

Comitato
per una Civiltà dell'Amore

Dalla conversione nucleare
un metodo per le sfide ambientali

Ing. Massimo Sepielli
massimo.sepielli@enea.it

DAL BANDO DELLE ATOMICHE A PACE NUCLEARE E SFIDE AMBIENTALI - L'ITALIA IN CONCRETO CHE FA' ADESSO?
SACRO CONVENTO D'ASSISI 27 OTTOBRE 2019

Curriculum Vitae

- Perito nucleare (1977)
- Dottore in Ingegneria nucleare (1983)
- Abilitato (1984)
- Iscrizione all'Ordine (1984)
- Specializzato Sicurezza impianti nucleari e radioprotezione (1987)
- Membro Odl di Commissione Esami di Stato

- ENEA (1983)
- Dipartimento Reattori termici
- Dipartimento Energia
- Calcolo e modellistica
- Grande Servizio Paese 2 – RAD
- Dipartimento Fusione e Presidio Nucleare
- Direttore di Ricerca (2010) UT Fissione Tecnologie e Gestione Materiale nucleare
- Esercente reattori Triga e Tapiro e DdL

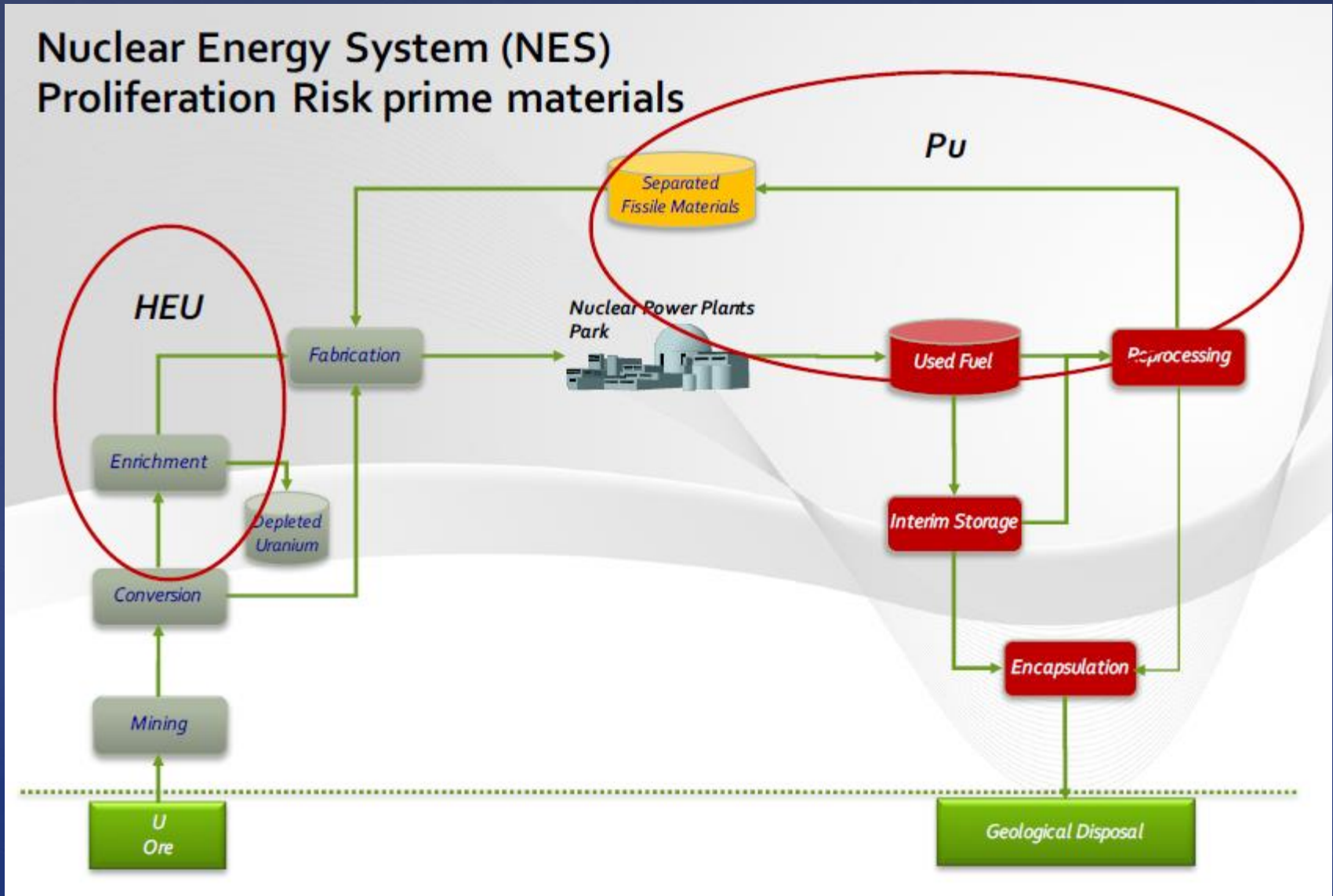
- Delegato Italiano GB SNETP (CE-Euratom)
- Presidente SC1 UNICEN
- Italian Officer NEA
- Commissione I&C IAEA
- Esperto nucleare Comitato MiSE D.U.



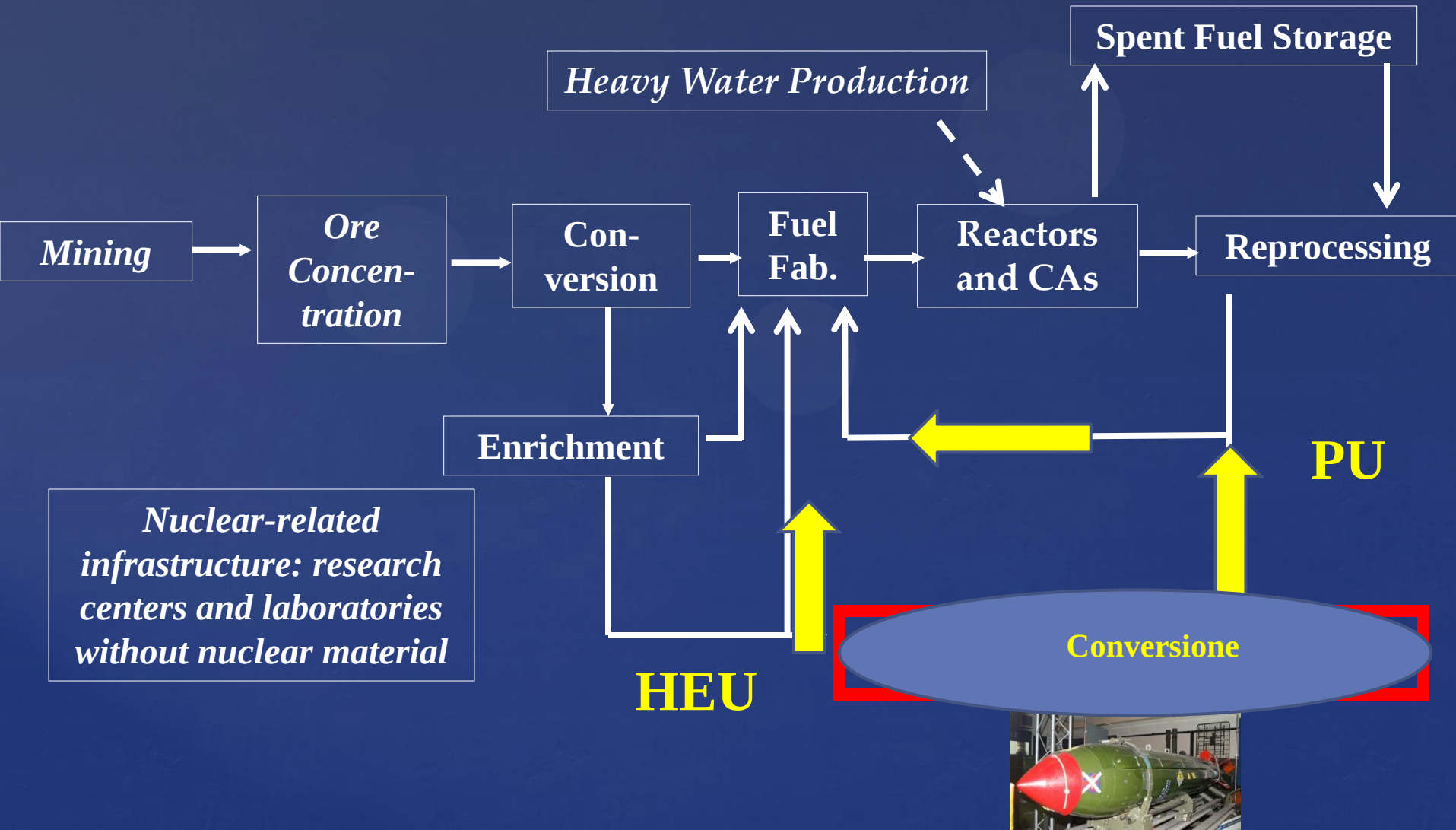
Conversione nucleare

- **20000 testate atomiche convertite in combustibile per produrre elettricità**
- **Un pericolo potenziale di morte trasformato in occasione di vita e sviluppo sociale**
- **Un esempio da applicare ad altre 15.000 testate atomiche per ottenere la luce elettrica di 100 grandi città come Milano**
- **Un esempio di utilizzo pacifico, carbon-free, non inquinante e non clima alterante.**

Ciclo combustibile ed interfacce «militari»



Cammino critico to Weapons-Usable Material



La sfida della sostenibilità ambientale

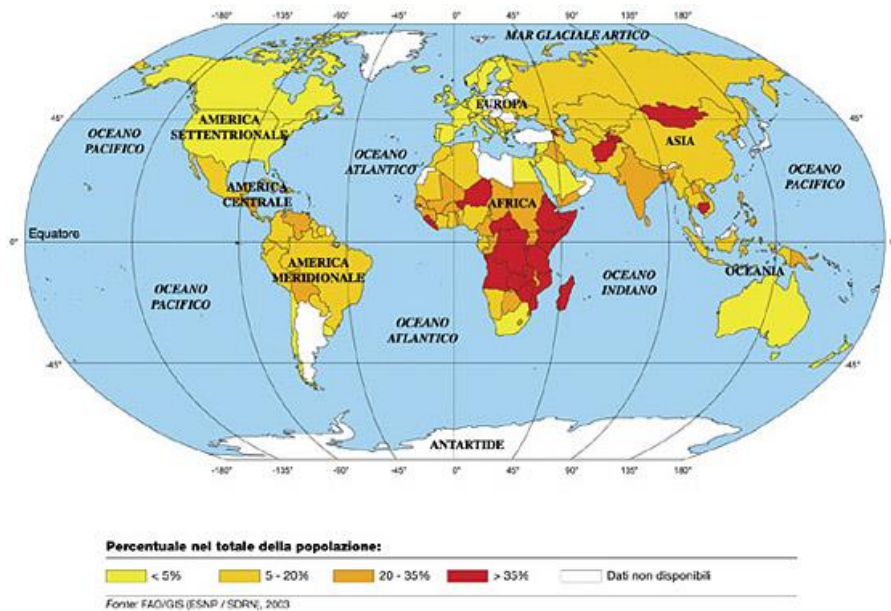
La sostenibilità ambientale è una forma di sviluppo (che comprende lo sviluppo economico, delle città, delle comunità eccetera) che non compromette la possibilità delle **future generazioni** di perdurare nello sviluppo, preservando la qualità e la quantità del patrimonio e delle **riserve naturali** (che sono esauribili, mentre le risorse sono considerabili come inesauribili). L'obiettivo è di mantenere uno sviluppo economico compatibile con l'equità sociale e gli ecosistemi, operante quindi in regime di equilibrio ambientale.

Parametri della sostenibilità ambientale

- Qualità dell'aria
- Qualità dell'acqua
- Qualità del suolo
- Controllo / mitigazione del clima
- Controllo / mitigazione degli eventi naturali
- Salute della popolazione
- Benessere della popolazione
- Preservazione risorse naturali

Senza rinunciare allo sviluppo

Percentuale di popolazione
che soffre la fame



Sviluppo sì, sviluppo no

Corea del nord vs Corea del sud



Ma senza esagerare



Società con eccesso di benessere

...con uno sviluppo insostenibile



Esempio della Cina fino ad oggi

La sfida ambientale:

LA SOSTENIBILITA'

Impatto generale (foot-print) sull'ambiente delle fonti energetiche



- **Uso materie prime (R/NR)**
- **Uso di fonti di energia**
- **Produzione (scarichi eser.)**
- **Trasporto (en/scarichi)**
- **Rifiuto finale**
- **Impatto sul territorio (orma)**

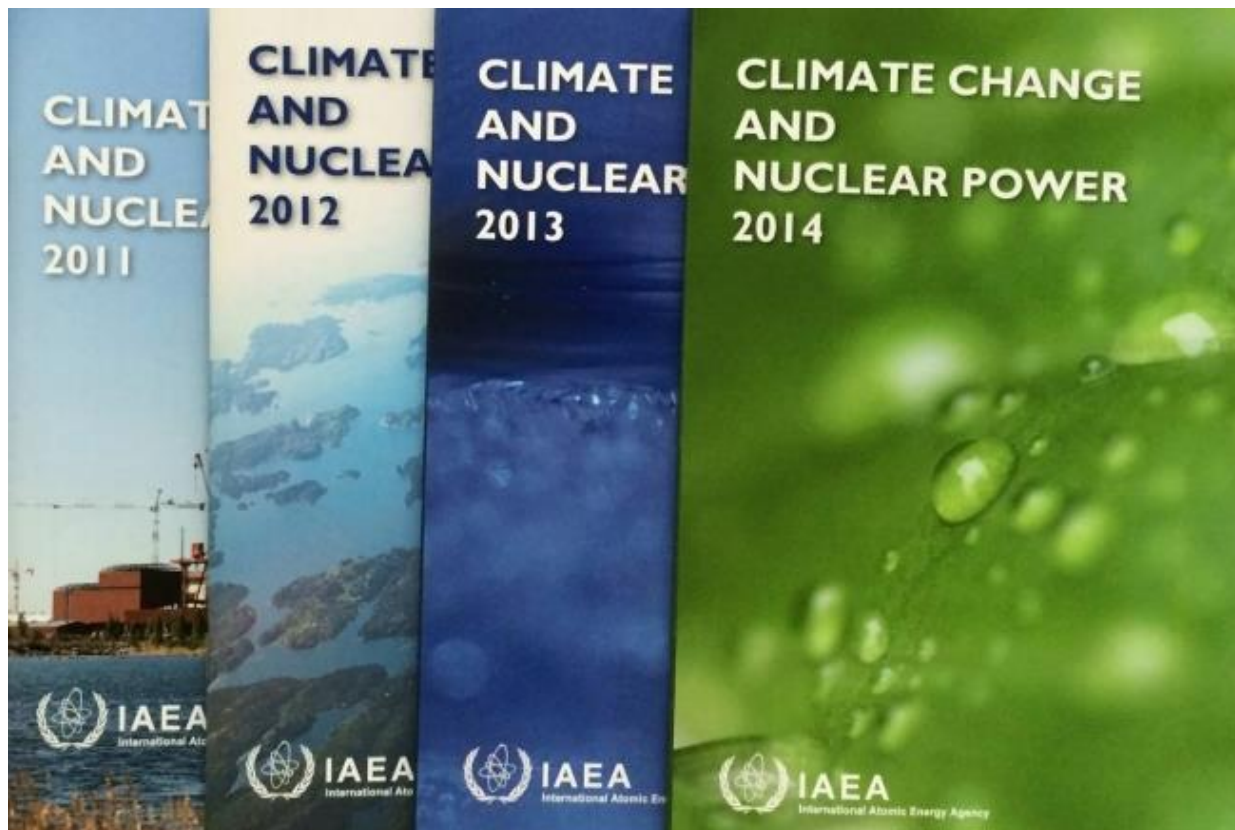


IMPATTO AMBIENTALE



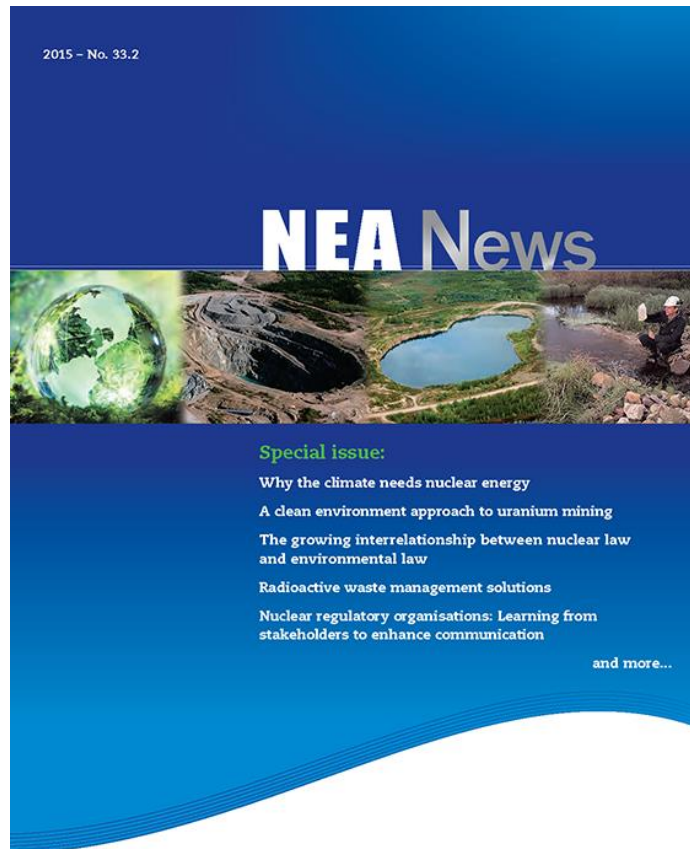
Inquinamento / emissioni di gas serra La posizione dell'ONU - IAEA

Il contributo dell'energia nucleare che rappresenta la maggiore energia decarbonizzata esistente oggi sul pianeta



OCSE- Nuclear Energy Agency

Perché il clima ha bisogno dell'energia nucleare



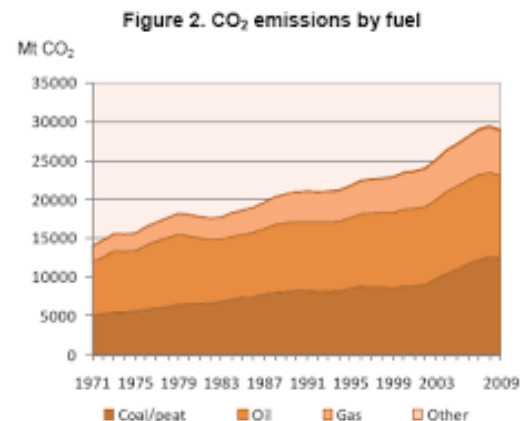
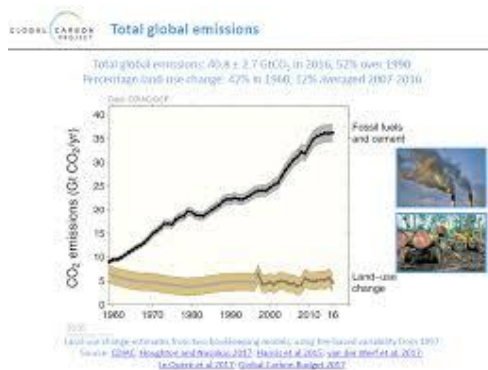
Greta e la policy del suo Paese



Greta Thunberg on nuclear power

"Personally I am against nuclear power, but **according to the IPCC [the United Nations Inter-governmental Panel on Climate Change], it can be a small part of a very big new carbon free energy solution, especially in countries and areas that lack the possibility of a full scale renewable energy supply - - let's leave that debate until we start looking at the full picture.**"

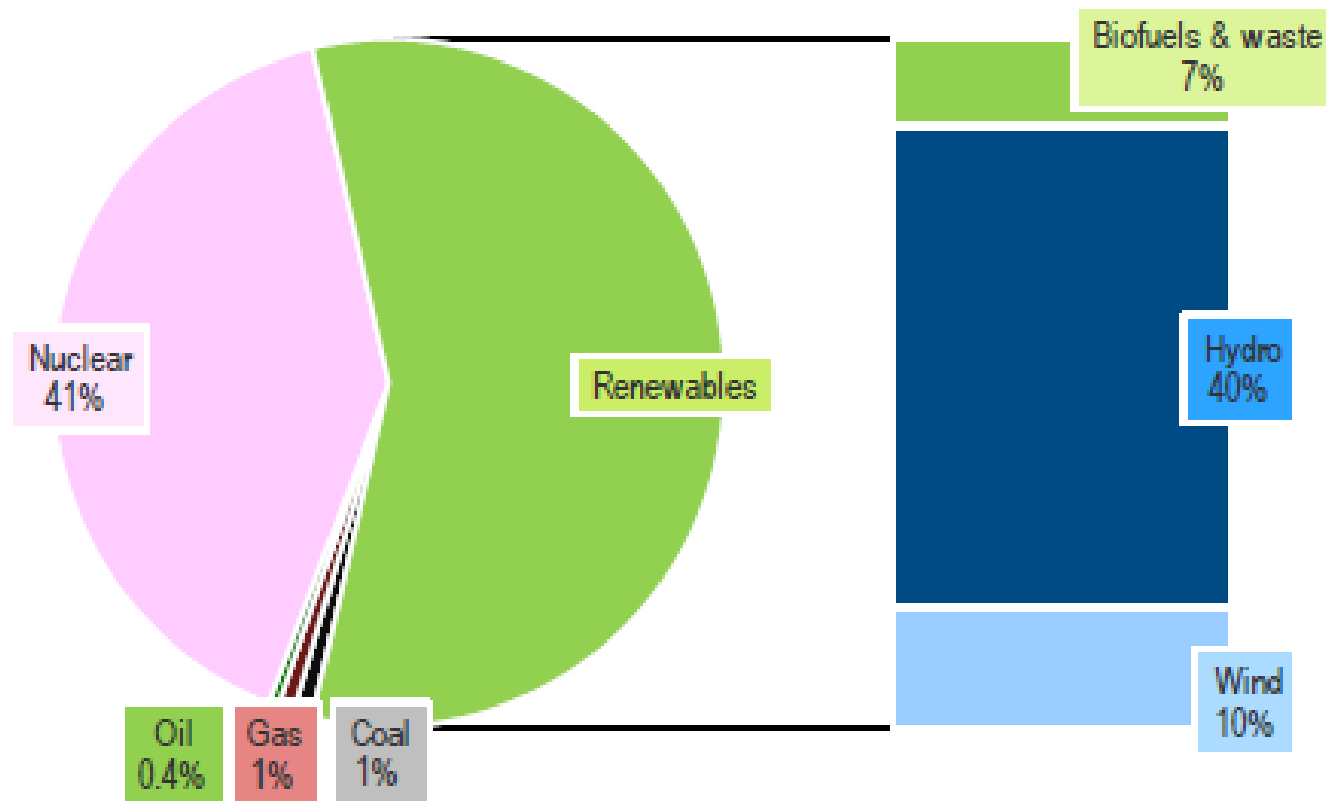
---Greta Thunberg, founder, Youth Climate Strike



Una policy di successo 100% carbon-free: la Svezia di Greta

ELECTRICITY GENERATION: 154.8 TWh

57% renewables (IEA average: 24%)



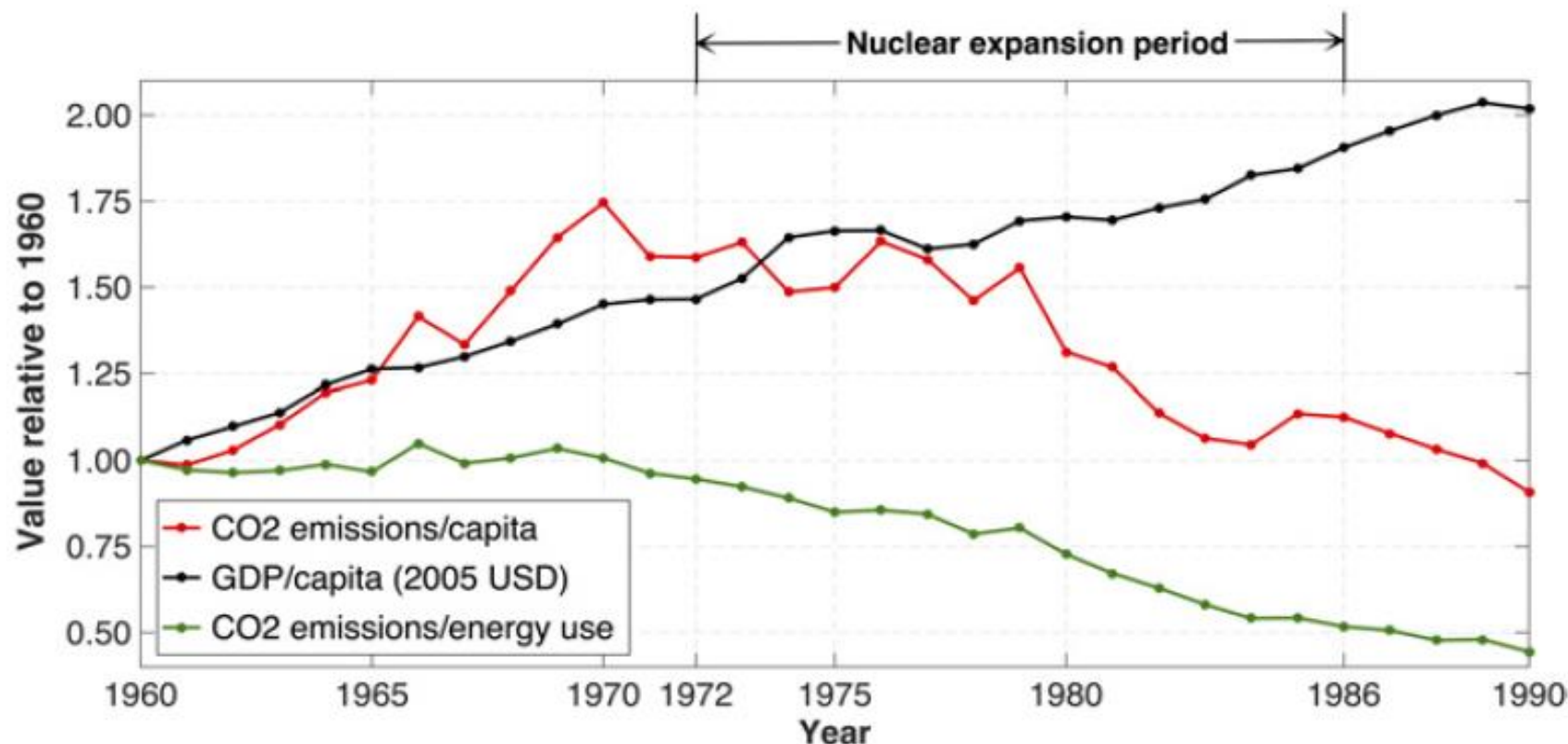
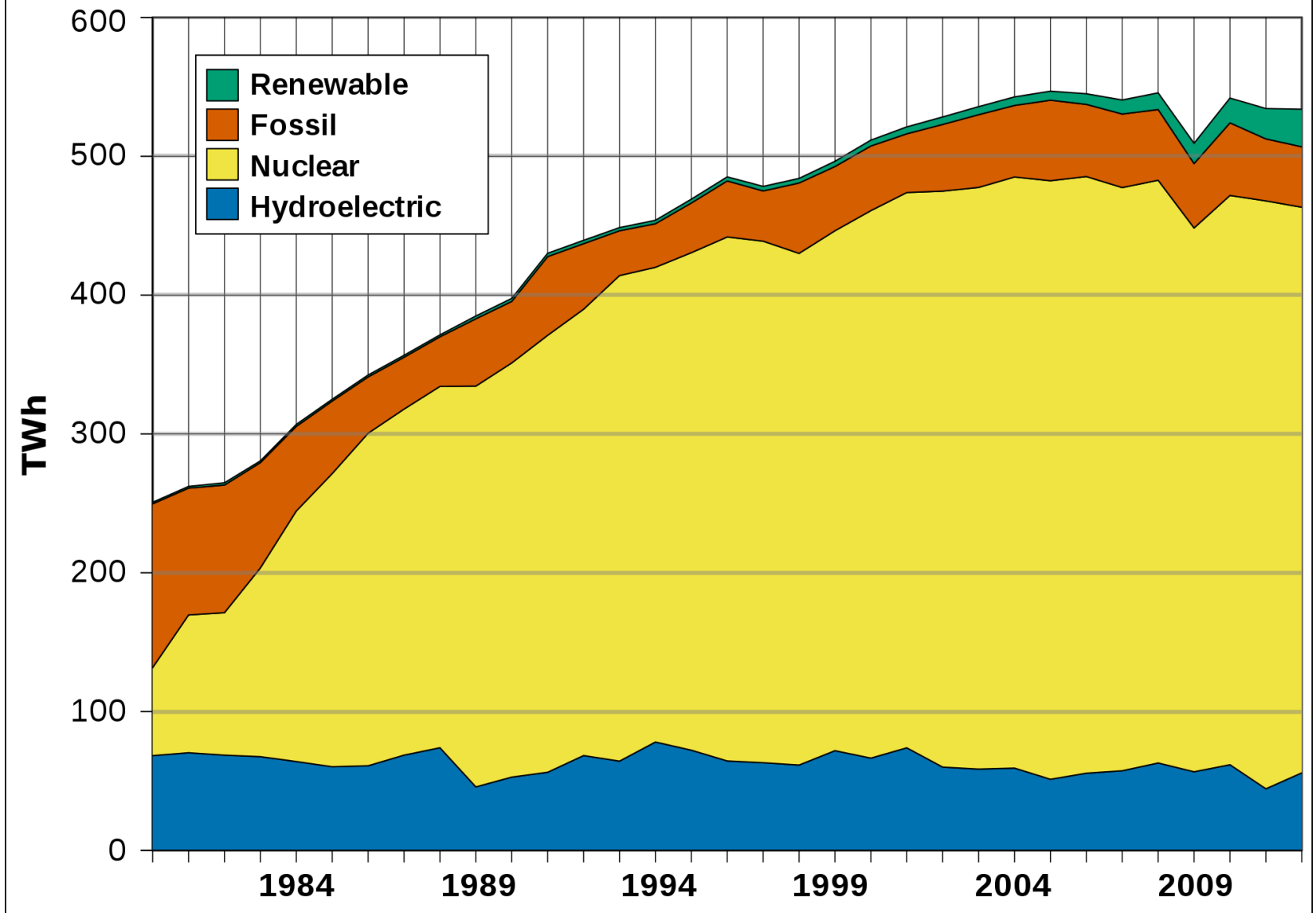


Fig 1. Swedish total CO₂ emissions and GDP per capita 1960–1990, normalized to the level of 1960.

doi:10.1371/journal.pone.0124074.g001

lations [11]. As illustrated in Fig 1, in the pre-nuclear era (1960–1972), the rise in Swedish CO₂ emissions matched and even exceeded the relative increase in economic output. Once commercial nuclear power capacity was brought online, however, starting with the Oskarshamn-1 plant in 1972, emissions started to decline rapidly. By 1986, half of the electrical output of the country came from nuclear power plants, and total CO₂ emissions per capita (from all sources) had been slashed by 75% from the peak level of 1970.

Electricity production in France



Un confronto: Italia vs. Francia

The potential of nuclear power to replace fossil fuels with low carbon electricity is shown by the examples of France and Italy. Neither country has significant fossil fuel resources, yet France is much less dependant on fossil fuels than its neighbour, because of its widespread embrace of nuclear energy. Italy has no nuclear power stations; the ones it had were closed down following a post-Chenobyl Referendum. As a result, Italy is highly reliant on fossil fuels.

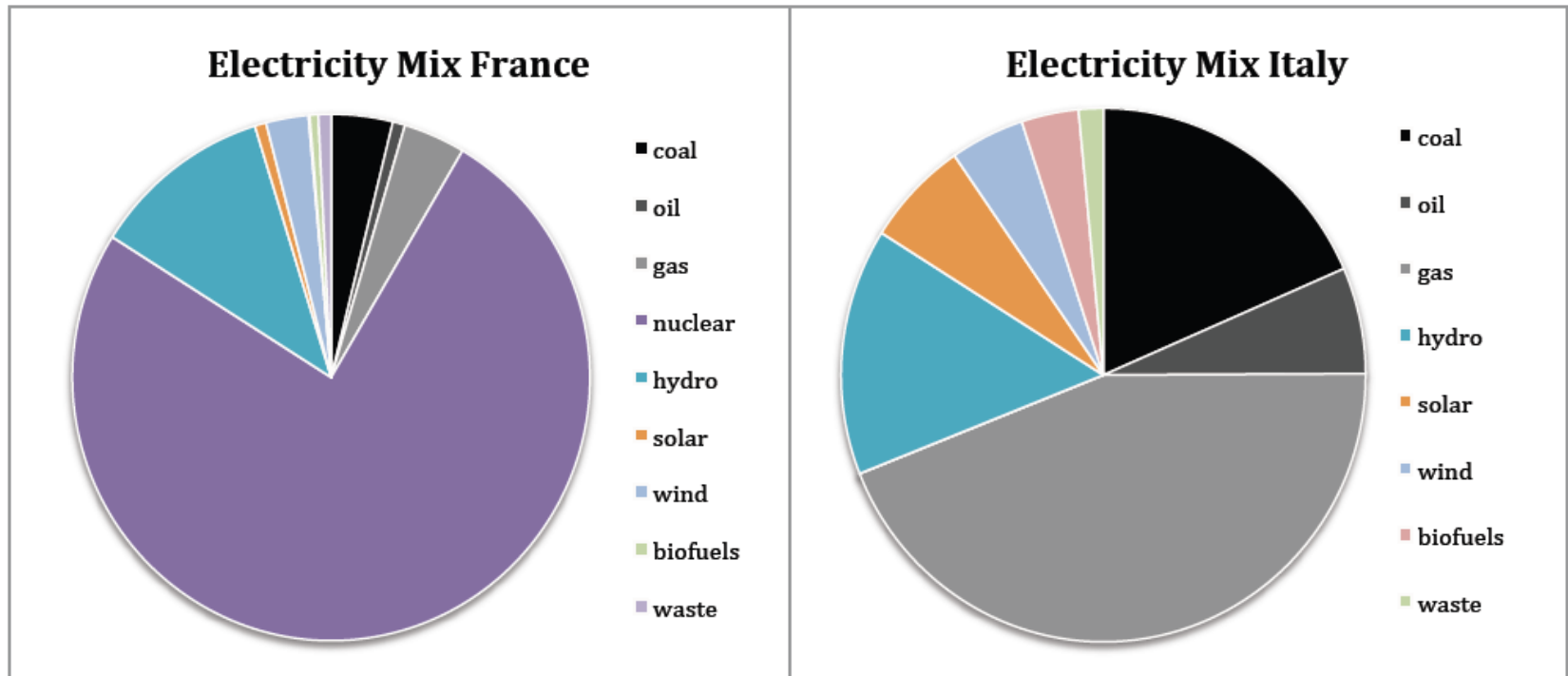


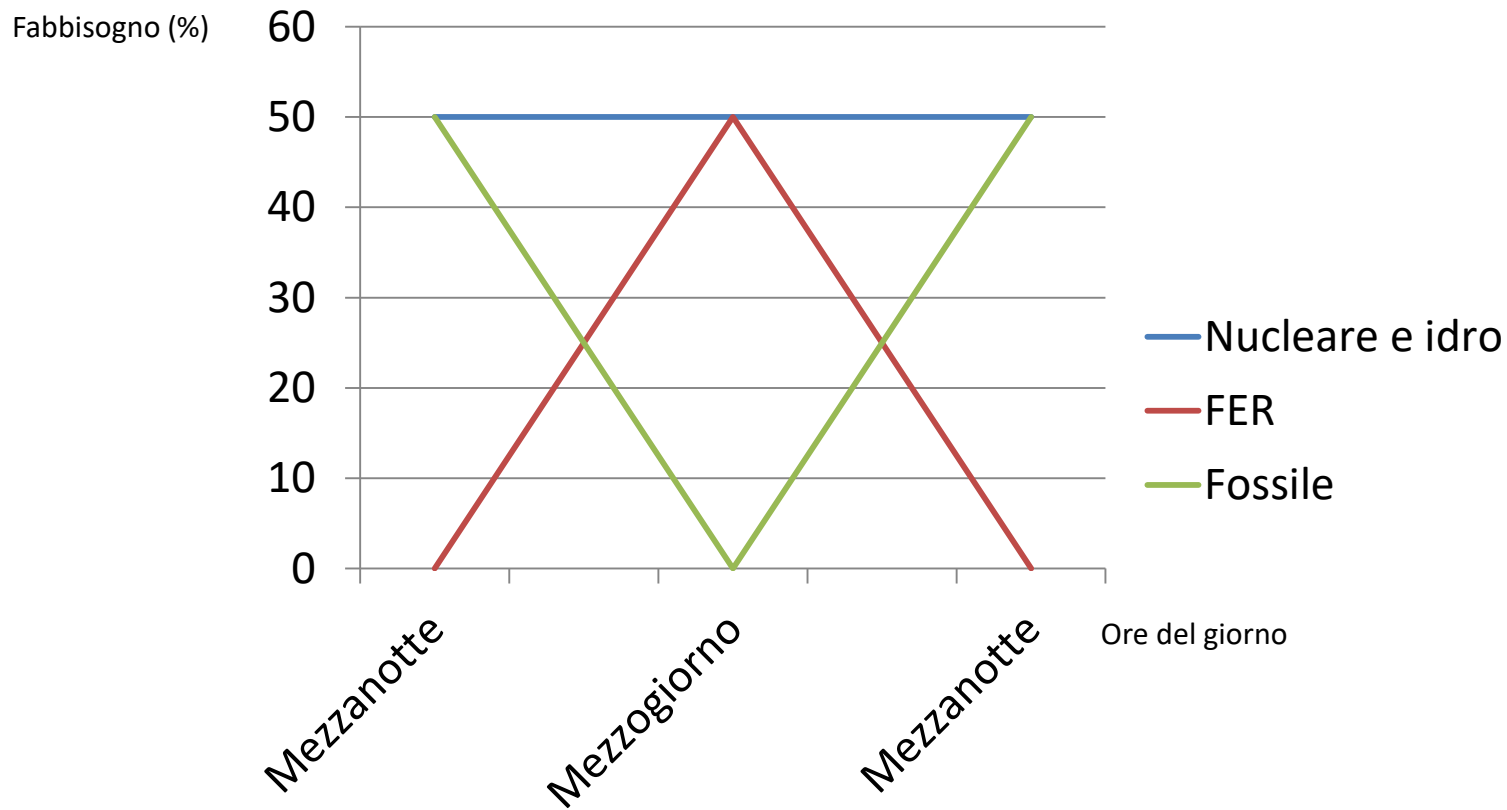
Figure 2: Electricity Mix in France and Italy 2012. Source: IEA

Il caso tedesco: quando la demagogia inguaia

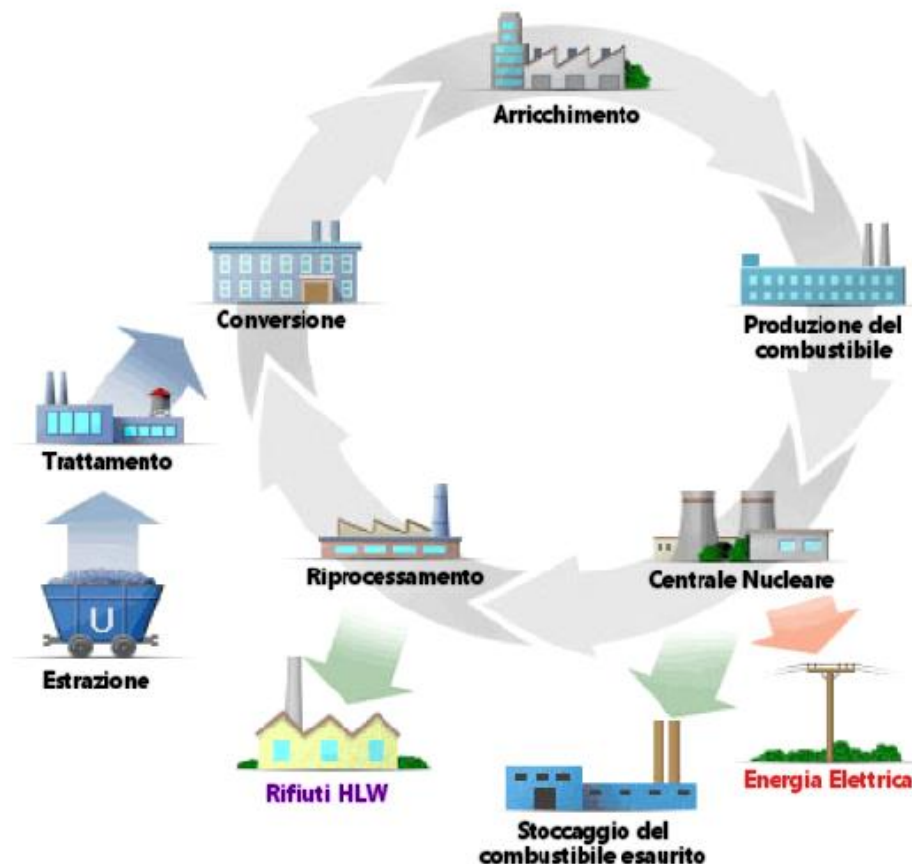


Sta distruggendo i suoi villaggi storici per scavare carbone ed alimentare l'industria pesante in parte strappata all'Italia

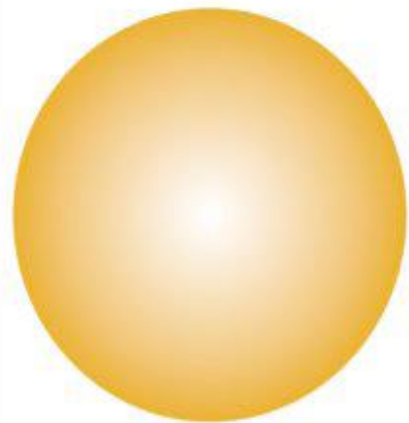
Mix energetico ottimale produzione elettrica



Ciclo del combustibile nucleare e ciclo della produzione dei rifiuti convenzionali: L'economia circolare: da rifiuto a risorsa



Confronto volume rifiuti prodotti in Europa ogni anno



Industrial waste
approx. 1 000 million m³

Rifiuti industriali



Toxic industrial waste
approx. 10 million m³

Rifiuti. ind. tossici



Radioactive waste
50 000 m³

Rifiuti radioattivi



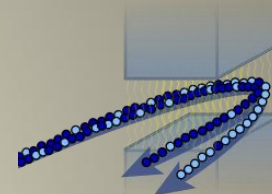
High activity
radioactive waste
500 m³

Rif. rad. di alta attività

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).

Fasi di lavorazione dell'uranio

L'ossido di uranio (U_3O_8), attraverso lo scioglimento in acido nitrico (HNO_3) reagisce dando come prodotto di reazione del nitrato di uranile (green salt) $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2]$. Un trattamento con dell'ammoniaca porta il nitrato a diuranato di ammonio ("YellowCake" nella foto in basso). Attraverso una riduzione con idrogeno, diviene diossido di Uranio (UO_2), poi convertito in tetrafluoro di Uranio (UF_4) e grazie all'ossidazione con del Fluoro, diviene esafluoro di Uranio (UF_6).



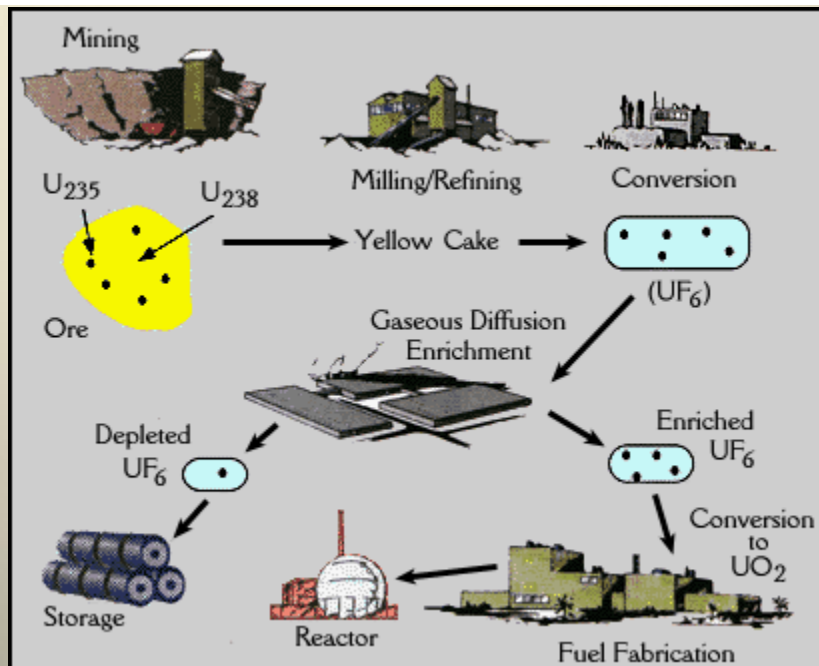
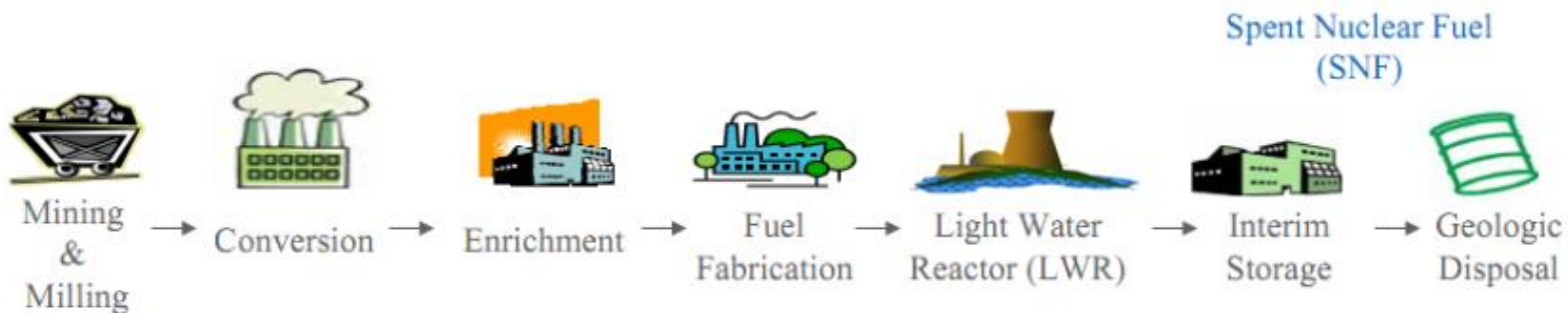
velocità di un gas è inversamente proporzionale alla radice quadrata della massa.



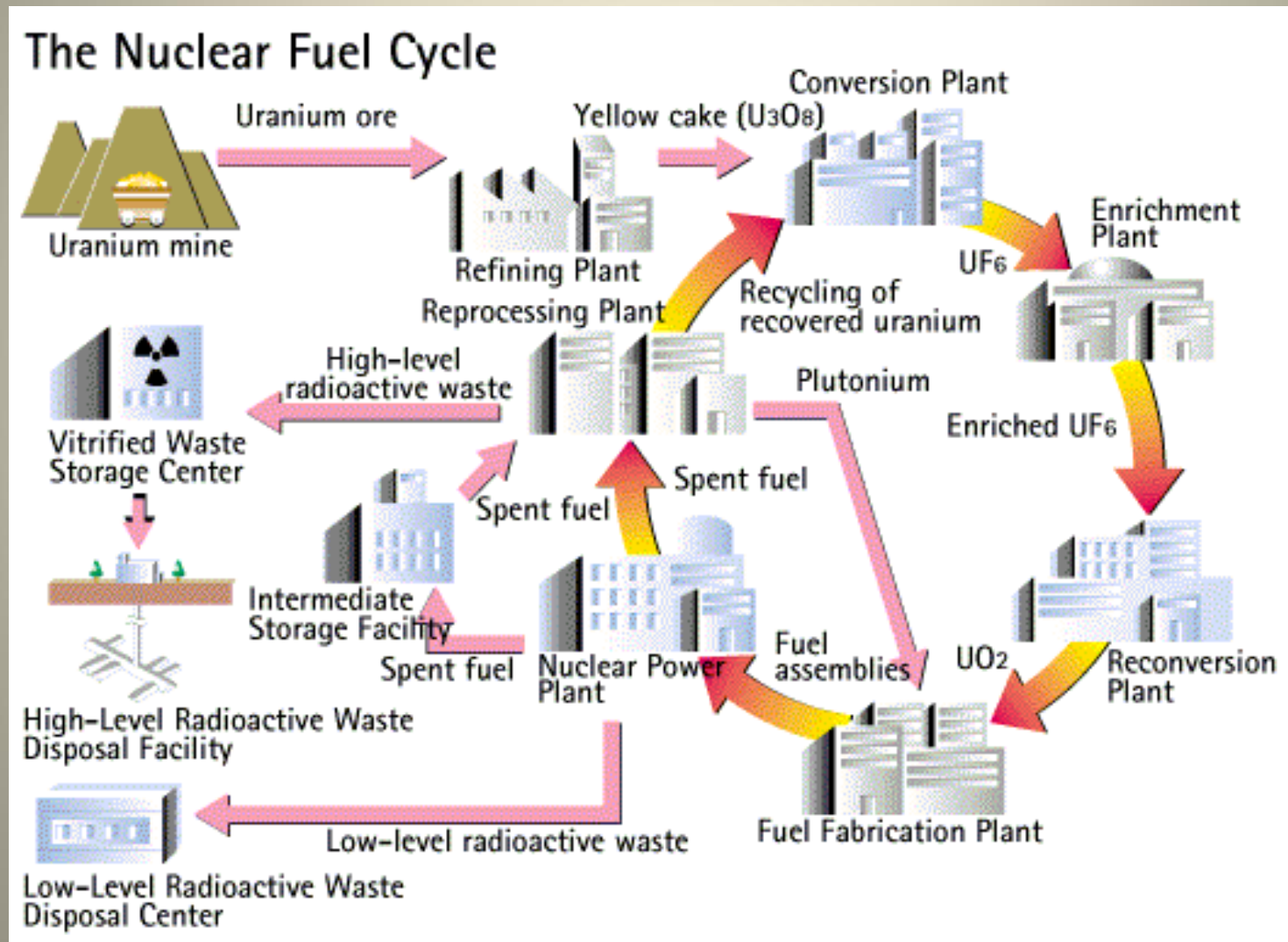
L'esafluoruro che si è realizzato con l' ^{235}U è più leggero di quello che ha reagito con atomi di ^{238}U e quindi, se costretto a passare tra diverse stanze ognuna divisa da delle membrane filtranti, nell'ultima stanza la concentrazione di ^{235}U sarà maggiore che all'inizio. Questo metodo anche se è stato uno dei primi ad essere stato inventato, rimane tra quelli più usati, soprattutto negli Stati Uniti.

Cicli diretti (once-through)

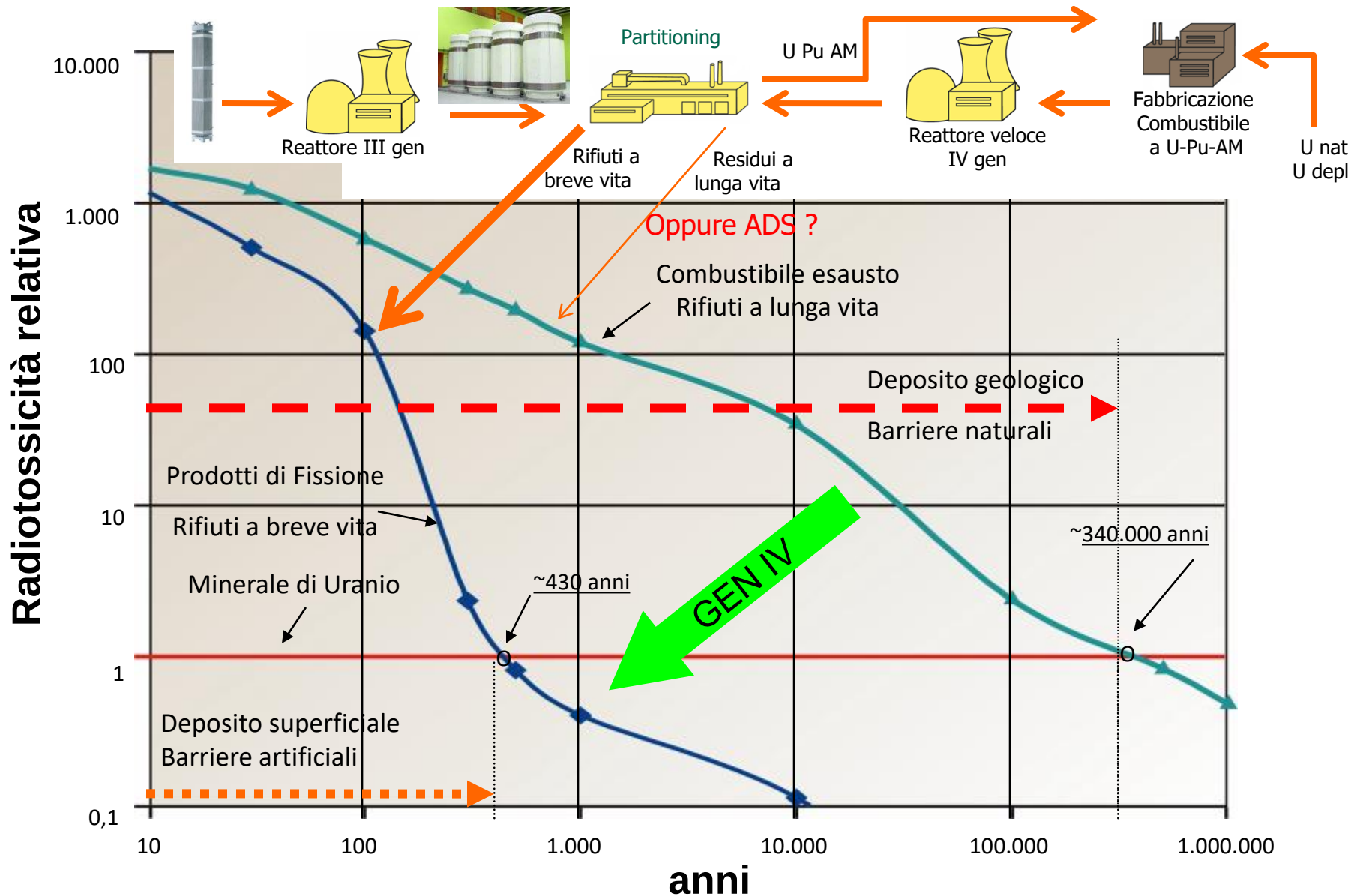
Open (or Once-Through) Nuclear Fuel Cycle



Cicli completo con riprocessamento



Prospettive a lungo termine : la sostenibilità



L'EVOLUZIONE TECNOLOGICA

Generation I

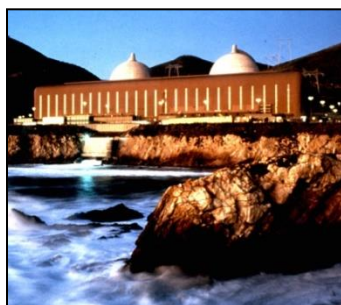
Early Prototype Reactors



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generation II

Commercial Power Reactors



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- VVER/RBMK

Generation III

Advanced LWRs



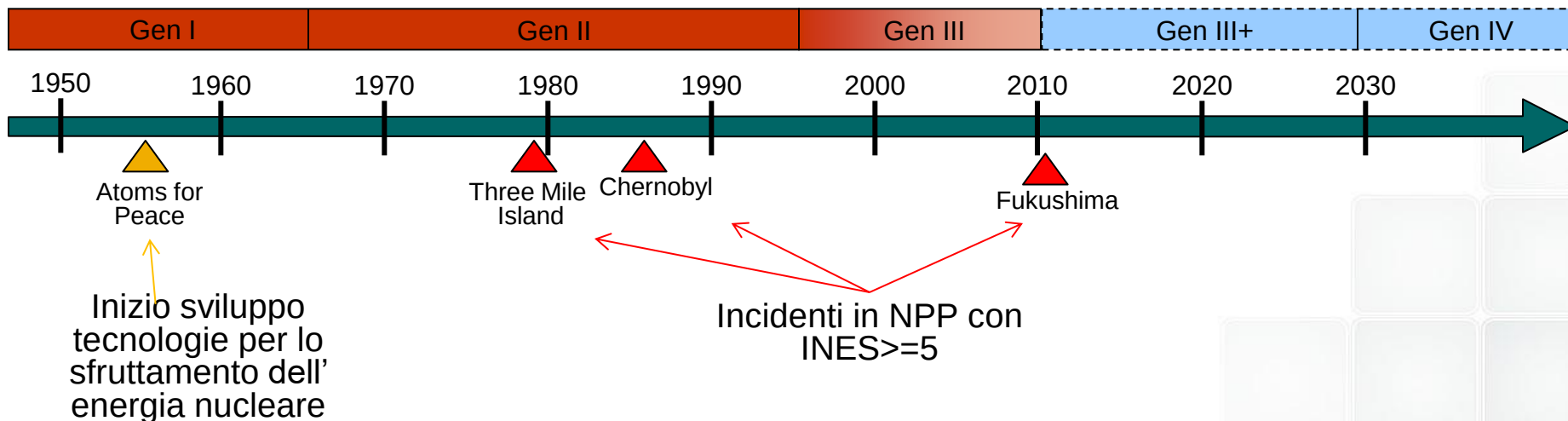
- ABWR
- System 80+
- AP600
- EPR

Near-Term Deployment

Generation III+
Evolutionary designs
offering improved
economics

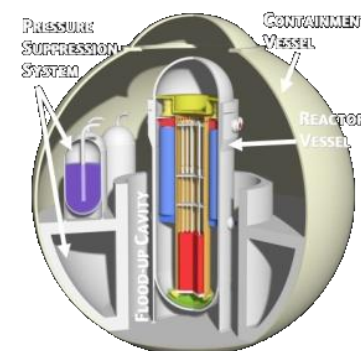
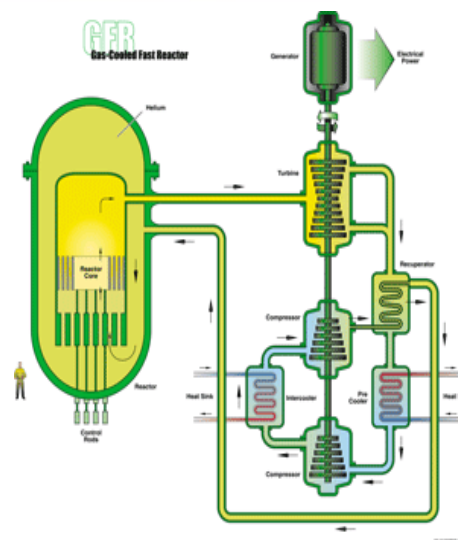
Generation IV

- Highly Economical
- Enhanced Safety
- Minimal Waste
- Proliferation Resistant

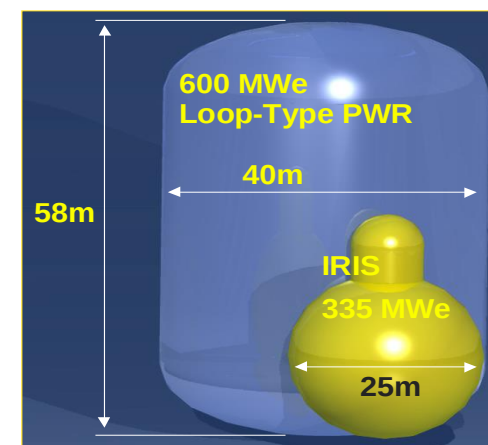


La tecnologia del domani : la gen. IV

Generation IV System	Best Case Deployment Date
SFR	2015
VHTR	2020
GFR	2025
MSR	2025
SCWR	2025
LFR	2025



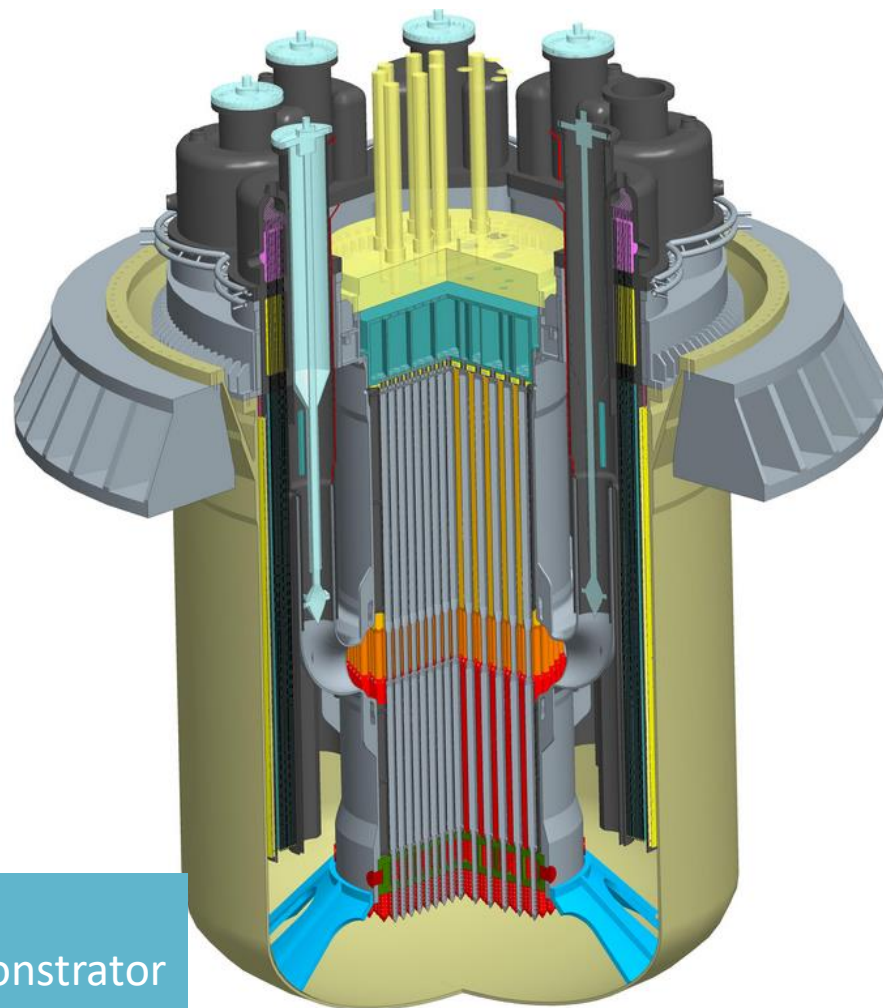
- **Sostenibilità** - Sfruttamento massimo del combustibile nucleare e minimizzazione dei rifiuti
- **Non - proliferazione** - resistenza accumulo di Pu separato, riutilizzo completo del fissile
- **Sicurezza** - a progetto, intrinseca, error proven
- **Economico** - Prezzo competitivo dell'elettricità



ALFRED – Reattore alta sostenibilità Italiano

ENEA, coi fondi AdP 7 FP EC coordina gli sforzi R&D per la tecnologia LFR, principalmente per ALFRED:

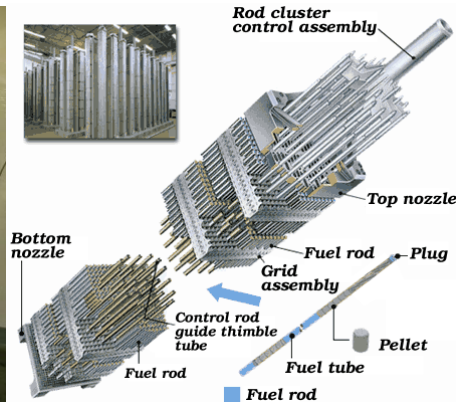
- Partner principali: CIRTEN, FN, UNITV, CSM SpA
- 35 ricercatori, tecnici, personale ENEA coinvolto nel progetto
- 40 deliverables prodotti
- Sinergie FP7 progetto EC:
 - THINS
 - LEADER
 - SEARCH
 - MAXSIMA
 - MATTER
 - GETMAT



ALFRED
LFR Demonstrator
Romania

Origine dei rifiuti radioattivi

Ciclo del combustibile nucleare



Ricerca e Medicina

- Ospedali
- Laboratori analisi
- Industria farmaceutica
- Reattori di ricerca

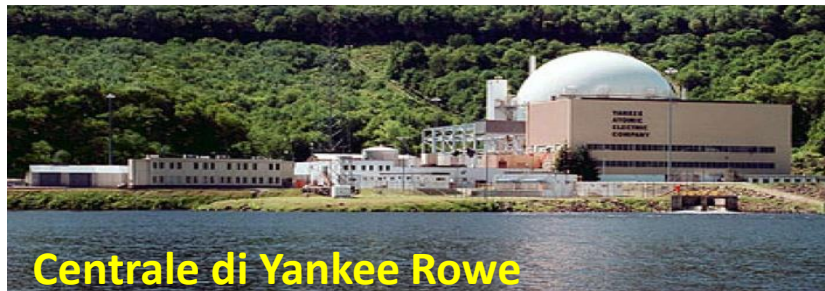


Industria

- Petrolifera
- Fosfati
- Metallurgica
-



Smantellamento impianti



Centrale di Yankee Rowe



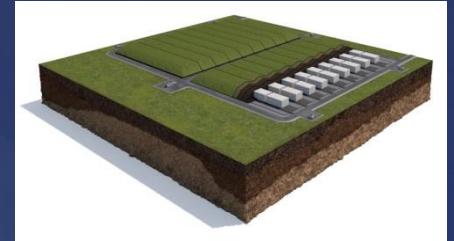
Altri

- Rivelatori di fumo
- Parafulmini
- Radio-luminescenti
- Ceneri
- Saldature
- Derivati del Torio (lenti, refrattari)
-



Approccio del nucleare civile alla sostenibilità

Gestione dei rifiuti radioattivi



Nucleare:

Concetti base: riduzione del rischio, concentrazione, confinamento, isolamento, prevenzione, (radio)protezione, mitigazione, decadimento naturale

Chimica:

emissioni tossico-nocive (CO_2 , SO_x , NO_x , particolato, COV, amianto, diossine, furani, ecc.)

Concetti: diluizione, dispersione, perché non decade nel tempo



CONDIZIONAMENTO DEI RIFIUTI IMPIANTO ENEA-NUCLECO ITLD-22

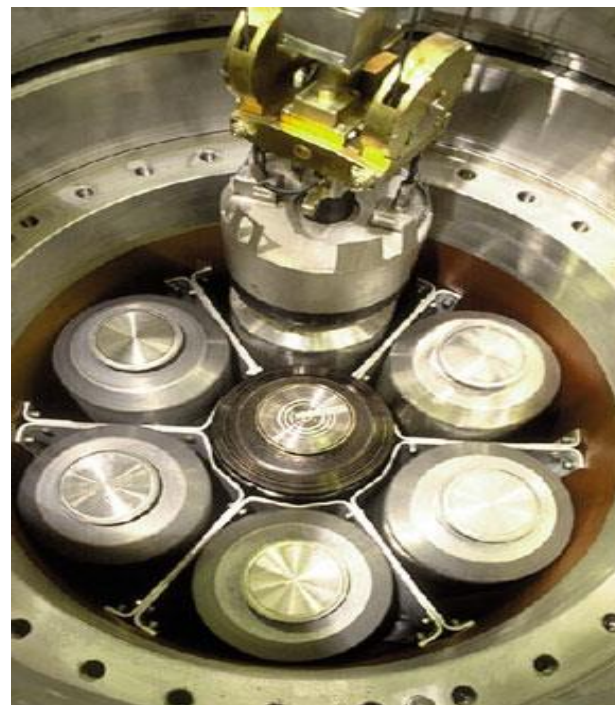


Capacità: $1\text{m}^3/(\text{g} \cdot \text{turno})$, Att. Max: $3\,700\text{ Bq/cm}^3$



Rifiuti ad alta attività

Essenzialmente FP (prodotti di fissione, ritrattamento del combustibile irraggiato). Trattamento: calcinazione e vetrificazione. Condizionamento in matrici vetrose.



Isolamento dei rifiuti radioattivi



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

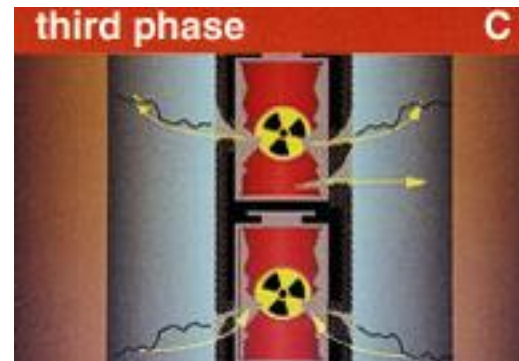
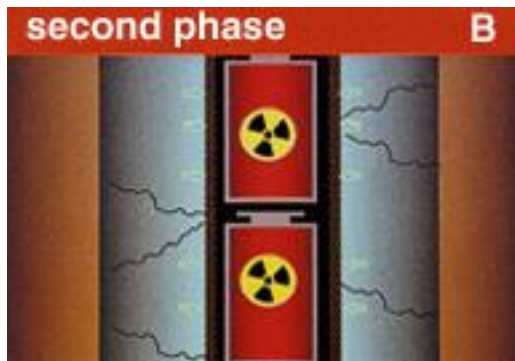
- ✓ Proteggere le popolazioni (presenti e future) e l'ambiente, fino a quando il contenuto di radioattività non avrà raggiunto un livello comparabile con quello naturale;
- ✓ Non esporre la popolazione a dosi superiori ai livelli stabiliti dalla legge: (**0.01 mSv/anno** in condizioni normali e **1 mSv/anno** in casi incidentali).

Lo smaltimento dei rifiuti radioattivi

Il **Deposito Superficiale** o sub superficiale è costituito da “sole” (o quasi)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.

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.

La qualificazione dei depositi è effettuata (**Performance Assessment**) con lunghi studi ed approfondite analisi dei fenomeni di dispersione della radioattività attraverso le barriere protettive.

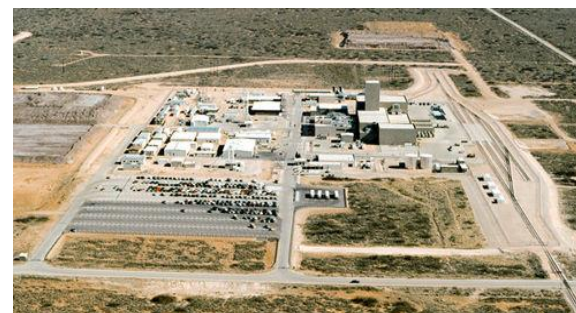
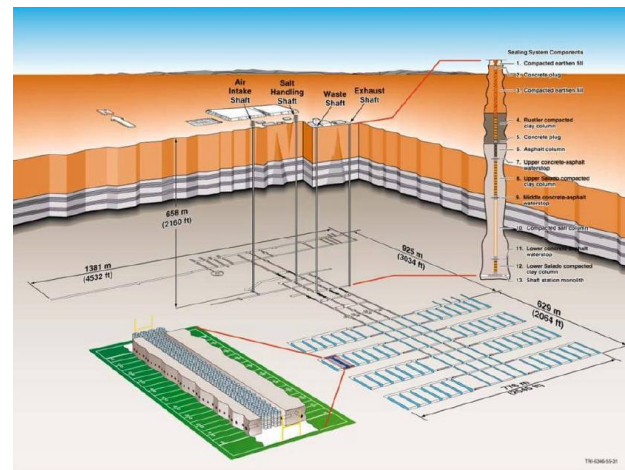


DEPOSITI SUPERFICIALI E GEOLOGICI



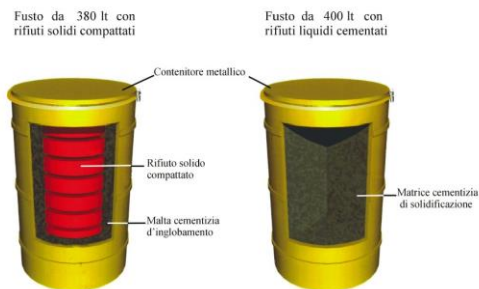
Capacità 100 000 m³ x rifiuti a bassa e media attività.

USA: dep. geologico di WIPP (New Mexico)



Deposito per materiali transuranici derivanti dai programmi militari. Operativo dal 1998, è realizzato a 750 m di profondità all'interno di una formazione di salgemma sovrastata da rocce argillose e marne.

Smaltimento superficiale



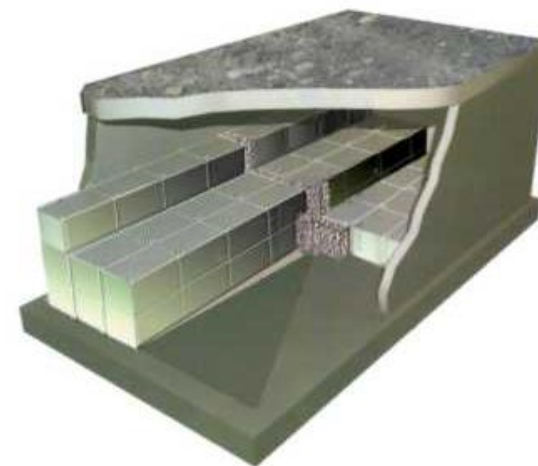
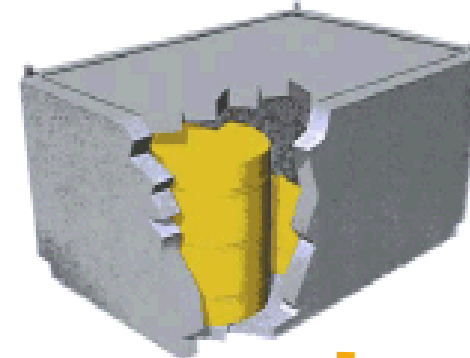
Condizionamento



Caratterizzazione e inventario



Modulo di isolamento



Cella di smaltimento



Configurazione finale del deposito superficiale

Deposito nazionale (DNPT)

Smaltimento geologico

Lo smaltimento in profondità dei rifiuti radioattivi a lunga vita ed alta attività e del combustibile irraggiato è attivamente avviato in Finlandia, Svezia, Stati Uniti, mentre altri Paesi (Francia, Giappone, Belgio, etc) sono in una fase di studio e di progetto molto avanzata (**Laboratori Sotteranei**).

Le formazioni geologiche scelte sono principalmente i depositi salini, le sedimentazioni argillose e le rocce granitiche.



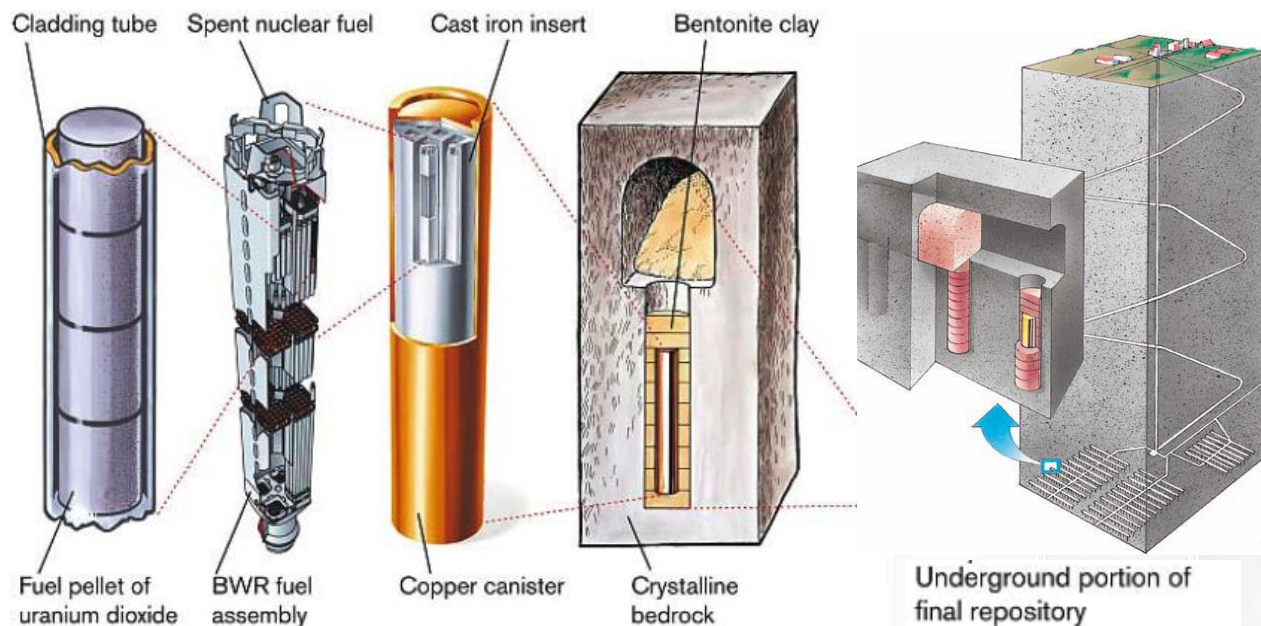
Forsmark, Svezia

Costruzione: 2015-2022

Esercizio: 2023-2070

Formazione di granito

500 m di profondità



Caratterizzazione delle formazioni geologiche

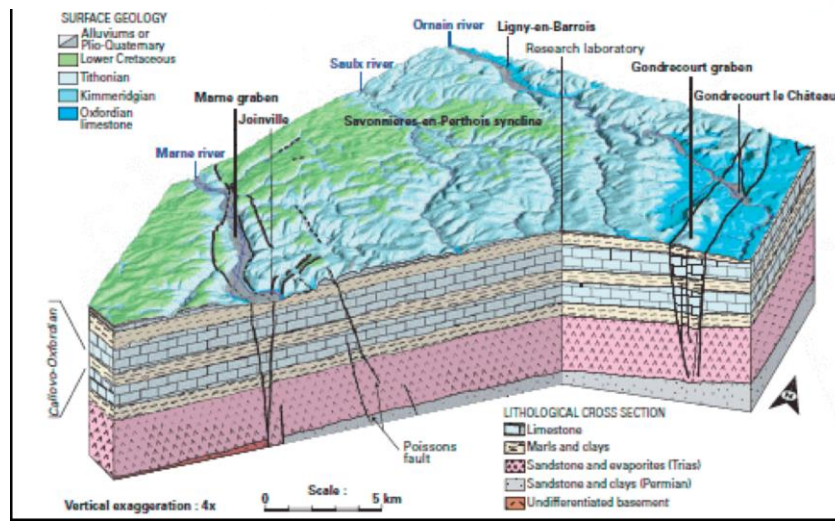
Studio e qualificazione barriere geologiche, R&ST:

- ✓ ricerca geologica di base;
- ✓ ricerche mirate su specifici contesti geoscientifici (geologia regionale, idrogeologia, geologia strutturale, geomeccanica: ammassi rocciosi, formazioni saline di origine evaporitica e formazioni argillose);
- ✓ attività di studio in situ con *Underground Research Laboratory* (comportamento materiali ingegneristici, risposta allo stress e alle perturbazioni indotte dalla realizzazione ed dall'esercizio, interazione rifiuto/formazione, caratterizzazione chimico-fisica, stabilità geodinamica e sismica, permeabilità idraulica e gassosa, conduttività termica, plasticità, adsorbimento/migrazione nuclidi, porosità, solubilità, proprietà meccaniche, capacità autosigillante,

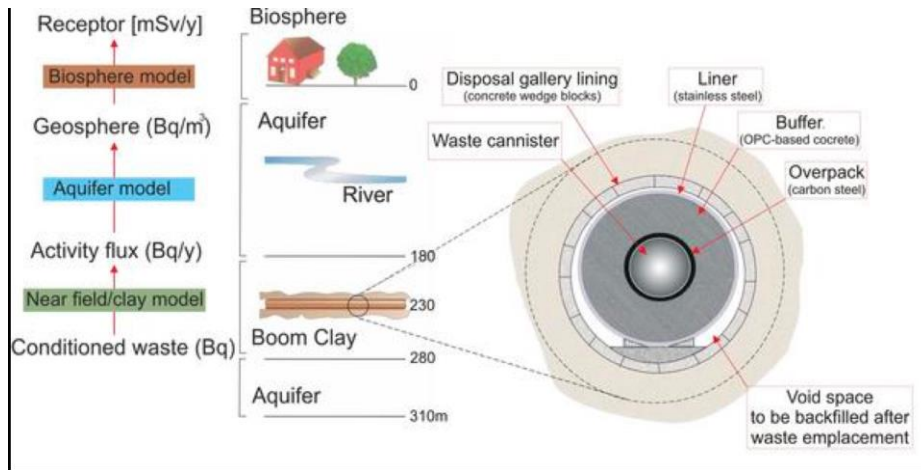
Concetti fondamentali:

- ✓ Passività del sistema;
- ✓ Sicurezza (radioattività ed antintrusione);
- ✓ Flessibilità e convenienza;
- ✓ Fattibilità;
- ✓ Reversibilità (periodo iniziale);
- ✓ Rispetto delle risorse (idriche, minerarie o altro).

Andra, Dossier 2005



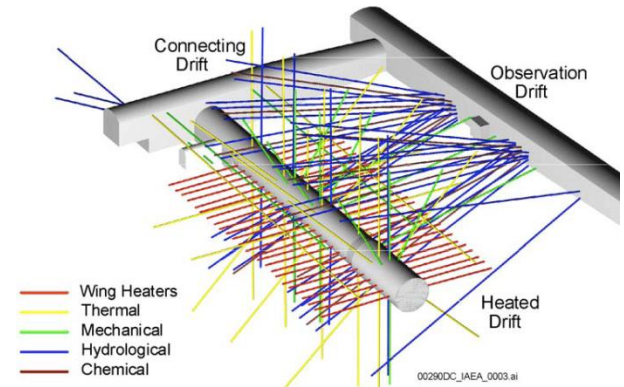
Depositi geologici



Belgio, SCK.CEN, formazione argillosa

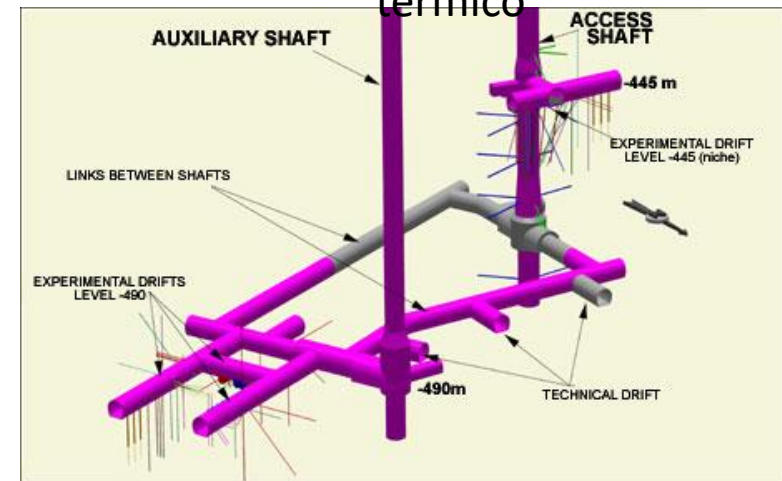
Germania

Konrad, miniere di ferro; Gorleben, miniera di sale.



Yucca Mountain, USA

Studio impatto termico



France, Haute-Marne, Bure.

Strato di argilla a 500 m, (di 150 milioni anni)

Considerazioni finali (1/2)

- La scienza nucleare adotta un approccio metodologico e fornisce tecnologia rilevante per grande produzione di energia carbon-free, la sicurezza nella gestione e lo smaltimento in sicurezza dei materiali e dei rifiuti nucleari
 - Proprio perchè consapevole dell'utilizzo malevolo o della possibilità di incidente, si è dotata di un sistema di leggi e norme, tecnologie, organismi, limiti e metodologie uniche nel settore industriale, e di analisi delle lezioni imparate dai pochissimi eventi severi accaduti nella sua storia
- La scienza nucleare rappresenta un esempio per gli altri settori civili ed industriali e la protezione del creato e della salute dell'uomo:
 - Se gli altri campi della scienza e dell'ingegneria utilizzassero i metodi della sicurezza nucleare, la sicurezza ambientale ne trarrebbe enorme giovamento.

Considerazioni finali (2/2)

- Si potrebbe pensare, sulla base del metodo adottato dalla scienza nucleare, a produrre un **piano onnicomprensivo per l'ambiente** che tenga conto della produzione dei beni e del ciclo della materia nel settore convenzionale (RSU) come si fa nel ciclo del combustibile nucleare
- Questo piano dovrebbe essere promosso dal Comitato della Civiltà dell'Amore insieme agli organismi competenti tra cui sicuramente quelli coinvolti nella scienza nucleare, e sostenuto e dalla Santa Sede, coerentemente con la Laudato Sii del Santo Padre.

Grazie dell'attenzione



Ing. Massimo Sepielli – ENEA – FSN

massimo.sepielli@enea.it