

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

***Relazione per la prova finale
«I reattori a neutroni veloci NewCleo»***

Tutor universitario: Prof. Giuseppe Zollino

Laureando: *Zaccaria Ghazal*

Padova, 21/09/2023

DIFFERENZE DI CARATTERE:

- **ANAGRAFICO**

Chicago Pile 1 (1942), Immissione nel mercato (1° GEN: 1950), (2° GEN: 1970), (3° GEN: 2000)

- **TECNOLOGICO**

- (1° GEN: Moderatore a graffite e fluido termovettore a gas)
- (2° GEN: Fluido moderatore coincidente con fluido termovettore)
- (3° GEN: Introduzione sistemi di sicurezza)

- **EFFICIENZA ENERGETICA**

Differente utilizzo energia contenuta nell'uranio

NEI REATTORI TERMICI, L'ENERGIA LIBERATA DALLA REAZIONE DI FISSIONE VIENE CEDUTA AL FLUIDO MODERATORE TRAMITE URTI ELASTICI DAI NEUTRONI VELOCI

m : massa neutrone

M : massa del nucleo atomico

E : energia cinetica neutrone prima dell'urto

E' : energia cinetica neutrone dopo l'urto

R : rapporto M/m

$$\Delta = \frac{E - E'}{E} = 1 - \left(\frac{v'}{v}\right)^2 = 1 - \left(\frac{m - M}{m + M}\right)^2 = \frac{4mM}{(m + M)^2} = \frac{4R}{(1 + R^2)} \quad \text{differenza di energia relativa}$$

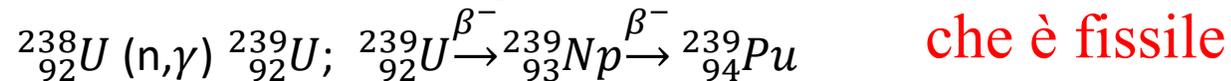
- $\Delta_{idrogeno} = 100\%$ $R = 1$
- $\Delta_{deuterio} = 89\%$ $R = 2$
- $\Delta_{piombo} \approx 2\%$ $R \approx 200$

Il piombo non è un moderatore, quindi è adatto per i reattori a neutroni veloci

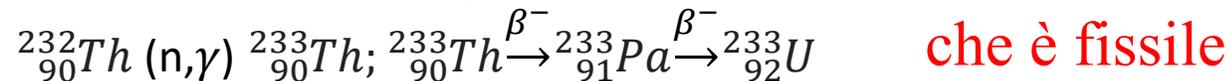
SONO REATTORI TERMICI O VELOCI (NON MODERATI), IN CUI SI SFRUTTA APPIENO L'ENERGIA ESTRAIBILE DALL'URANIO E DA ALTRI MATERIALI COSTITUENTI IL COMBUSTIBILE

RAPPORTO DI CONVERSIONE > 1

REATTORI VELOCI: L'energia viene estratta oltre che dall'Uranio 235, principalmente dall'Uranio 238

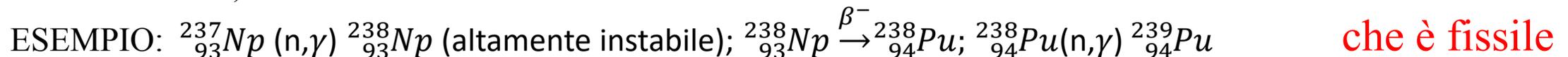


REATTORI LENTI: L'energia viene estratta oltre che dall'uranio 235, principalmente dal Torio 232



Perché la ricerca si concentra sui reattori fertili?

- Maggiore utilizzo dell'energia contenuta nell'uranio e in generale nel combustibile
- Maggiore possibilità di bruciare anche gli attinidi minori (soprattutto per interazione con neutroni lenti)



L'intera filiera: **REATTORE, FABBRICAZIONE E RIPROCESSAMENTO COMBUSTIBILE**

A parità di massa di uranio, l'energia estratta è di un ordine di grandezza maggiore rispetto ai reattori di 3° generazione

Criteri:

1. CONVENIENZA ECONOMICA: BASSO LIFE CYCLE COST
2. RIDUZIONE SCARTI NUCLEARI AD ELEVATA RADIOATTIVITA'
3. EFFICIENZA ENERGETICA ELEVATA
4. SICUREZZA AMBIENTALE E DELLE PERSONE
5. IMPEDIRE PROLIFERAZIONE ARMI NUCLEARI

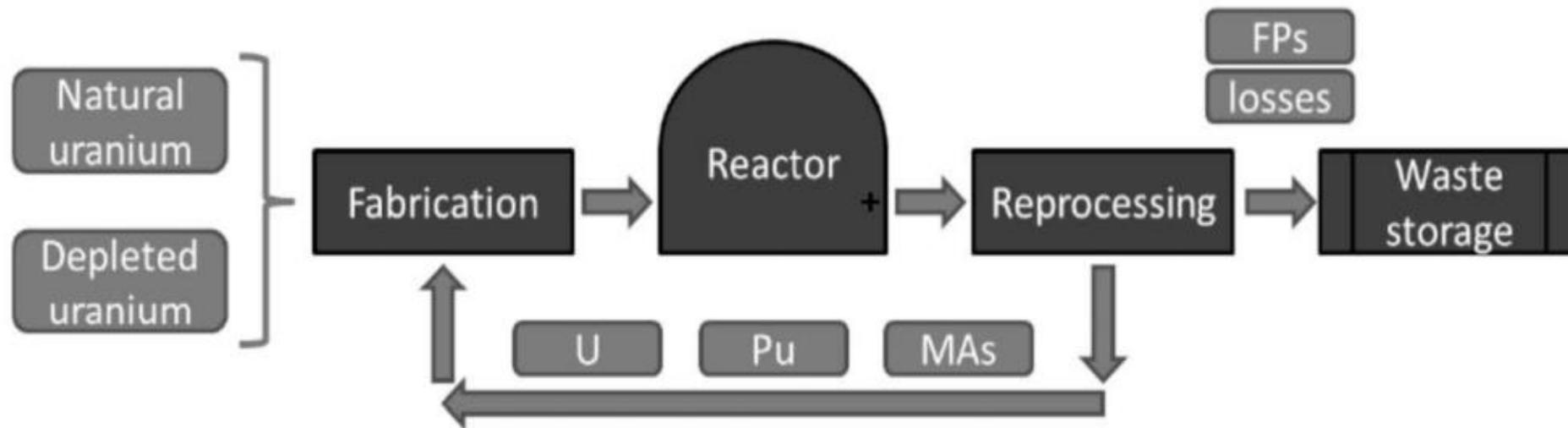
SECONDO IL GIF (generation IV international forum) POSSONO ESSERE DI 6 TIPOLOGIE:

Very high-temperature gas reactor (VHTR)	TERMICO	raffreddato a elio
Supercritical water-cooled reactor (SCWR)	VELOCE O TERMICO	raffreddato a acqua
Molten salt reactor (MSR)	VELOCE O TERMICO	raffreddato a Sali di fluoruro
Gas-cooled fast reactor (GFR)	VELOCE	raffreddato a elio
Lead-cooled fast reactor (LFR)	VELOCE	raffreddato a piombo
Sodium-cooled fast reactor (SFR)	VELOCE	raffreddato a sodio

I REATTORI SONO ALIMENTATI A MOX (UO_2 e PuO_2) e SI BASANO SUL CICLO CHIUSO

REATTORI ADIABATICI: LIVELLI COSTANTI DI ATTINIDI MINORI E PLUTONIO.

SOLO I PRODOTTI DI FISSIONE E LE PERDITE CAUSATE DAL RIPROCESSAMENTO DEVONO ESSERE MANDATI NEGLI IMPIANTI DI STOCCAGGIO \Rightarrow ELIMINAZIONE GRAN PARTE DEI RIFIUTI RADIOATTIVI



L'unico combustibile da inserire è l'Uranio naturale

- 1) Il piombo ha una temperatura di ebollizione alla pressione ambiente molto alta: non avremo sistemi pressurizzazione
- 2) E' denso: ha delle capacità di raffreddamento importanti
- 3) Il piombo non interagisce chimicamente con aria e acqua.
- 4) Il piombo permette una schermatura delle radiazioni Gamma
- 5) Il piombo ha valori ridotti delle sezioni d'urto (sia per la fissione che per la cattura neutronica)
- 6) Non è un mezzo moderante
- 7) Il piombo è altamente disponibile in natura ed è economico.
- 8) Comporta una bassa produzione di polonio, fatto potenzialmente pericoloso
- 9) E' sicuro: in caso di incidente sigilla il nucleo radioattivo

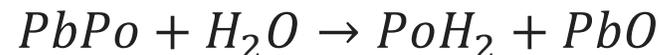
PROPRIETA' NUCLEARI IDENTICHE: Sezione d'urto

PROPRIETA' TERMICHE DIFFERENTI: Più facile de-solidificazione, Numero di Prandtl diverso, Viscosità diversa

SVANTAGGIO PIOMBO: conducibilità termica di $14,3 \text{ W/mK}$ vs conducibilità termica miscela di $17,7 \text{ W/mK}$. Il piombo risulta più corrosivo

SVANTAGGIO PIOMBO-BISMUTO: dilatazione termica importante durante solidificazione

SVANTAGGIO PRINCIPALE DEL PIOMBO-BISMUTO: $^{209}_{83}\text{Bi}$ (n, γ) $^{210}_{83}\text{Bi}$; $^{210}_{83}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} ^{210}_{84}\text{Po}$ di cui il 99,8% forma con il piombo la miscela PbPo che reagisce con l'acqua attraverso la reazione:



IL GAS PoH_2 E' ALTAMENTE RADIOATTIVO

NON PUO' ESSERE RIMOSSO ECONOMICAMENTE: DOVREBBE ESSERE CONTINUAMENTE INSERITO NUOVO MATERIALE E DOVREBBE ESSERE INSTALLATO UN SISTEMA DI PRESSURIZZAZIONE PER GARANTIRE LA PRESSIONE COSTANTE DELLA MISCELA

L'energia potenziale dei reattori può essere di diverso carattere:

- CARATTERE TERMICO
- CARATTERE MECCANICO
- CARATTERE CHIMICO

Energia potenziale alta \Rightarrow Maggiore possibilità che un incidente abbia conseguenze catastrofiche

Gli LFR non richiedono la pressurizzazione del piombo (Facilità di confinamento in caso di incidente), lavorano in assenza di acqua (Impossibilità di improvvisi effetti di ossidazione con conseguente formazione di gas idruri) \Rightarrow Bassa energia potenziale

CARATTERE MECCANICO: ELEMENTI COSTITUENTI DELL'ACCIAIO (Ni, Cr, Fe) SI DEGRADANO A CONTATTO COL PIOMBO PER DISSOLUZIONE e PER OSSIDAZIONE

(elettronegatività del Fe, Ni, Cr < elettronegatività del Pb)

Il piombo liquido è corrosivo per i materiali metallici.

METODI PER RIDURRE LA CORROSIVITA':

- Inserimento ossigeno attivo: Forma strati di Fe_3O_4 e di FeCr
Efficace per ferrite fino a $T=500^\circ\text{C}$ e per austenite fino a $T=400^\circ\text{C}$
- Coating superficiale: Trattamento con lega di alluminio e ferro
Efficace fino a $T=600^\circ\text{C}$

EFFETTO DEL PIOMBO LIQUIDO FLUENTE: Il raffreddamento attraverso il piombo avviene per convezione naturale o forzata \Rightarrow Si verifica la formazione di strati parziali di ossido e conseguente danneggiamento localizzato

FATTORI E PROBLEMI DA VALUTARE:

- Dpa (displacement per atom): Variazione di posizione degli atomi nel reticolo cristallino
- Creep e Swelling: Fenomeni determinati dai flussi di neutroni veloci che promuovono attacco da parte degli HLM
- Degradazione dei materiali: Passaggio del ferro dallo stato alfa allo stato gamma, Invecchiamento accelerato, Cambiamenti nella natura microscopica
- Aumento suscettibilità alla corrosione ed erosione
- Attivazione neutronica: I materiali strutturali, dopo l'assorbimento, possono divenire radioattivi
- Produzione di gas radioattivi: L'irraggiamento può indurre la formazione di gas radioattivi nei materiali del reattore

https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/nuovo-nucleare-fissione/lp3/nuclearequartagenerazione.pdf

<https://www.associazioneitaliananucleare.it/wp-content/uploads/2019/07/Quaderno-AIN-n.9.pdf>

<https://www.newcleo.com/>

[https://energycue.it/energia-nucleare-generazioni-confronto-
adesso/31946/#:~:text=1%C2%B0%20generazione%3A%20il%20progetto,inserite%2056%20tonnellate%20di%20uranio.](https://energycue.it/energia-nucleare-generazioni-confronto-
adesso/31946/#:~:text=1%C2%B0%20generazione%3A%20il%20progetto,inserite%2056%20tonnellate%20di%20uranio.)

https://www.ansa.it/canale_scienza_tecnica/notizie/approfondimenti/energia/2011/05/20/le-centrali-di-terza-generazione_3267433a-de1c-11e6-9836-00505695d1bc.html

<https://www.fisicamedica.it/i-temi-della-fisica-medica/argomenti-generalis-fisica-medica/cose-lurano-impovertito/>

<https://www.sogin.it/it/chiusuradelciclonucleare/gestione-del-combustibile-nucleare.html>

http://fusione.altervista.org/riprocessamento_del_combustibile_nucleare.htm

<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>

<https://scienzapertutti.infn.it/chiedi-allesperto/tutte-le-risposte/667-i-reattori-nucleari>

<http://www.science.unitn.it/~fisica1/fisica1/appunti/sparsi/neutroni/neutroni/>

Dossena, Ferrari, Gaetani, Montenegro, Onorati, Perisco, *Macchine a fluido*, Cittastudi, 2020 (seconda edizione)

https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_42149/lead-cooled-fast-reactor-lfr

<https://www.polytechnique-insights.com/en/braincamps/energy/the-latest-technological-advances-in-nuclear-energy/nuclear-what-is-a-4th-generation-reactor/>

https://www.researchgate.net/profile/Lorenzo-Damiani/publication/264422532_Centrali_nucleari_al_Piombo_analisi_dei_cicli_termodinamici_per_il_circuito_secondario/links/547324e50cf216f8cfae9f78/Centrali-nucleari-al-Piombo-analisi-dei-cicli-termodinamici-per-il-circuito-secondario.pdf

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149197018300271>

<https://www.iris.enea.it/retrieve/handle/20.500.12079/8012/1530/ADPFISS-LP2-149.pdf>