

Risorse energetiche per missioni spaziali

Cat. "Autori"

Göktuğ Karacalıoğlu

(laureato in: *ingegneria meccanica, ingegneria gestionale e scienze spaziali, ricercatore presso il NASA Ames Research Center, California. Dottorando in Ricerca operativa*)

16 gennaio 2014

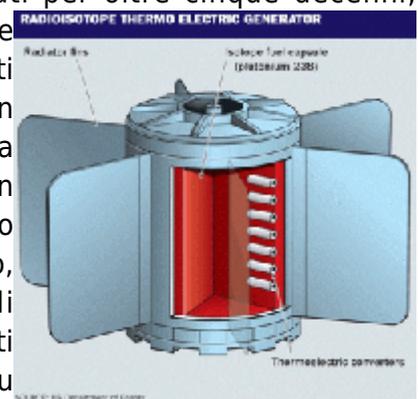
Traduzione: Extrapedia

Oggi l'energia è forse una delle fonti più critiche per l'umanità. Sulla Terra, utilizziamo diverse risorse energetiche come combustibili fossili (carbone, petrolio, ecc.), Energia nucleare ed energia rinnovabile (solare, eolica, geotermica, ecc.). Allo stesso modo, le missioni spaziali richiedono energia in diverse fasi del loro ciclo di vita e richiedono le proprie fonti di energia.

Per i satelliti in orbita attorno alla Terra, la tecnologia più avanzata è l'energia solare, in cui l'elettricità è generata dall'effetto fotovoltaico della luce solare su determinati substrati, in particolare silicio e germanio. Le missioni per lo studio del Sole e dei pianeti del sistema solare interno, come: Soho, Mercury Messenger e Venus Express, sfruttano anche l'energia solare, impiegando pannelli per generare l'energia elettrica necessaria per farli funzionare.

Tuttavia, poiché l'intensità della luce solare diminuisce con il quadrato della distanza dal Sole, l'energia solare diventa troppo debole oltre una certa distanza e il veicolo spaziale che è inviato verso il sistema solare esterno e, oltre, ha bisogno di una diversa fonte di energia per fare funzionare i suoi sistemi (la navicella spaziale Juno, lanciata nel 2011, sarà la prima missione, indirizzata per osservare Giove, che utilizzerà l'energia solare; tuttavia dovrà sfoderare tre enormi pannelli solari di 2,7mt x 8,9mt per soddisfare i requisiti di potenza). Anche per i lander e i rover che devono operare su superfici polverose, o sul lato oscuro dei pianeti, con ombre di lunga durata, l'energia solare non è un'opzione.

Per tali missioni, i sistemi di energia nucleare sono stati utilizzati per oltre cinque decenni, permettendoci di costruire una base di conoscenza su pianeti distanti e sullo spazio interstellare. I due tipi di base di energia nucleare utilizzati nello spazio sono i "reattori nucleari" e le "fonti di radioisotopi". In un sistema di reattori nucleari, la fonte di energia è il calore generato dalla fissione controllata dell'uranio. Questo calore è quindi trasferito da un refrigerante a scambio termico a un sistema di conversione statico o dinamico, che lo trasforma in elettricità. In un sistema radio-isotopico, come fonte di calore sono utilizzati isotopi chimici instabili (radioisotopi); ma, a differenza dei reattori nucleari, non sono utilizzati processi di fissione o fusione. Piuttosto, questa tecnologia si basa su materiali termoelettrici, tipi speciali di semiconduttori che generano una corrente elettrica quando un'estremità è mantenuta più calda dell'altra estremità. Maggiore è la differenza di temperatura e maggiore è la produzione di elettricità. Questi sistemi, generalmente indicati come generatori termoelettrici radio-isotopici (RTG), sono noti per essere semplici e molto affidabili, poiché non coinvolgono parti in movimento. Sono anche fonti di energia di lunga durata giacché funzionano fintanto che l'isotopo produce un utile livello di calore.

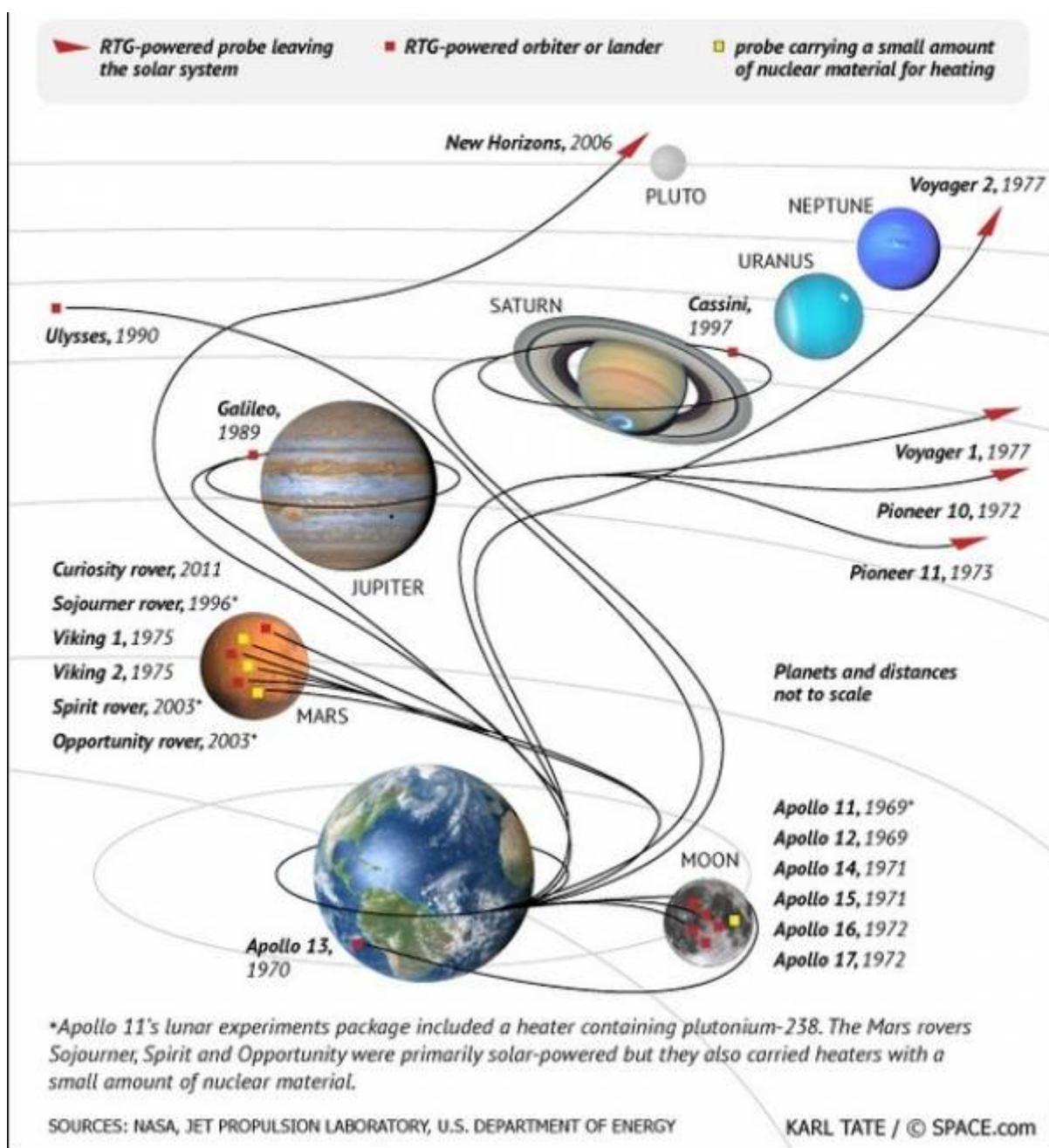


Finora gli Stati Uniti hanno testato un solo reattore nucleare nello spazio e per lo più hanno usato RTG nelle loro missioni. La Russia, al contrario, ha lanciato circa quaranta veicoli spaziali con impianti nucleari a bordo e alcuni con RTG. Tuttavia, se escludiamo l'astronave che orbita attorno alla Terra,

sarebbe corretto affermare che gli RTG sono stati il sistema di energia nucleare dominante per le missioni di esplorazione spaziale.

Il primo veicolo spaziale a propulsione nucleare, il satellite di navigazione Transit 4A, fu lanciato più di cinquant'anni fa, nel 1961. Da allora, decine di veicoli spaziali sono stati lanciati con RTG e hanno esplorato la Luna e quasi ogni pianeta del Sistema solare. In molti di questi casi, il radioisotopo non è stato utilizzato solo per la generazione di energia, ma anche per mantenere il veicolo spaziale caldo in ambienti freddi, su superfici planetarie o nello spazio profondo, il che è abbastanza critico per operazioni efficienti.

La figura seguente di [Space.com](https://www.space.com) mostra le sonde spaziali statunitensi che hanno trasportato RTG. Vale la pena ricordare che, dopo trentasette anni di attività, Voyager-1 è ora ufficialmente il primo oggetto creato dall'uomo a entrare nello spazio interstellare e si prevede che i suoi RTG continueranno a funzionare fino al 2025!



Cosa alimenta un RTG?

Il plutonio-238, con un'emivita di 88 anni, è il radioisotopo più utilizzato negli RTG. Con la sua elevata capacità termica, consente alle fonti di calore d'essere compatte e di generare livelli utili di energia dopo il processo di conversione del calore in elettrico. Un chilogrammo di Pu-238 può generare circa 560 watt di potenza termica.

Un altro vantaggio di Pu-238 sono le sue caratteristiche di emissione. Contrariamente a molti altri radioisotopi che rilasciano nocive radiazioni gamma o beta, il Pu-238 decade con un processo di emissione alfa, presentando livelli di radiazione gamma e neutroni eccezionalmente bassi. Poiché le particelle alfa possono essere fermate da materiale sottile come un foglio di carta, l'uso di Pu-238 elimina qualsiasi requisito di schermatura pesante per proteggere sia gli umani sia i veicoli spaziali dagli effetti radioattivi dell'isotopo.

In sintesi, Pu-238 è un materiale speciale con diverse caratteristiche uniche che l'hanno reso la scelta preferita per alimentare le missioni spaziali per decenni. Tuttavia, c'è un problema: non ne abbiamo più!



Naturalmente, questa situazione non si è manifestata all'improvviso. Il plutonio può essere trovato in tracce molto piccole ma Pu-238 è stato scoperto negli anni '40 dai ricercatori. È stato prodotto in diversi laboratori in tutto il mondo per diversi decenni. Tuttavia, gli Stati Uniti terminarono la produzione di Pu-238 nel 1988 con la fine della Guerra Fredda e aumentarono la domanda acquistando azioni dalla Russia. La Russia ha rinnegato un contratto per fornire gli Stati Uniti nel 2009 e, secondo un autore pubblicato su [Wired](#), Dave Mosher: "Non sono solo le riserve statunitensi a essere a rischio. Le scorte dell'intero pianeta sono quasi esaurite. La crisi nucleare è così grave che i ricercatori interessati la conoscono semplicemente come 'Il problema'". Mosher stima che la NASA rimanga con 15-16 chilogrammi di Pu-238 in giacenza, il cui potenziale energetico decade continuamente di circa un punto percentuale ogni anno. Considerando che ciascuna delle precedenti missioni spaziali a propulsione RTG utilizzava dai 3 agli 11 kg di Pu-238, questo stock sarà sufficiente per lanciare 2-3 piccole missioni verso lo spazio profondo nell'ultimo decennio.

Pu-238 Alternativa?

Considerando che Pu-238 è così scarso, non ci sono altri radioisotopi che possano sostituirlo o eseguirne il backup? In realtà, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta prendendo in considerazione combustibili nucleari alternativi per alimentare le sue prossime sonde che viaggiano nello spazio profondo. "Per considerarci un serio partner scientifico sulla scena mondiale con gli Stati Uniti, stiamo realizzando le nostre necessità nucleari per RTG di costruzione europea", ha dichiarato David Southwood, della direzione scientifica ed esplorazione robotica dell'ESA, in un'intervista a [Spaceflight Now](#).

Per essere una discreta fonte di energia RTG, un isotopo deve avere:

1. Buona densità di potenza, poiché le attuali efficienze di conversione energetica sono piuttosto basse.
2. Buona emivita, poiché mira a far funzionare il veicolo spaziale il più a lungo possibile.
3. Richiedere poca o nessuna schermatura, per non interferire con gli strumenti sensibili a bordo e anche per proteggere gli umani.
4. Elevato rapporto potenza/massa, per ridurre al minimo i requisiti di propulsione per lanciarlo

nello spazio.

Pu-238 è il carburante ideale perché mostra buone prestazioni in tutte e quattro le categorie. Altre possibili soluzioni come: lo Stronzio-90, il Polonio-210 (che è stato utilizzato nei vecchi RTG russi) e il Curio-242/244, mancano almeno di una delle proprietà sopra citate. L'unica possibilità ragionevole sembra essere l'Americium-241, che ha un'emivita più lunga (oltre 150 anni), ma circa $\frac{1}{4}$ di densità di potenza rispetto al Pu-238. L'Americium-241 esiste in grandi quantità, poiché è un sottoprodotto di normali reattori di potenza. Quindi, se i progetti RTG più efficienti dal punto di vista energetico, compensano la sua bassa densità di potenza, in futuro potrebbe essere un'alternativa fattibile come combustibile per veicoli spaziali. Tuttavia, essendo un emettitore di neutroni più aggressivo di Pu-238, l'Americio rappresenta un rischio maggiore di radiazioni per gli scienziati e gli ingegneri che lo gestiscono.

Adesso, la produzione mondiale di Am-241 è di pochi chilogrammi l'anno, la maggior parte dei quali è già utilizzata per soddisfare la domanda di rilevatori di fumo e misuratori di umidità. Secondo flightglobal.com, il direttore della scienza spaziale BNSC, David Parker, affermerebbe che Harwell (la nuova struttura dell'ESA nel Regno Unito) studierà l'Americio come alternativa a Pu-238 e l'Università di Oxford sta studiando la tecnologia a infrarossi come soluzione alternativa di conversione.

I ricercatori hanno anche discusso del potenziale uso di un più raro isotopo di americio, Am242m, nelle applicazioni spaziali. Questo isotopo può essere creato quando l'Americium-241 assorbe un neutrone e genera una reazione di fissione molto efficiente. Tuttavia, è necessario condurre altri studi prima di poter tentare qualsiasi applicazione reale.

Disegni RTG più efficienti

Gli attuali sistemi RTG in uso, chiamati generatori termoelettrici a radioisotopi multi-missione (MMRTG), convertono circa solo l'8 percento dell'energia termica rilasciata in elettricità. Pertanto, un aumento dell'efficienza di conversione dei RTG è un requisito e una sfida ingegneristici attuali, indipendentemente dal fatto che siano gestiti con Pu-238, o qualsiasi altro combustibile alternativo. Un nuovo concetto di design chiamato Advanced Stirling Radioisotope Generator (ASRG) è stato studiato per oltre un decennio presso la NASA, utilizzando un ciclo termodinamico Stirling per estrarre elettricità da Pu-238.

Il motore Stirling funziona riscaldando e modificando la pressione del gas all'interno, provocando un movimento del pistone. Tuttavia, sebbene questo concetto generi quasi quattro volte più elettricità per la stessa quantità di plutonio rispetto agli attuali RTG, potrebbe fissare un limite alla vita utile del veicolo spaziale poiché comporta parti in movimento che potrebbero influenzare gli strumenti sensibili a bordo per la continua vibrazione.



Video

L'aspetto della sicurezza

Così com'è sempre stato un punto di discussione per i sistemi nucleari terrestri, anche “l'aspetto sicurezza” dell'energia nucleare nello spazio dovrebbe essere sempre tenuto presente e messo in discussione. Rispetto agli isotopi alternativi, i funzionari della sicurezza affermano che il Pu-238 è il combustibile più sicuro per i veicoli spaziali a propulsione nucleare. All'interno della serie disponibile di carburanti, quest'affermazione potrebbe essere corretta per le condizioni operative nominali in una missione, ma cosa succede se la missione fallisce?

Per ridurre al minimo il rischio di rilascio di materiale radioattivo, il Pu-238 è immagazzinato in singole unità con la propria schermatura termica in RTG. Sono circondati da uno strato d'iridio e racchiusi in blocchi di grafite ad alta resistenza. Questi due materiali sono resistenti alla corrosione e al calore. Un aeroshell circonda i blocchi di grafite e protegge l'intero complesso dal calore sviluppatosi durante il rientro nell'atmosfera terrestre.

Secondo i [rapporti della NASA](#), per l'uso come combustibile in un RTG, Pu-238 è trasformato con altri materiali in una forma ceramica chiamata biossido di plutonio. Poiché le emissioni di plutonio non penetrano nella pelle, il principale pericolo del biossido di Pu-238 occorre se sia in qualche modo polverizzato in particelle molto piccole che possano essere inalate, irradiando gli organi interni. Particolarmente a rischio è lo scheletro, la cui superficie è suscettibile di assorbire l'isotopo e il fegato, dove lo stesso si raccoglierà e si concentrerà. Tuttavia, nell'improbabile caso di un incidente di lancio o rientro che abbia rilasciato il combustibile, la forma ceramica dovrebbe rompersi principalmente in pezzi grandi, non inalabili, anziché in particelle fini che potrebbero essere dannose per la salute umana o l'ambiente. Questa forma ceramica ha anche un'alta temperatura di fusione e una bassissima solubilità in acqua.

Come spiegato in precedenza, i sistemi di energia nucleare possono essere utilizzati sia per i satelliti in orbita attorno alla Terra sia per missioni planetarie più distanti. Tuttavia, entrambe queste missioni iniziano con una fase di lancio, dove ci si aspetta che accadano la maggior parte degli errori. Sono stati investiti molti sforzi per rendere ogni RTG moderno in parte impervio agli scenari più probabili d'incidenti di lancio, ma la dichiarazione d'impatto ambientale della NASA conclude ancora che esiste una possibilità su 350 di un incidente di lancio in cui il plutonio potrebbe essere rilasciato nell'ambiente. Una volta che il lancio ha successo, la regola empirica per i satelliti in orbita terrestre

bassa che trasportano nuclei di reattori nucleari è quella di espellere questi nuclei in un'orbita di smaltimento più elevata alla fine della missione, dove rimangono alcune centinaia di anni e perdono gran parte della loro energia nucleare.

Fare un passo indietro e guardare alla storia può fornire una migliore comprensione del problema. Il primo incidente nucleare nello spazio è indicato dalla missione satellitare Transit 5BN-3 degli USA, che non riuscì a raggiungere l'orbita nel 1964, rilasciando il suo Pu-238 nell'atmosfera terrestre a un'altitudine di 50 km. Nel 1968, il satellite meteorologico Nimbus B-1 degli Stati Uniti esplose quando il veicolo di lancio fu distrutto intenzionalmente poco dopo il decollo. Cinque mesi dopo il RTG fu recuperato dal fondo del Canale di Santa Barbara nell'Oceano Pacifico al largo della California, quindi non era stato rilasciato materiale radioattivo. Nel 1969, i primi rover Lunokhod dell'URSS furono lanciati da Baikonur con un altro isotopo a bordo, il polonio 210. Tuttavia, il razzo è esploso e la radioattività è stata diffusa su una vasta area della Russia. Un guasto di un altro veicolo di lancio dell'URSS causò la caduta di un pezzo nucleare nell'oceano Pacifico, a nord del Giappone, nel 1973. Cinque anni dopo, il satellite Cosmos 954 dell'URSS rientrò accidentalmente nell'atmosfera terrestre, disperdendo circa 50 kg di uranio radioattivo 235 sul nord del Canada. Sebbene questa zona fosse scarsamente popolata, diversi residenti furono accidentalmente esposti alle radiazioni - nessuno con conseguenti danni gravi - prima che un'importante campagna di recupero riuscisse a ripulire una superficie totale di 124.000 chilometri quadrati nel corso di quasi un anno (questo incidente è ancora il primo e unico caso in cui la Convenzione delle Nazioni Unite sulla responsabilità del 1972 fu invocata tra due firmatari). Un altro fallimento fu Cosmos 1402 dell'URSS, nel 1983. Alla fine del periodo operativo di quel satellite, il nucleo del reattore non si separò e fu inviato in un'orbita più alta come previsto.



Un altro importante incidente che ha coinvolto RTG è stata l'eroica missione Apollo 13, nota come "fallimento riuscito" nella storia dello spazio. Questa missione è fortunatamente terminata con il ritorno degli astronauti sulla Terra in sicurezza, ma non solo loro, anche il loro RTG, che doveva essere lasciato indietro sulla superficie della Luna. L'RTG e i suoi 3,9 chilogrammi di biossido di plutonio sono precipitati nella fossa di Tonga nell'oceano Pacifico, dove rimarrà radioattivo per i prossimi 2000 anni. I successivi test dell'acqua hanno dimostrato che l'RTG non perde la radioattività nell'oceano.

Un fallimento più recente è stato Mars 96, una missione russa su Marte, che non è riuscita a sfuggire alla Terra ed è precipitata sul Cile dopo il suo rientro nel 1996. Sebbene sia stato affermato che inizialmente il veicolo spaziale si era schiantato nell'oceano, successive analisi hanno dimostrato che è ragionevole che l'impatto sia avvenuto effettivamente sulla terra. Il veicolo spaziale, che era equipaggiato con 200 grammi di Pu-238, non è mai stato recuperato poiché non è stato possibile determinare la posizione, o le posizioni, esatte dell'impatto.

L'elenco sopra riportato non è in alcun modo completo, ma dà un'idea degli effetti di possibili guasti accidentali nelle missioni spaziali a propulsione nucleare. Tuttavia, questo non è l'unico pericolo. Come accennato in precedenza, i noccioli nucleari degli RTG sono espulsi in un'orbita più elevata alla fine della vita di un satellite che deve rientrare. Ciò significa che ora ci sono chilogrammi di scorie nucleari che ruotano intorno alla Terra. Sebbene improbabile, qualsiasi collisione di queste particelle con altre particelle di detriti spaziali potrebbe spostarle verso orbite inferiori con conseguente rientro incontrollato.

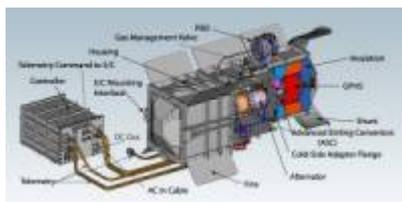
Considerando i fallimenti precedenti, le caratteristiche scientifiche e gli attuali miglioramenti della progettazione, possiamo dedurre che gli RTG alimentati con Pu-238 sono sistemi sicuri a meno che

non vi sia stata un'esposizione diretta a livello locale. Questa è una situazione improbabile, anche se il resoconto del consulente spaziale della NBC [James Oberg](#) su un incidente mostra che non è impossibile: “Dopo l'esplosione di un razzo vicino al cosmodromo di Baikonur nel 1970, i soldati sovietici trovarono una batteria nucleare nel relitto. Più tardi, gli investigatori alla ricerca della batteria hanno scoperto che i soldati infreddoliti l'avevano tenuta segretamente come scaldamani nel loro corpo di guardia scarsamente riscaldato”.

Pertanto, pur continuando a utilizzare i radioisotopi, e i sistemi RTG, è necessario tenere sempre a mente tutte le possibili modalità di guasto e prendere le opportune precauzioni per ciascuno di essi.

Situazione attuale

Durante il 2013, la Comunità di esplorazione dello spazio ha ricevuto alcune buone notizie e, altre meno buone, dalla NASA. La buona notizia è che, dopo lunghi anni di dibattiti per trovare il budget per riattivare la produzione di Pu-238, gli Stati Uniti hanno riavviato la produzione di questo radioisotopo nel reattore ad alto flusso di Oak Ridge. Tuttavia, la produzione è ancora a livello di laboratorio e per quantità molto ridotte. La NASA stima una necessità di 2 kg/anno di Pu-238 solo per le sue missioni planetarie robotiche, il che potrebbe essere soddisfatto una volta che la produzione raggiungerà il suo massimo stimato nel 2018 o 2019. In ogni caso, qualsiasi missione con equipaggio in futuro avrà sicuramente bisogno di quantità sempre maggiori di isotopo.



In termini di nuovi progetti RTG, Lockheed Martin Space Systems stava lavorando su ASRG per la NASA e si prevedeva che due ASRG, pronti per il volo, potessero essere consegnati nel 2016. Prima della fine del 2013, il direttore della Divisione di scienza planetaria della NASA, Jim Green, ha annunciato che il programma di sviluppo ASRG è stato annullato a causa di vincoli di budget: “Con un'adeguata fornitura di plutonio-238 e considerando l'attuale ambiente limitato dal budget, la NASA ha deciso di interrompere l'acquisto di hardware di volo ASRG. L'hardware acquistato nell'ambito di quest'attività sarà trasferito al Glenn Research Center per continuare lo sviluppo e il collaudo della tecnologia Stirling”.

Missioni future

Secondo i piani attuali, la prossima missione di utilizzare RTG sarà una copia del rover Mars Curiosity. Si stima che questa missione sarà lanciata nel 2020 e dovrebbe includere circa 4 kg di Pu-238. Un'altra missione pianificata negli anni '20 è una sonda di punta per studiare Europa, la luna di Giove. Considerando questi piani, è utile sapere che gli Stati Uniti hanno preso provvedimenti per avviare la produzione di Pu-238, anche se è dubbio che i tassi di produzione soddisferanno la domanda richiesta. È anche noto che l'Europa sta conducendo studi su radioisotopi alternativi, stimando risultati concreti entro la fine di questo decennio, che potrebbero fungere da riserva.

Ogni missione spaziale ha un certo livello di rischi per la salute e la sicurezza, nonché problemi di bilancio. Mettersi in una zona completamente priva di rischi bloccherebbe le nostre capacità di esplorazione e vincolerebbe la scienza spaziale che mira a portare benefici a tutta l'umanità. Dovremmo, quindi, raccogliere la sfida tutti assieme per mitigare con successo questi rischi e tutte le nazioni con programmi spaziali dovrebbero contribuirvi sia tecnicamente sia finanziariamente.

Poiché i rischi ambientali dell'energia nucleare svaniscono per lo più una volta che un'astronave fugge dalla gravità terrestre, una politica per limitare l'uso di questi sistemi solo alle missioni spaziali che viaggiano oltre l'orbita terrestre minimizzerebbe qualsiasi risultato indesiderabile. Anche gli studi d'ingegneria per la progettazione di sistemi nucleari più sicuri ed efficienti - non necessariamente RTG - dovrebbero continuare in parallelo, al fine di aumentare il livello di preparazione per possibili

missioni con equipaggio sulla Luna e su Marte.

Poiché le centrali nucleari possono essere utilizzate non solo come fonte di energia elettrica, ma anche come fonte di calore e propulsione, potrebbero essere la nostra unica scelta per raggiungere e supportare la vita e le attività produttive delle basi oltre il pianeta Terra.

Extrapedia Autori
16 gennaio 2014
[Credits](#)

From:

<https://extrapedia.org/> - **Extrapedia**

Permanent link:

https://extrapedia.org/db/risorse_energetiche_per_missioni_spaziali

Last update: **10/06/2021 17:13**

