

Uranio

L'elemento e le sue proprietà

L'uranio venne scoperto nel 1789 da M. H. Klaproth analizzando il **minerale pitchblenda** (ritenuto un ossido misto di ferro, zinco e tungsteno) a cui diede il nome di Urano per celebrare la scoperta, fatta in quegli anni, del nuovo pianeta del sistema solare. Nel 1789 venne scoperto anche lo zirconio, elemento di fondamentale importanza per la tecnologia dei reattori nucleari.

L'uranio, in condizioni standard, è un metallo radioattivo, duro, dal colore bianco-argenteo, malleabile e duttile. In natura è piuttosto diffuso ma è difficile trovarlo in concentrazioni elevate e in media è presente nella crosta terrestre in una proporzione di circa 3 grammi di uranio per tonnellata di crosta terrestre (chiamata anche parte per milione, ppm): poiché la crosta terrestre è stimata in 3×10^{19} tonnellate si hanno a disposizione circa 10^{13} tonnellate di uranio (10000 miliardi di tonnellate) quantità maggiore rispetto a quella dell'argento, dell'oro o del molibdeno.

L'uranio è costituito da diversi **isotopi** (atomi dello stesso elemento chimico, con lo stesso numero atomico, ma con differente numero di massa) presenti in percentuale diversa nella crosta terrestre:

- 238U 99.2745%
- 235U 0.72%
- 234U 0.0055%

Esistono in natura circa 200 minerali conosciuti che lo contengono, rari allo stato isolato e più comunemente presenti in rocce di vario tipo, fra cui in particolare i graniti (rocce acide) e le rocce silicee; concentrazioni minori si hanno nei basalti nonché nelle rocce sedimentarie.

Usi dell'uranio

L'uranio, prima della scoperta dell'energia nucleare, venne utilizzato principalmente per colorare i vetri. Oggi l'uranio viene principalmente utilizzato come combustibile nelle centrali nucleari in cui il materiale fissile è costituito dall'isotopo 235U.

Un giacimento infinito?

Dopo aver individuato la presenza di uranio nella crosta terrestre, è necessario valutare un giacimento, ovvero individuare quante tonnellate di uranio contiene. Il giacimento deve essere considerato sfruttabile, altrimenti si potrebbe affermare che la crosta terrestre è un "enorme giacimento" perché in essa troviamo 3 grammi/tonnellata di uranio, ma non abbiamo a disposizione una tecnologia in grado di permetterne l'estrazione a costi contenuti.

Un giacimento di uranio viene detto **sfruttabile** una volta che è stato definito un limite economico, cioè una soglia che permetta una classificazione: la valutazione dei giacimenti è un problema di normativa internazionale.

Risorse uranifere

Quando si parla di uranio "recuperabile" significa che è possibile estrarre il minerale da un giacimento e renderlo disponibile per un elemento di combustibile, ad un determinato costo che viene espresso in dollari. Analizzando la mappa mondiale dei giacimenti e conoscendone la natura è possibile stabilire la quantità di uranio estraibile formando delle fasce di costi: fino a 40 \$, tra 40 \$ e 80 \$ e fra 80 \$ e 130 \$. Ovviamente i più economici sono quelli sfruttati per primi.

Tutte le zone dove c'è una comprovata presenza di uranio vengono denominate **Risorse Ragionevolmente Sicure** (Reasonably Assured Resources, RAR). Una volta noti i giacimenti ragionevolmente sicuri, attraverso analisi corredate da opportune misure di radioattività, si possono individuare luoghi simili da un punto di vista geomorfologico che possono dare indicazioni su giacimenti simili a quelli sfruttati. Tali giacimenti si considerano stimati e fanno parte delle **Risorse Aggiuntive Stimati** (Estimated Additional Resources, EAR, anche chiamate Inferred Resources, IR). Tali risorse aggiuntive sono classificate in due categorie: **EAR-I** ed **EAR-II**; le EAR II sono meno certe delle prime. Esiste poi

un'altra categoria chiamata delle Risorse Speculative (SR), che sono il frutto di una ulteriore estrapolazione delle caratteristiche geomorfologiche di terreni che potrebbero contenere uranio.

Le risorse del tipo RAR sono quelle di sfruttamento più facile, e come tale meno costoso; sono disponibili in quantità che vanno da 507.400 t a 4.587.200 t a seconda di quanto si è disposti a spendere per l'estrazione.

I dati relativi alle Risorse Addizionali Stimate del secondo gruppo (EAR-II) sono molto più precisi rispetto a quelli sulle Risorse Speculative e si stima un quantitativo di uranio di circa 2.200.000 di tonnellate ad un costo compreso fra 80 \$ e 130 \$.

Le Risorse Speculative comprendono anche l'uranio presente nei fosfati e si possono stimare in circa 22.000.000 di tonnellate di uranio. Se aggiungiamo anche l'uranio presente nelle acque degli oceani si arriva ad un quantitativo di uranio di circa 4 miliardi di tonnellate!

La tecnologia di estrazione di uranio dai fosfati è sostanzialmente matura: la si utilizza già in Belgio e negli Stati Uniti. Tuttavia ha diffusione limitata perché ha ancora costi non convenienti: si stima che un progetto di estrazione di 100 tU/anno avrebbe un costo nel range 60-100 \$/kgU (considerando inclusi i costi di investimento).

Per quanto riguarda invece l'estrazione dell'uranio dall'acqua di mare, sono state effettuate ricerche in Giappone con esito incoraggiante: tuttavia, si tratta ancora di una tecnologia sperimentata solo su scala di laboratorio con costi estremamente alti, stimata intorno ai 300 \$/kgU.

Il ciclo del combustibile nucleare

Il combustibile nucleare è soggetto ad un vero e proprio ciclo durante la sua vita. Preliminari sono ovviamente tutte le operazioni di miniera a cui segue tutta una serie piuttosto lunga e complessa di vari processi di purificazione, aventi in primo luogo l'obiettivo di eliminare gli elementi che assorbono i neutroni. I neutroni sono particelle in grado di avviare il processo di fissione rompendo il nucleo di ^{235}U con successiva liberazione di energia: se sono presenti elementi che assorbono i neutroni, questi non possono produrre reazioni di fissione ("veleni neutronici"). Le operazioni effettuate in questa prima parte del ciclo del combustibile sono prevalentemente di tipo chimico e portano alla produzione di un composto gassoso dell'uranio (esafluoruro di uranio, UF_6) che permette il processo di arricchimento dell'isotopo ^{235}U . Questa fase è necessaria poiché la maggior parte dei reattori nucleari utilizza il combustibile composto da uranio arricchito: mediamente l'arricchimento è attorno al 3% di ^{235}U , contro lo 0.72% di ^{235}U nell'uranio che si trova in natura. Se mandiamo il composto gassoso di esafluoruro di uranio in una centrifuga è possibile discriminare la diversa massa di dell'isotopo ^{235}U rispetto all'isotopo ^{238}U ed è possibile concentrare un isotopo rispetto all'altro. Le ultracentrifughe gassose costituiscono gli impianti di arricchimento: sono possibili anche altri procedimenti di arricchimento tramite gli impianti di diffusione gassosa oppure tramite la separazione isotopica selettiva a mezzo di laser.

L'esafluoruro arricchito viene successivamente convertito in polvere di biossido di uranio (UO_2), che viene assemblata in pastiglie che, opportunamente incamiciate, andranno a costituire l'elemento di combustibile vero e proprio.

Il combustibile nucleare viene poi inserito nei reattori nucleari e produce energia fino al termine della sua vita. A questo punto l'elemento di combustibile è diventato radioattivo e viene messo in piscine, poste solitamente nei pressi del reattore, per ridurre il livello di radioattività.

A questo punto il combustibile esaurito ha due sorti differenti: il deposito definitivo in luoghi aventi opportune caratteristiche geologiche oppure il riprocessamento.

Durante la permanenza in reattore non tutto ^{235}U viene bruciato (ne rimane circa 1%) e nel frattempo, a causa delle reazioni nucleari, sono nati altri nuclidi che possono dare un processo di fissione nucleare: i nuclei fissili come il plutonio, ^{239}Pu , nato dal ^{238}U tramite il processo chiamato di "fertilizzazione". Questi possono essere utilizzati a loro volta come combustibili nucleari, mentre la restante parte del combustibile deve essere stoccata in depositi definitivi.

La via del riprocessamento, seguita da alcuni paesi come la Francia e il Regno Unito, ha alcuni vantaggi: innanzitutto consente un più razionale sfruttamento del combustibile, permettendo non solo di recuperare ^{235}U rimasto ma anche il ^{239}Pu formatosi che rappresenta una risorsa importantissima perché discende per fertilizzazione dall' ^{238}U e rappresenta la quasi totalità dell'uranio presente in natura.

In secondo luogo il riprocessamento permette di ridurre considerevolmente il volume dei prodotti altamente radioattivi da stoccare a lungo termine. Infine riutilizzare combustibile già irraggiato riduce sensibilmente il rischio di proliferazione rendendo il combustibile ritrattato non più adatto per la produzione di armi nucleari.

Uno sguardo al futuro

L'attuale ciclo del combustibile sfrutta, con i reattori attuali, solo una piccola parte dell'energia estraibile dall'uranio presente in miniera e lascia l'eredità di scorie che devono essere confinate per lunghi periodi di tempo. E' evidente che, per chiudere davvero il ciclo e per sfruttare al massimo le potenzialità del combustibile nucleare disponibile in natura, sono necessari non solo reattori termici con elevati tassi di bruciamento ma anche reattori di tipo "veloce", dove i neutroni non subiscono un processo di rallentamento per avviare la reazione di fissione. Tali reattori sono in grado di sfruttare molto meglio il combustibile che si trova in natura con una produzione di scorie nettamente diversa e assai meno problematica rispetto ai reattori attuali.

Al ritmo attuale di produzione di energia da fonte nucleare le riserve di uranio si traducono in una disponibilità di energia per circa 65 anni con il consumo dei reattori attuali di circa 66.000 tonnellate/anno. Tuttavia lo sfruttamento delle Risorse Addizionali Stimite del secondo gruppo (EAR-II) garantirebbero energia per altri 260 anni senza alcun processo di ritrattamento. Considerando anche le Risorse Speculative e trascurando l'uranio contenuto negli oceani si avrebbero altri 360 anni di produzione di energia.

Attualmente l'approvvigionamento di uranio si basa per il 50-60% sull'estrazione da miniera, il resto deriva da:

- stock di uranio naturale e/o arricchito di origine civile e militare. Negli anni precedenti è stato estratto più uranio di quanto effettivamente servisse: ciò ha portato negli anni ad un suo accumulo, dovuto in parte anche ad uno sviluppo della produzione di energia per via nucleare che è stato più limitato rispetto alle previsioni;
- riprocessamento del combustibile esaurito;
- utilizzo di ^{235}U di derivazione militare proveniente dallo smantellamento di testate nucleari.