare un sistema di collaborazione, con le competenze migliori e le comunità locali e dimostrare che il processo di smaltimento e di custodia dei materiali nucleari possono essere effettuati nel rispetto dell'ambiente, con i potenziali rischi sotto controllo ed in assenza di situazioni di emergenza e con effetti positivi sull'economia locale
- ✓ Trovare, attraverso il dialogo con le comunità locali, le condizioni migliori per entrambe le parti e le "giuste compensazioni" per l'uso del territorio ed i vincoli posti

Un caso di successo

Korea

L'affluenza alle urne è stata notevole (circa il 60% in media) ed i cittadini hanno risposto ad un quesito che semplicemente chiedeva loro se volevano il deposito permanente dei rifiuti nucleari. La risposta è stata positiva con l' 84.4% a Gunsan, il 79.3% a Yeongdeok, il 67.5% a Pohang, ma la prescelta è stata Gyeongju in ragione di un 89.5% di consensi con una affluenza alle urne del 70.8%.
I giornali riportano la foto del Sindaco di Gyeongju che viene portato in trionfo su un auto per le strade della città stringendo le mani di cittadini sorridenti.

Le altre città saranno di nuovo tenute in considerazione per i prossimi depositi.

scorso agosto si erano proposte come sito per il deposito, hanno infatti votato in un referendum per l'accettazione del deposito nucleare, dimostrando direttamente la volontà di ricevere le scorie e superando di slancio le difficoltà di dialogo che dal 1986 il Governo incontrava con i movimenti ambientalisti locali, evidentemente non rappresentativi della volontà popolare.

Un caso di successo

MESSAGGIO

Mittente: Ambasciata d'Italia a Seoul

Numero Protocollo: 1691
Data: 08.11.2005
Posizione: L

Firma e funzione: *Francesco Rausi, Ambasciatore*

"L'ingegnere deve parlare con la gente e non al posto della gente"

Grazie per l'attenzione