

GIUSEPPE MARSOTTO (INGiuseppe)

## IMPIANTI NUCLEARI DI POTENZA [1]

21 August 2012

### Introduzione

Salve a Tutti! Allora, come si evince dal titolo, si parlerà dei tanto discussi Impianti Nucleari usati per la produzione di Energia Elettrica. Sarà un percorso a più articoli e vedremo inanzi tutto gli aspetti generali della Fisica Nucleare e poi la componentistica e tipologie di Reattori presenti negli Impianti Nucleari di Potenza, meglio conosciuti anche come Impianti Eletttronucleari. Non si può prescindere dalla storia e dalle "Rivoluzioni" che, ahimè, gli ERRORI UMANI (E SOLO QUELLI!!!), hanno apportato agli impianti ed alla Fisica delle Reazioni Nucleari. L'indice è il seguente:

- **Fisica delle Reazioni Nucleari** (solo un accenno)
- **Tipologie di Reattori Nucleari** (seguendone l'evoluzione)
- **Impianti Nucleari**
- **Il contesto energetico**
- **Conclusioni** (con dati e meno politica)



051810\_CallawayNuclearPowerPlant\_t\_w600\_h1200.jpg

## Fisica delle Reazioni Nucleari

Il nucleo è costituito da nucleoni, protoni di carica positiva e neutroni neutri. La massa dei nucleoni è approssimativamente la stessa:  $M_p = 1.67239 \times 10^{-24}[\text{g}]$ ,  $M_n = 1.67470 \times 10^{-24}[\text{g}]$ . Nuclei aventi lo stesso numero di protoni  $Z$  sono chiamati isotopi, mentre quelli con lo stesso numero di massa sono detti isobari. La massa in fisica nucleare è misurata, analogamente a quella atomica, in unità di massa atomica [amu], definita come 1/12 della massa del  $\text{C}_{12}$ , uno degli isotopi del Carbonio, che equivale a  $1.6582 \times 10^{-24}[\text{g}]$  o 931.44 [MeV].

### Mass defect

La differenza di massa  $\Delta M$  tra la massa del nucleo in amu, ed il suo numero di massa  $A$  è chiamata mass defect del nucleo:

Atomic Mass Unit = 1/16 massa del  $\text{O}^{16}$  cioè la sedicesima parte della massa di Ossigeno 16.

1amu =  $1.66 \times 10^{-24}[\text{g}]$  :

- $M_n = 1.00897 [\text{amu}]$
- $M_p = 1.00758 [\text{amu}]$
- $M_e = 0.000549 [\text{amu}]$

$$\Delta M = \sum_1^z a M_p + \sum_1^a (a - z) M_n - M_{z,a}$$

- $M_{z,a}$  = massa del nucleo in esame
- $M_p$  = massa del protone
- $M_n$  = massa del neutrone
- $z$  = numero atomico
- $a$  = numero di massa

Ebbene sì, il nucleo formato da  $n$  "palline", pesa **MENO** della somma delle palline singole! Bisognerebbe inoltrarci nella Fisica "Pesante".. ma, agli Ingegneri, o gli "Energetici" come me, bando alle ciance, qui c'è ENERGIA!. Dov'è finita la massa??? scomparsa?? Impossibile. Forse nascosta.. mah.. La risposta è, si è trasformata; e in che cosa? Ce lo dice Einstein:

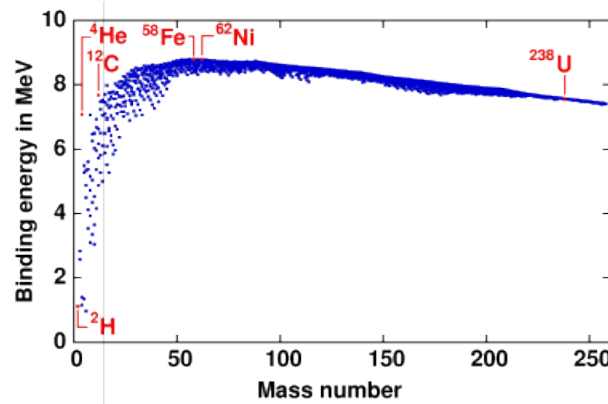
$$E = Mc^2$$

Il difetto di massa, è l'ammontare energetico RILASCIATO dai nucleoni (neutroni e protoni) per stare attaccati!

**In sostanza: se voi avete i nucleoni sparsi a distanza e volete riattaccarli formando un nucleo, questi vi rilasciano energia, mentre se li dividete dovete fornire energia.** Ci sarebbero molti e molti dettagli e precisioni da fare, ma il campo Fisico delle reazioni è un campo pieno di *insidie* e *specialistico*. Quando condussi gli studi universitari sugli impianti nucleari, essendo ad Ingegneria si ometteva spesso e allo studio, e all'esame, la parte di Fisica, se non per

quanto riguarda la base di come **capire** da dove viene questa energia. L'importante, a mio avviso, è sapere che per formarsi il nucleo rilascia di energia, per separare i nucleoni l'uno dall'altro occorre fornire energia. L'energia di legame (BE) di un nucleo rappresenta il *lavoro richiesto* per separare il nucleo nei suoi nucleoni costituenti, oppure come **l'energia rilasciata** durante la formazione del nucleo dai suoi costituenti.

Ma il livello di Binding Energy, **non è uguale** per tutti gli atomi della tavola periodica, ma ha un andamento a massimo come illustrato in figura; in realtà è meglio diagrammare, non tanto la Binding Energy, ma la Binding Energy specifica, ossia **per nucleone**

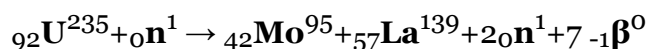


*nucl\_prep\_eng.gif*

Flash

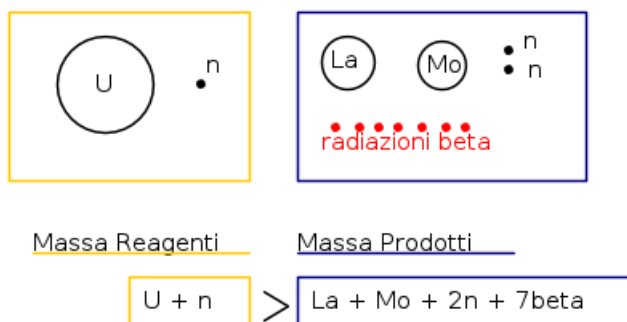
**ATTENZIONE:** il quantitativo di BE (Binding Energy) nell'Uranio, è decisamente superiore a

quella del Ferro; semplicemente perchè l'Uranio ha più nucleoni; **ma la BE per nucleone è minore**. Ossia, quando si è formato il nucleo di Ferro, esso ci ha rilasciato un quantitativo di Energia minore di quello che ci ha lasciato il nucleo di Uranio, ma rispetto al numero di nucleoni cui esso è composto, di più, rispetto all'Uranio. La BE/nucleon (Binding Energy per nucleon), è maggior nel Ferro che nell'Uranio (in quest'ultimo la BE/nucleon è talmente bassa che qualche nucleone tende a **scappare**... questo è alla base del fenomeno delle emissioni di radiazioni). Quindi se io divido il nucleo di Uranio a formare altri due nuclei più piccoli a più alta BE/n, allora, visto che il numero di particelle, protoni e neutroni, rimane costante(!), i due frammenti rilasceranno Energia. Vediamo un esempio:

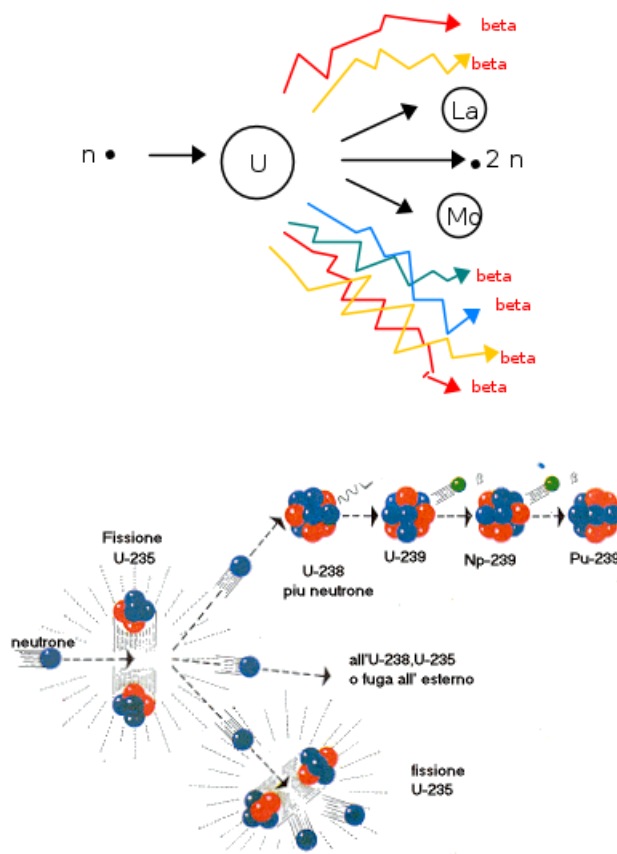


Che presenta una variazione di massa tra prodotti e reagenti di: ( $m_{{}_{92}\text{U}^{235}}$  = massa dell'Uranio 235.. e così via)

$$\Delta m = m_{{}_{92}\text{U}^{235}} + m_{{}_0\text{n}^1} - m_{{}_{42}\text{Mo}^{95}} - m_{{}_{57}\text{La}^{139}} - 2m_{{}_0\text{n}^1} = 0,22283 \text{ [amu]} = 0,3699 \cdot 10^{-24} \text{ [g]}$$



Rappresenta "graficamente" una delle miliardi di possibili reazioni di fissione dove si producono CASUALMETE Lantanide (La) e Molibdeno (Mo)



fissione1.gif

che origina una energia pari a:  $\Delta m \cdot c^2 = 207,45 \text{ [MeV]}$  che diventa **191[MeV]** eseguendone la media tra le tipologie di reazione che avvengono e tenendo conto dell'energia che hanno i neutroni prodotti.

La tecnologia prevede il bombardamento di un nucleo con un neutrone di una certa energia sufficiente ad ottenere la formazione di due prodotti di fissione energeticamente stabili e in più dei neutroni aggiuntivi addetti alle successive fissioni. Il comportamento dei nuclei del fascio neutronico è molto entropico e casuale, e possono essere:

- assorbiti dai nuclei;
- rimbalzati dai nuclei;
- fissare i nuclei;

Tutte queste possibilità hanno una loro probabilità di avverarsi, a seconda della composizione chimica del combustibile nel suo lento esaurimento, essendo composto sempre più di atomi non fissibili. Gli atomi a nucleo fissibile sono essenzialmente tre:

- $^{92}\text{U}^{235}$

- ${}_{92}\text{U}^{233}$
- ${}_{94}\text{Pu}^{239}$  ;

gli ultimi due non esistono in natura ma sono presenti nei reattori nucleari secondo le reazioni di formazione:

- **Uranio 233:**  ${}_{90}\text{Th}^{232} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_{90}\text{Th}^{233} \rightarrow {}_{90}\text{Th}^{233} \rightarrow {}_{91}\text{Pa}^{233} + {}_{-1}\beta^0$  (T=23.5 minuti spontanea)  $\rightarrow {}_{92}\text{U}^{233} + {}_{-1}\beta^0$  (T=27.4 giornisponanea)
- **Plutonio 239:**  ${}_{92}\text{U}^{238} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_{92}\text{U}^{239} \rightarrow {}_{93}\text{Np}^{239} + {}_{-1}\beta^0$  (T=2.35 minuti spontanea)  ${}_{93}\text{Np}^{239} \rightarrow {}_{94}\text{Pu}^{239} + {}_{-1}\beta^0$  (T=2.3 giorni spontanea)

### Burn-Up I: è la media Energia liberata da una fissione nucleare

1 grammo di  $\text{U}^{235}$  contiene  $N_{\text{avogadro}}/235$  nuclei; se tutti venissero fissionati, si otterrebbe un'energia specifica di :

**$191\text{?N}/235 [\text{MeV}/\text{grammo U-235}] = I = 0.9 [\text{MWd}/\text{grammo U-235}]$**  pari a  $I=900.000 [\text{MWd}/\text{ton U-235}]$

- $1[\text{MeV}] = \text{Mega elettronVolt, unità di misura dell'ENERGIA: } 1 \text{ eV} = 0.160217653 [\text{aJ}]$
- $1[\text{MWd}] (\text{MegaWattDay}) = 24000 [\text{KWh}] \times 860 = 2*10^7 [\text{Kcal}] = 2 [\text{toe}]$

Siccome lavoriamo con Uranio o **naturale** o **arricchito**(enriched), otteniamo:

- uranio naturale (0.7% di fissile)  $I = 900000 \times 0.7/100 = \mathbf{6300 [\text{MWd}/\text{ton}]}$
- uranio arricchito (3% di fissile)  $I = 900000 \times 3/100 = \mathbf{27000 [\text{MWd}/\text{ton}]}$

$$I = 27000 [\text{MWd}/\text{tenrich}] = 54000 [\text{toe}/\text{tenrich}] = 10000 [\text{toe}/\text{ton}_{\text{nat}}]$$

$$\text{ton}_{\text{enrich}} = 5,4 \text{ ton}_{\text{nat}} \text{ (per produrre una tonnellata di Uranio al 3\% servono 5,4 di naturale)}$$

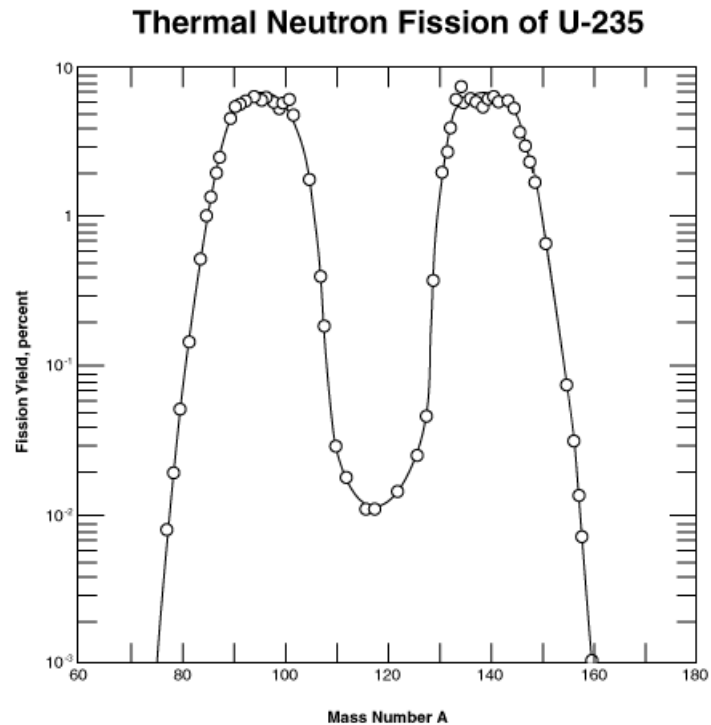
Quello che salta all'occhio è il quantitativo di **ENERGIA** presente in una tonnellata di Uranio enriched: 648.000.000 [kWh/ton];

*l'Energia prodotta d  **$648.000.000 \times 10 = 6 \text{ miliardi e mezzo di pannelli FV da } 100 [\text{W}]$**  piccolo, funzionanti per 1 h alla potenza costante di  $0,1 [\text{kW}]$  ciascuno*

- *per 10 perchè ipotizzo pannelli da 100 [Wpicco] comuni*

- $648.000.000 = 27.000 [MWd/tenrich] * 24000[KWh]$

Non tutte le reazioni sono come quella illustrata, ho voluto mettere la classica dei libri di testo. L'andamento % dei prodotti è in questa foto seguente, dove, un'ulteriore discriminante è l'energia del neutrone che "bombarda".



*fissionyield.gif*

Questa è una delle ROGNE peggiori nella costruzione di un reattore. BISOGNA FRENARE I NEUTRONI FINO AL LIVELLO CONSONO A FISSARE UN ALTRO NUCLEO. Questo è un punto importantissimo! e lo vedremo nel prossimo articolo. Vi elenco solo le tipologie di Reattori che metterò nei prossimi articoli:

- **Magnox**
- **AGR** (Advanced Gas Reactor)
- **HTGR** (High Temperature Gas Reactor)
- **BWR** (Boiling Water Reactor)
- **PWR** (Pressurized Water Reactor)
- **Candu** (Canadian Deuterium Reactor)
- **RBMK** (Chernobyl)
- **AP1000**
- **FBR** (Fast Breeder Reactor)
- **Il "nostro" EPR**

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Ingiuseppe:impianti-nucleari-di-potenza-1>"