

I vantaggi di fare rifornimento sulla Luna

Nel contesto attuale della Space economy, caratterizzato da un approccio più commerciale all'utilizzo dello spazio, il vero ostacolo sta nel reperimento del propellente: il trasporto da Terra è ancora antieconomico. Le stazioni di rifornimento in orbita diventano quindi economicamente interessanti, potendo fungere da catalizzatori per una gamma più ampia di servizi

EDOARDO VITTORI

Space economy evolution (See) Lab,
Sda Bocconi school of management

Il 15 febbraio 2024 ha segnato una pietra miliare nella cronologia della Space economy: il *lander* *Odysseus* della classe *Nova-C* di *Intuitive machines* ha compiuto un atterraggio di successo sulla Luna. *Intuitive machines* è un'azienda fondata nel 2013 con sede a Houston, che nel 2019 ha vinto un contratto di 77 milioni di dollari da parte della Nasa per costruire il *lander*. La peculiarità di questa missione risiede nella sua paternità che si può attribuire al settore commerciale. Infatti non solo il *lander*, ma anche il razzo (di SpaceX) che lo ha portato sul nostro satellite sono frutti dell'ingegno e dell'investimento di aziende private. Ciò segnala un cambiamento epocale nel paradigma del settore.

In passato esplorazione e sfruttamento dello spazio erano ambiti esclusivi di agenzie governative; oggi la Space economy vede un proliferare di *start up* innovative e l'afflusso di capitali privati. L'atterraggio dell'*Odysseus* simboleggia e concretizza questo cambiamento, offrendo l'anteprima di un futuro in cui lo spazio diventa terreno fertile per imprese commerciali.

In questa nuova economia extra-atmosferica, le stazioni di rifornimento orbitanti potrebbero giocare un ruolo cruciale. Rappresenterebbero nodi vitali per mantenere ed espandere la presenza umana

nello spazio, agendo come catalizzatori per ulteriori esplorazioni e per la nascita di nuove industrie in un settore inaspettatamente diventato accessibile. È dunque il momento di esaminare la fattibilità economica di investire in infrastrutture come una rete di rifornimento in orbita.

Vent'anni fa intraprendere un viaggio con le prime auto elettriche significava pianificare ogni tratto, considerando l'accesso limitato a punti di ricarica. Ogni spostamento richiedeva un calcolo preciso dell'energia disponibile per evitare di rimanere a secco. L'esplorazione spaziale odierna affronta una situazione simile: ogni missione deve essere lanciata con tutto il carburante necessario per il viaggio di andata e ritorno, consumando la maggior parte di esso solo per superare la gravità terrestre. La presenza di stazioni di rifornimento spaziali cambierebbe radicalmente questo quadro, espandendo significativamente il raggio d'azione e le capacità di carico delle navette spaziali.

Nel contesto attuale della Space economy, caratterizzato da un approccio più commerciale all'utilizzo dello spazio, il concetto di stazioni di rifornimento in orbita diventa economicamente interessante. Tali stazioni potrebbero fungere da catalizzatori per una gamma più ampia di servizi,

Ricchezze lunari

La Luna è una potenziale fonte di idrogeno e ossigeno liquidi, componenti primari del carburante per razzi. Una volta confermate le ricchezze lunari, sarà necessario realizzare gli impianti lunari di estrazione ed elaborazione del propellente.

Stazioni di rifornimento

Allo stesso tempo è necessario creare un'infrastruttura di distribuzione del carburante per portarlo dalla superficie lunare a dei depositi orbitanti:

delle vere e proprie stazioni di rifornimento.

I vantaggi

Per trasportarne un chilo è necessario un chilo di carburante: questo significa che sulla Luna sono richieste 560 tonnellate di propellente. Se assumiamo che l'azienda che produce il propellente sulla Luna lo venderà a 600 dollari al chilo, si genera un costo di acquisto del carburante di 340 milioni.

in maniera simile a come le attuali tecnologie satellitari hanno rivoluzionato la comunicazione, la navigazione e la geolocalizzazione.

Il vero ostacolo sta nel reperimento del propellente: il trasporto da Terra è antieconomico (costa fino a quattromila dollari al chilo), ed ecologicamente oneroso. Qui la Luna entra in gioco come una potenziale fonte di idrogeno e ossigeno liquidi, componenti primari del carburante per razzi. La bassa gravità lunare, un sesto di quella terrestre, favorisce l'estrazione e il trasporto, ma prima di intraprendere un'operazione su larga scala è essenziale condurre esplorazioni approfondite per confermare se vi è ghiaccio lunare a sufficienza. Per analizzare dunque la possibilità di costruire stazioni di rifornimento orbitanti, bisogna prendere spunto da lavori di ricerca come *Preliminary analyses on technical and economic viability of moon-mined propellant for on-orbit refueling* (Andrea Sommariva et al. Acta Astronautica 204, 2023) e simili. Si parte con la fase esplorativa che, con un *budget* di ottocento milioni di dollari, è tutta concentrata sullo *scouting* delle riserve di ghiaccio lunare. Se il *caveau* lunare non è abbastanza ricco, il progetto si ferma qui.

Una volta confermate le ricchezze lunari, è il

momento di costruire. Nel corso di quattro anni sarà necessario realizzare gli impianti lunari di estrazione ed elaborazione per estrarre ghiaccio e trasformarlo in propellente. Allo stesso tempo è necessario creare un'infrastruttura di distribuzione del carburante per portarlo dalla superficie lunare a dei depositi orbitanti, che sono delle vere e proprie stazioni di rifornimento. Questa fase ha un costo complessivo di oltre sette miliardi di dollari, che includono sia la progettazione e la costruzione degli impianti e dei veicoli necessari, sia il costo per trasportare tutto il materiale dalla Terra alla Luna.

Entriamo nella fase operativa, il cuore del progetto, pensato per durare 15 anni o più. Il flusso di cassa è costituito da ricavi generati dalla vendita del carburante a razzi e satelliti e costi per mantenere e aggiornare l'infrastruttura. Assumiamo di avere la prima stazione di rifornimento situata nel punto lagrangiano, un punto speciale in quanto lì non vi è gravità; infatti è dove la gravità della Terra e quella della Luna si annullano. Nel primo anno di operazioni ci aspettiamo un fabbisogno di 280 tonnellate di carburante all'anno al prezzo di tremila dollari al chilo, generando profitti per 840 milioni per la stazione di rifornimento lagrangiana. Andando a guardare i costi operativi, essi sono stimati a

