



DIPARTIMENTO DI IMPRESA E MANAGEMENT

CATTEDRA: MACROECONOMIA

ASTEROID MINING E OUTER SPACE ECONOMY

RELATORE

PROF. SALVATORE NISTICÓ

CANDIDATO

SILVIO DE SIMONE 255121

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE:

- Introduzione
- Capitolo 1: Basi dell'*asteroid mining* e della *space economy*
 - *Asteroid mining*: risorse disponibili
 - Piani per l'estrazione
 - TRL delle operazioni
 - Economicità delle operazioni
 - I settori dello spazio
 - Legalità delle operazioni
- Capitolo 2: Teoria economica applicabile
 - La piccola economia aperta che è l'"*outer space*"
 - La crescita economica di lungo periodo dell'*outer space economy*
 - Teoria dei beni in relazione all'*asteroid mining*
 - I distretti industriali ed i "clusters di imprese"
 - Relazioni tra macroeconomia ed *outer space economy* attraverso l'*Oxford scenario planning approach*
- Capitolo 3: Come si crea l'*outer space economy*
 - Attori pubblici
 - Attori privati
 - Gli *hub* dell'imprenditoria spaziale
 - Opposizione all'imprenditoria spaziale
- Conclusioni
- Bibliografia
- Sitografia

Introduzione

La seguente tesi, si pone l'obiettivo di analizzare il fenomeno dell'economia dello spazio, fornire un quadro quanto più completo possibile della letteratura accademica in merito, che al momento manca, vista anche la novità dell'argomento, e cercare i collegamenti tra la teoria economica e la realtà per trovare le migliori strategie per accompagnare la nascita di questo nuovo settore e questo nuovo "mondo", con un focus sull'*asteroid mining*. Nel primo capitolo vengono esposti i concetti ed i dati alla base della creazione di quella che viene chiamata "*space economy*", vengono date risposte a domande come: "perché l'*asteroid mining* è utile per l'umanità?", "è possibile oggi effettuare operazioni di *asteroid mining*?", "è conveniente oggi da un punto di vista puramente economico, per un'impresa privata, gettarsi nel settore estrattivo spaziale?", "quali sono i limiti posti dalla legislatura internazionale a questo tipo di operazioni?", "quali sono i settori più importanti della *space economy*?". Nel secondo capitolo vengono invece esposte le nozioni e le teorie di diverse discipline economiche, come macroeconomia, microeconomia ed economia industriale e vengono applicate all'argomento dell'"*outer space economy*", nonostante il focus sia solo su queste discipline, all'interno della tesi vengono utilizzate altre nozioni economiche tipiche di insegnamenti diversi, come economia aziendale e marketing. Nel terzo ed ultimo capitolo vengono analizzati quali siano i protagonisti della creazione di questo nuovo fenomeno economico: gli attori pubblici, quelli privati e anche quali sono le argomentazioni portate a favore e contro lo sviluppo di quello che viene definito "*NewSpace*" nonostante, per motivi di chiarezza e di continuità del discorso, si faccia riferimento a questi attori anche in altri punti della tesi.

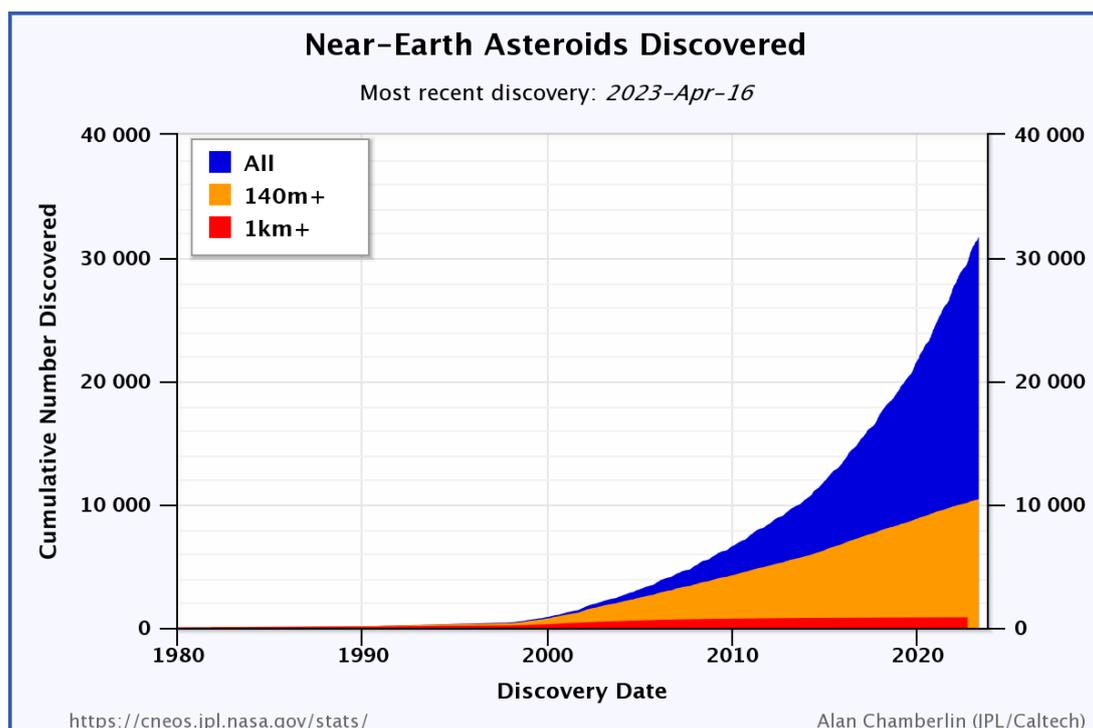
Capitolo 1: Basi dell'asteroid mining e della space economy

1.1 Asteroid mining: risorse disponibili

Nel corso della propria storia l'umanità è riuscita a prosperare sfruttando le risorse che il pianeta le ha sempre offerto. Nel tempo l'uomo ha migliorato la tecnologia a propria disposizione per sfruttare al massimo le potenzialità dei beni acquisiti e contemporaneamente ha cercato di ottenere sempre più ricchezze spinto dalla consapevolezza che le risorse non fossero infinite. Fenomeni come la colonizzazione e la ricerca di nuove terre da poter sfruttare ne sono la prova; e così come nel 1492 la scoperta delle Americhe ha portato l'economia Europea a poter sfruttare una quantità di beni prima inimmaginabile, nel 1969 l'allunaggio ha portato i primi membri della comunità scientifica a valutare le possibilità di *asteroid mining*.

Si definisce *asteroid mining* l'estrazione di materiali da asteroidi ed altri corpi celesti. Così come nel '500 le zone costiere delle Americhe erano le più facili da conquistare e sfruttare, oggi sui *NEAs* (near earth asteroids) vengono riversate la maggior parte delle attenzioni per l'estrazione delle risorse in essi contenute. Col passare degli anni le agenzie spaziali dei maggiori paesi al mondo hanno trovato e classificato 31.709 *NEAs* e come si può vedere dal grafico il numero è in crescita esponenziale.

Figura 1. Numero cumulato di asteroidi *near-earth* scoperti



(Fonte: Discovery Statistics, Center for Near Earth Object Studies, CNEOS)

La comunità scientifica ha nel tempo classificato gli asteroidi in diverse categorie e sottocategorie, le più rilevanti per l'obiettivo che si pone la tesi sono:

- Asteroidi di tipo C (*chondrite*) che rappresentano la categoria di gran lunga più capiente, della quale fanno parte circa il 75% degli asteroidi conosciuti. Sono formati per la maggior parte di carbonio oltre a rocce e minerali, sono ricchi di cosiddetti “*volatiles*” ossia elementi e composti chimici vaporizzati; caratteristica che, come si vedrà in seguito, li rende interessanti da un punto di vista economico
- Asteroidi di tipo S (*stony*) è questa la seconda categoria più grande della quale fanno parte circa il 17% degli asteroidi conosciuti. Sono composti per la maggior parte da silicati di ferro e magnesio e la loro alta densità li rende poveri di “*volatiles*”
- Asteroidi di tipo M (*metallic*) di questa categoria fanno parte circa l'8% degli asteroidi conosciuti. Vengono così chiamati poiché ricchi di metalli (per esempio ferro o nickel)

Tabella 1. Composizione chimica di diverse tipologie di asteroidi

Table 3: **Minerological, Chemical and Physical Properties of Asteroids.** We show four different asteroids based on four different meteorites. Note that meteorites vary dramatically in composition, and below we show only sample meteorites from within just four categories (from O'Leary et al. [1979] and Apollo 11 lunar soil sample data).

	Mineral	C2-type	C1-type	S-type	M-type	Lunar Regolith
Free metals	Fe	10.7%	0.1%	6-19%	88%	0.1%
	Ni	1.4%	—	1-2%	10%	—
	Co	0.11%	—	0.1%	0.5%	—
Volatiles	C	1.4%	1.9-3.0%	3%	—	0.014%
	H ₂ O	5.7%	12%	0.15%	—	0.045% ⁶
	S	1.3%	2%	1.5%	—	0.12%
Mineral oxides	FeO	15.4%	22%	10%	—	15.8%
	SiO ₂	33.8%	28%	38%	—	42.5%
	MgO	23.8%	20%	24%	—	8.2%
	Al ₂ O ₃	2.4%	2.1%	2.1%	—	13.8%
	Na ₂ O	0.55%	0.3%	0.9%	—	0.44%
	K ₂ O	0.04%	0.04%	0.1%	—	0.15%
	P ₂ O ₅	0.28%	0.23%	0.28%	—	0.12%
	CaO	—	—	—	—	12.1%
TiO ₂	—	—	—	—	7.7%	
Physical	Density (g/cm ³)	3.3	2.0-2.8	3.5-3.8	7.0-7.8	1.5-1.9

Fonte: ROSS, Shane D. 2001, *Near-earth asteroid mining*. Space, 1-24.

Le possibilità di ricavare un profitto da una missione di *asteroid mining* che ha l'obiettivo di estrarre risorse e riportarle sulla terra, come si vedrà più avanti, sono scarse. Per spiegare quindi

come l'*asteroid mining* possa contribuire allo sviluppo economico basta riportare le parole dell'*American Institute of Aeronautics and Astronautics*: “cosa vale di più nel mezzo del deserto del Sahara? Un litro d'acqua o un chilo d'oro?” allo stesso modo nello spazio aperto avranno un valore maggiore quei beni che possono essere utilizzati in loco per gli alti costi che ha il trasporto dei suddetti. I materiali disponibili che meritano maggiore attenzione sono quindi:

- Acqua, di gran lunga la più utile delle risorse, può essere utilizzata come “life support” oltre che come propellente, per l'agricoltura ed infine come scudo dalle radiazioni, così come il ghiaccio, che ha i medesimi utilizzi
- I *PGMs* (*platinum group metals*), sono l'unico gruppo di materiali che potrebbe risultare economicamente profittevole da esportare sulla terra, con il verificarsi di alcune condizioni che verranno esaminate successivamente
- Regolite, che racchiude tutti quei sedimenti, polveri e frammenti di materiale che formano lo strato esterno della superficie di alcuni corpi celesti. Gli utilizzi nello spazio variano dallo *shielding* delle radiazioni alla creazione di terriccio per l'agricoltura e all'edilizia spaziale
- Altri metalli (polverizzati) che serviranno per la produzione nello spazio di beni come piattaforme di atterraggio, serbatoi, bigli e altri strumenti per il mining

1.2 Piani per l'estrazione

Come già anticipato, i primi interessi della comunità scientifica verso l'*asteroid mining* risalgono al 1969, visto l'enorme interesse mediatico che l'allunaggio aveva portato sull'argomento. Nel tempo si è cominciato a valutare quali asteroidi fossero più indicati per le missioni spaziali, quali fossero i benefici economici o di ricerca delle missioni di questo genere ed anche, negli anni 90, se l'estrazione di materiali dallo spazio potesse rivelarsi un valido sostituto sostenibile all'estrazione di minerali terrestri. Nel 2001 il professore in “*Aerospace & Ocean Engineering*” al *Virginia Polytechnic Institute and State University*, Shane D. Ross, ha pubblicato il suo “*space industry report*” dove espone un'idea che sarà poi tra le maggiormente accreditate per l'*asteroid mining*: portare un *NEA* in orbita terrestre. Nella pubblicazione, il professor Ross spiega come alterare la traiettoria di asteroidi di diverso tipo e come frenare poi il corpo celeste in modo da lasciarlo orbitare attorno alla Terra. I metodi esposti sono:

- Usare un carburante “*asteroid-derived*” per attivare dei propulsori
- Usare un “*aerobrake*” fabbricato sulla terra, sull'orbita terrestre bassa, o sull'asteroide
- Usare la forza gravitazionale della luna e far intersecare la traiettoria dell'asteroide con l'orbita lunare

Nel 2010 sotto l'amministrazione Obama, la NASA ha istituito l'*Asteroid Redirect Mission* o ARM con l'obiettivo di far sbarcare un equipaggio su un asteroide entro il 2025, tuttavia l'obiettivo è poi diventato quello di portare un asteroide in orbita lunare per poterlo analizzare. I primi studi sono iniziati nel 2012 e hanno dato vita a tecnologie come la "*solar electric propulsion*" che sono vitali per future missioni spaziali. Nel 2015 è stato anche scelto l'asteroide: il (341843) 2008 EV5 dal quale si doveva estrarre un masso di circa 4 metri tramite dei bracci robotici. L'11 dicembre 2017 la missione è stata annullata dalla "White House Space Policy Directive 1", anche in seguito a critiche circa l'utilità del recuperare campioni di asteroidi già largamente analizzati.

Contemporaneamente, nel 2012, sono stati resi disponibili i risultati degli esperimenti del "*Phase I NASA Innovative and Advanced Concepts*" per il "*Robotic Asteroid Prospector (RAP) team*" concludendo che, dati gli enormi costi che avrebbe il trasporto di un asteroide nel sistema Terra-Luna, non ci sono possibilità che un'operazione del genere possa essere profittevole. Le scoperte hanno avuto profonde implicazioni sull'ARM e sui ritorni economici che prometteva. La missione non è però ritenuta priva di utilità, infatti nello stesso documento vengono descritti i vantaggi del riportare un asteroide nel sistema Terra-Luna: "testare e migliorare le capacità umane circa le operazioni nello spazio, sviluppare astronavi per future missioni di *asteroid mining*, avere un campo di addestramento per gli astronauti che potrebbero testare le caratteristiche necessarie per operazioni di questo tipo ed infine, avere un banco di prova per le operazioni di estrazione e di mining e per le tecnologie per processare i materiali in condizioni di gravità quasi nulle" (Fonte : ZACNY, Kris, et al. Asteroid mining. In: *AIAA Space 2013 Conference and Exposition*. 2013. p. 5304).

Altri oggetti di studio molto importanti del *RAP team* sono state le "*mining functions*" e gli "*asteroid mining approaches*". Le prime sono gli step che caratterizzano ogni operazione di mining (sia sulla terra che nello spazio); in particolare le fasi sono:

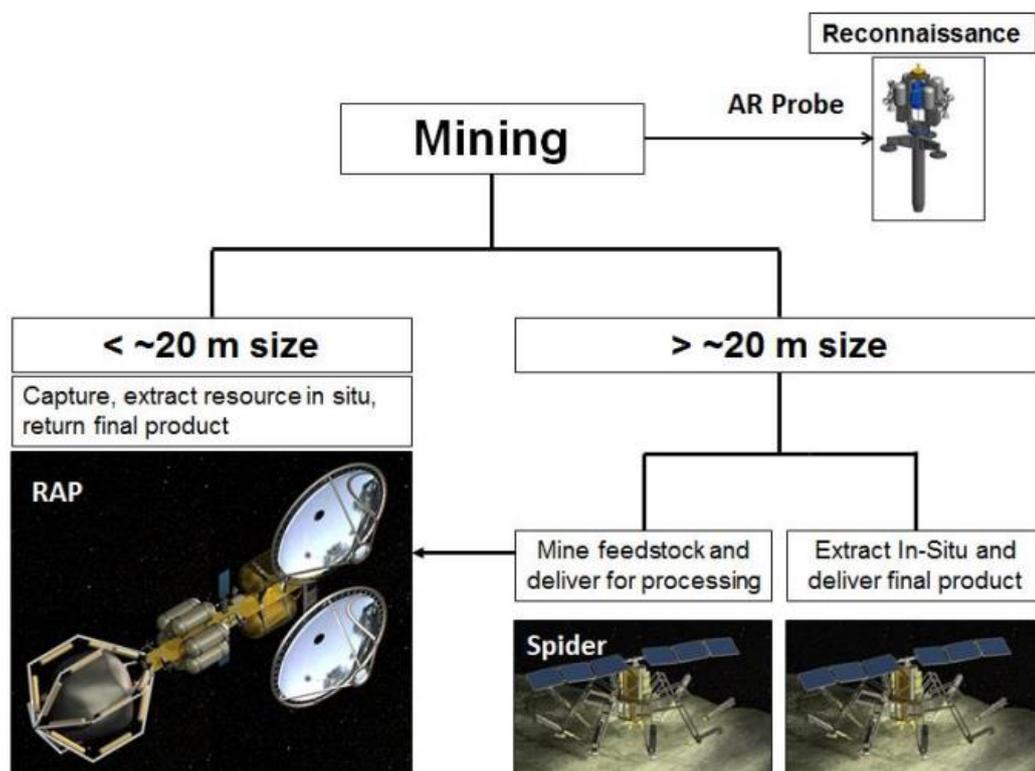
- *Prospecting*, volta alla ricerca e alla definizione della portata, della posizione e del valore del corpo minerale
- *Excavation* volta all'estrazione dei minerali dal corpo
- *Processing* diviso in *Comminution* dove si riduce la dimensione media delle particelle e *Concentration* dove si aumenta la concentrazione dei minerali ricercati
- *Extraction* volta all'estrazione dei metalli dai minerali e se presenti in forma di lega devono essere de-legati
- *Storage* dove le risorse raffinate vengono immagazzinate in un involucro protettivo

Negli asteroidi di interesse si può assumere che la concentrazione di minerali sia relativamente uniforme, eccezion fatta per quei minerali presenti nella regolite. Ci sono inoltre diverse opzioni da tenere in considerazione circa le operazioni di *excavation* ed *extraction* : possono essere svolte in

situ, le risorse una volta scavate possono essere trasportate altrove per l'estrazione dei metalli o, come già precedentemente visto, si può decidere di spostare l'asteroide verso un impianto di estrazione. La "comminution" è un processo molto costoso ed inefficiente dal punto di vista energetico, sarebbe quindi consigliabile il *mining* di regolite polverizzata, invece che sezioni del corpo minerale. Per quanto riguarda lo *storage* è chiaro che i *volatiles* verranno pressurizzati, i metalli verranno immagazzinati in contenitori sigillati per evitare la perdita di questi ultimi, ed infine l'acqua potrebbe essere raccolta in cilindri pressurizzati per facilitarne il riscaldamento e la sublimazione.

Per quanto riguarda invece gli "asteroid mining approaches" l'immagine elaborata dal RAP team spiega le modalità teorizzate per le missioni, in particolare queste prevedono lo *scouting* preventivo dell'asteroide di interesse tramite "Asteroid Reconnaissance Probes" o "AR Probes", completamente robotici, piccoli in dimensioni ed economici; successivamente, in base alle dimensioni dell'asteroide, questo verrà o processato in situ (in questo caso però la quantità di acqua estraibile non basterebbe per fornire abbastanza carburante per il viaggio di andata e di ritorno), o il RAP team potrà decidere di schierare una serie di robot scavatori che sono già stati progettati chiamati "spiders".

Figura 2. Piani del RAP team per l'estrazione di risorse dagli asteroidi



Fonte: ZACNY, Kris, et al. 2013, Asteroid mining. In: *AIAA Space 2013 Conference and Exposition*. p. 5304.

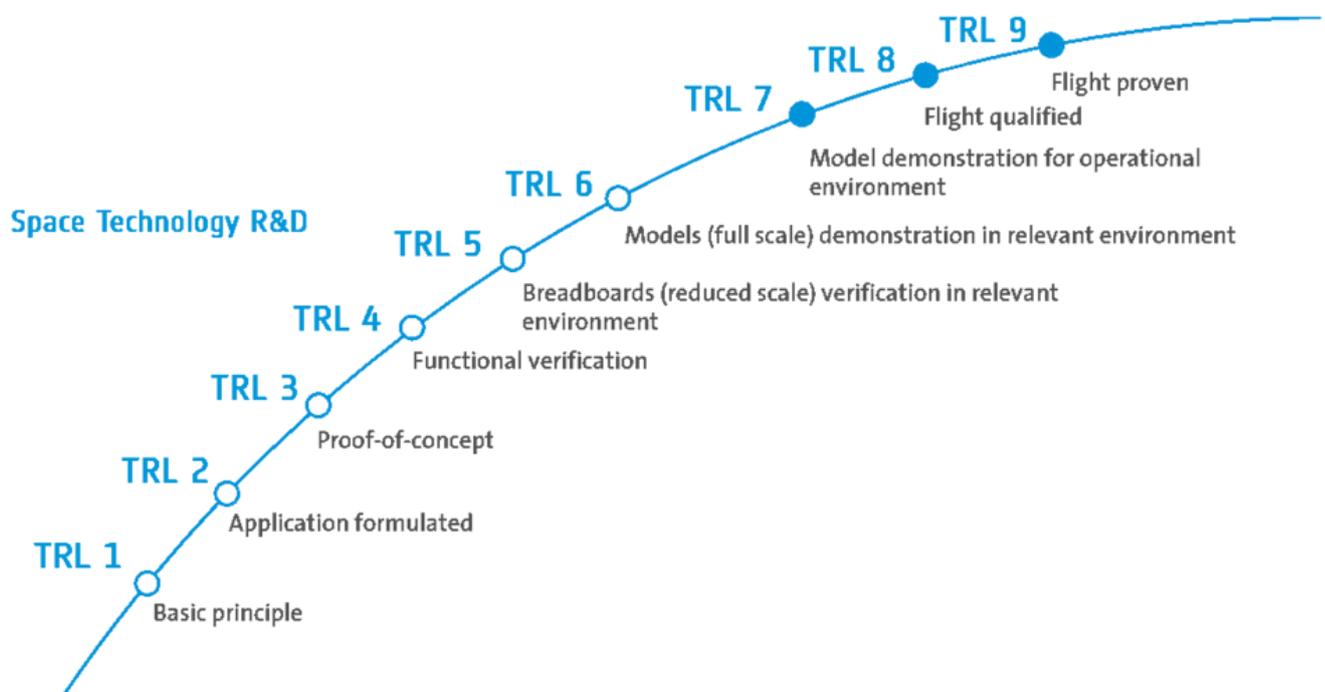
1.3 TRL delle operazioni

Il TRL (*Technology Readiness Level*) è un metodo utilizzato per stimare il grado di maturità di una specifica tecnologia. Ogni nuova tecnologia parte dal primo livello e deve superare una serie di test per passare ai successivi, fin quando la tecnologia non è considerata operativa ed è stata provata la sua efficacia. La prima scala è stata concepita nel 1974 dal ricercatore Stan Sadin per la NASA, ed aveva solo 7 livelli; solo negli anni 90' l'agenzia spaziale ha adottato la scala con un totale di 9 gradi di maturità della tecnologia. Ad oggi il metodo del TRL viene utilizzato da alcune delle più importanti associazioni al mondo:

- Il dipartimento di difesa americano dall'inizio degli anni 2000
- L'ESA (*European Space Agency*) dal 2008
- La Commissione Europea ha stabilito che la scala dovesse essere utilizzata per tutti i progetti di ricerca ed innovazione finanziati dall'UE dal 2010 (ed è successivamente anche stata utilizzata per l'“*Horizon 2020 program*”) nel 2014

Nel 2013 la scala è stata definitivamente ufficializzata nel 2013 dall' “*International Organization for Standardization*”.

Figura 3. *Technology Readiness Level* applicato ai programmi tecnologici dell'ESA



Fonte: ESA, Technology Readiness Levels (TRL). The European Space Agency

Nel tempo quindi la scala, nata per essere utilizzata dalla NASA, o comunque da un'agenzia spaziale, ha avuto molteplici utilizzi in campi dell'innovazione profondamente diversi da quella per

cui era stata inizialmente creata. Per questo la scala ha subito nel tempo delle modifiche volte a renderla più adatta a qualsiasi tipo di nuova tecnologia. Rilevanti in questo ambito sono stati gli interventi dell'Unione Europea la cui scala prevede 9 livelli:

1. Sono stati osservati i principi di base
2. È stato formulato il “*concept*” della tecnologia
3. C'è stata una prova sperimentale del “*concept*”
4. La tecnologia è stata convalidata in laboratorio
5. La tecnologia è stata convalidata in un “ambiente rilevante” (anche industriale)
6. La tecnologia è stata illustrata in un “ambiente rilevante” (anche industriale)
7. È stata fatta una dimostrazione del prototipo del sistema in un “ambiente operativo”
8. Il sistema è completo e specializzato
9. Il sistema è utilizzato in un “ambiente operativo”

La scala usata dalla NASA è molto simile ma più specifica per il settore aerospaziale, comprende infatti anche una descrizione dettagliata dell'*hardware*, del *software* e gli “*Exit Criteria*”.

La NASA ad oggi classifica l'estrazione dei materiali dagli asteroidi come relativamente semplice; infatti, l'operazione comporta solo una serie di processi meccanici o fisici e la realizzabilità degli stessi è facilmente dimostrabile a gravità zero o in “*vacuum chambers*”. Per quanto riguarda il *processing* della regolite per l'estrazione di acqua il TRL è tra il 3 ed il 4, anche perché l'operazione sfrutta la pressione del vapore acqueo, non la gravità, e di conseguenza i test fatti sulla terra sono tranquillamente applicabili per gli asteroidi. Al contrario l'estrazione di metalli e il “*de-alloying*” sono al TRL 1, sono stati quindi solo osservati i principi di base e non ci, sono in ambito accademico, “equazioni parametriche per determinare il tempo ed il costo necessario per lo sviluppo in una nuova tecnologia per l'estrazione” (Fonte: *AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition September 10-12, 2013, San Diego, CA*).

1.4 Economicità delle operazioni

Come è stato già detto, le operazioni di *asteroid mining* sono ancora lontane da un punto di vista tecnologico. Le sfide da affrontare sono molteplici, dall'estrazione vera e propria dei materiali, al trasporto di questi; inoltre le difficoltà dettate dall'assenza di gravità e dalle radiazioni nello spazio, complicano ulteriormente il già arduo compito che l'umanità si pone. Da un punto di vista puramente economico però, gli studi effettuati negli anni dalla letteratura in materia hanno dato risultati migliori, fino alla creazione di modelli economici e formule per il calcolo della profittabilità di una missione che tengono in considerazione molteplici variabili. In particolare, il modello che ad oggi è più completo è quello di Andreas M. Hein, Robert Matheson e Dan Fries. Il modello da questi costruito è basato su quello di Sonter, del 1997, e viene applicato all'estrazione di

due diversi tipi di materiali, che la letteratura ritiene abbiano più possibilità di essere economicamente profittevoli, “Acqua”, e “PGMs” di cui si è già discusso in precedenza.

Il modello parte dalla creazione di una semplice analisi del *breakeven point* che una missione di *asteroid mining* teorica avrebbe: Profitto = Ricavi – Costi. Più nel dettaglio si definiscono i ricavi come il prodotto tra la massa del materiale estratto per il prezzo specifico di quest’ultimo, i costi vengono invece definiti come la somma dei costi di produzione, i costi di trasporto (dalla terra nello spazio ed interspazio) ed i costi delle operazioni. Successivamente, la massa dei materiali viene sostituita con il prodotto tra la massa del veicolo spaziale, il throughput rate in kg processati per secondo per i kg di massa del veicolo, il tempo impiegato nelle operazioni e la percentuale di risorse estratte per kg di massa di materiale processato, ed allo stesso modo i costi di produzione e trasporto vengono definiti in funzione della massa del veicolo spaziale da qui otteniamo la prima equazione per il *break even point*:

$$P = m_{SC} * c_{price_mat} * [f * t * r - \left(\frac{c_{prod} + c_{transport}}{c_{price_mat}} \right)] - C_{ops}$$

Dove P è il profitto, m_{SC} è la massa dello “*spacecraft*”, c_{price_mat} è il prezzo specifico del materiale estratto, f è il *throughput rate*, t il tempo impiegato, r il tasso di estrazione delle risorse, c_{prod} e $c_{transport}$ sono i costi unitari per kg di massa dello “*spacecraft*” di produzione e trasporto ed infine C_{ops} è il costo delle operazioni. Se la differenza tra le parentesi quadre non è almeno positiva, le operazioni non genereranno alcun profitto. È da notare come nell’equazione descritta, il tempo delle operazioni è una variabile che incide positivamente sul profitto, di conseguenza aumentando arbitrariamente il valore di questa, per valori positivi di f e t, si riuscirebbe tecnicamente sempre ad ottenere un profitto. A questa conclusione non si può però giungere nel mondo reale, in quanto i valori realistici attesi di t sono inferiori a 5 anni. Tolta quindi la variabile tempo, in questa equazione gli unici altri parametri che sono sotto il controllo del progettatore della missione sono f e c_{prod} . Questa equazione non tiene in considerazione il tempo necessario per il trasporto dei materiali, inoltre, affinché l’analisi di *break-even* possa ritenersi valida, devono essere presi in considerazione, oltre ai costi delle operazioni, anche quelli del capitale, come ad esempio i costi di ricerca e sviluppo dello “*spacecraft*”. A questo modo si riesce ad estrapolare un’equazione per ricavare i profitti totali di un’operazione industriale di *asteroid mining*.

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^T n_i * \left[m_{SC} * c_{price_{mat}} * \left[\left(f * t * r - \text{ceil} \left(\frac{n_i}{s_{i+1}} \right) \left(\frac{c_{prod} + c_{transport}}{c_{price_{mat}}} \right) \right) \right] - C_{ops} \right] - m_{SC} * c_{dev}$$

Definendo i costi di ricerca e sviluppo del veicolo in funzione della sua massa ($m_{sc} * c_{dev}$), n come il numero di missioni effettuate, s come il numero di riutilizzi di uno “*spacecraft*” e $ceil()$ come una funzione che approssima al più piccolo successivo numero intero. È da notarsi che nell’equazione vengono utilizzati n_i e s_i . Questo perché l’equazione non contiene la durata della “*venture*” per essere indipendente dalla durata della missione verso uno specifico NEA e si utilizza invece come misura del tempo in termini di anni la sommatoria del numero di missioni effettuate in un anno ed il numero di missioni effettuate con un veicolo riutilizzato in un anno. Il breakeven può essere a questo punto semplicemente calcolato ponendo i profitti totali uguali a 0 e risolvendo l’equazione per n . Il modello, come è attualmente strutturato, non tiene in considerazione le economie di apprendimento. Queste si riferiscono al processo attraverso il quale un’organizzazione o un individuo diventano più efficienti nello svolgimento delle loro mansioni tramite il “*learning by doing*” ossia l’esperienza diretta. Affinchè il modello risulti completo è necessario quindi che tenga in considerazione una stima dell’aumento dell’efficienza dato dall’apprendimento del “*know-how*”. Si definisce c_{prod_n} (il costo specifico della produzione dell’ennesima unità) come il prodotto di c_{prod_1} (il costo specifico della produzione della prima unità) per n elevato ad a , (con n si intende il numero di unità prodotte e con a il fattore di apprendimento). A è in però in effetti una costante nel modello sviluppato in quanto si stima che il suo valore sia di -0,234 per il settore dei sistemi aerospaziali. Viene poi introdotto il fattore p , che rappresenta il numero di “*spacecrafts*” usate per ogni missione (assumendo che ogni veicolo sia dello stesso tipo), nel caso in cui $p > 1$, m_{sc} sarà uguale alla somma delle masse degli “*spacecrafts*”.

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^T n_i * \left[m_{sc} * c_{price_{mat}} * \left[\left(f * t * r - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \text{ceil} \left(\frac{n_i}{s_i+1} \right) \left(\frac{c_{prod_1} * [p * \text{ceil} \left(\frac{n_i}{s_i+1} \right)]^a + c_{transport}}{c_{price_{mat}}} \right) \right) \right] - \right. \\ \left. C_{ops} \right] - c_{dev} * \frac{m_{sc}}{p} \quad (12)$$

Ciò che accade dunque quando p aumenta (e quindi quando aumenta il numero di veicoli utilizzati per missione) è che i costi diminuiscono per l’effetto delle economie di apprendimento e la diminuzione dei costi di ricerca e sviluppo. Il valore attuale di un flusso di cassa futuro non è però uguale alla differenza tra i rendimenti attesi ed i costi attesi, questo perché un euro oggi ha un valore maggiore di un euro domani per tutta una serie di ragioni che non sono di interesse della tesi (costo opportunità, ciclo del circolante, inflazione ecc.). Per attualizzare i flussi di cassa futuri si definisce quindi l’equazione:

$$P_{PV} = \sum_j \frac{R_j}{(1+I)^{t_j}} - \frac{C_j}{(1+I)^{t_j-m_j}}$$

J rappresenta il numero della missione, t il punto nel tempo nel quale vengono generati i ricavi, I il tasso di interesse e m la durata della missione, a questo modo definiamo t_j-m_j come il punto nel tempo nel quale viene lanciata la missione. Integrando le due equazioni si ricava che:

$$P_{tot_PV} = \sum_{i=1}^T n_i \sum_j \left[m_{SC} * c_{pricemat} * \left[\left(\frac{f*t*r}{(1+I)^i} - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. ceil \left(\frac{n_i}{s_i+1} \right) \left(\frac{c_{prod_1} * \left[p * ceil \left(\frac{n_i}{s_i+1} \right) \right]^a + c_{transport}}{c_{pricemat} * (1+I)^{i-m_j}} \right) \right] \right] - \\ \left. \left. \left. C_{ops} \right] - c_{dev} * \frac{m_{SC}}{p} \right]$$

Ci sono dunque diversi fattori sui quali si può agire per aumentare i profitti attuali: utilizzare più veicoli possibili e riutilizzarne il più possibile, ridurre la durata e minimizzare il tempo tra una missione e l'altra, aumentare il *throughput rate* e ridurre costi di trasporto e delle operazioni. Una volta completata l'equazione per il *break-even*, Hein, Matheson e Fries si occupano di stimare la curva di domanda del platino, mettendo in gioco variabili come l'elasticità di questa, la quantità totale di platino offerta (composta sia dal platino terrestre che da quello estratto), sostengono anche che la domanda di platino è destinata a crescere (e le loro previsioni ad oggi si sono rivelate corrette) per l'aumento della domanda di auto elettriche, che nel 2018 costituivano il 41% della domanda totale di platino al mondo. Il team è riuscito quindi a produrre delle previsioni di profitto creando due scenari che vengono definiti "*conservative*" e "*optimistic*" per acqua e platino. Negli scenari "*conservative*" vengono utilizzati dati del 2018 per stimare costi e ricavi mentre in quelli "*optimistic*" si usano valori per i costi dati da una produzione di massa che si avvicinano a quelli che *OneWeb* ha utilizzato per i propri veicoli. Per la creazione di questi scenari si utilizza l'equazione marcata con il numero 12 descritta nella pagina precedente, e vengono costruite diverse ipotesi:

- Calcoli effettuati riutilizzando ogni "*spacecraft*" due volte
- Calcoli effettuati riutilizzando ogni "*spacecraft*" due volte e con le economie di apprendimento
- Calcoli effettuati dimezzando il *throughput rate*

- Calcoli effettuati dimezzando la grandezza di ogni “*spacecraft*”
- Calcoli effettuati utilizzando 10 “*spacecraft*” per missione, ognuno dei quali viene riutilizzato 2 volte considerando le economie di apprendimento

Figura 4. Previsioni di profitto Acqua

Scenario *Conservative*

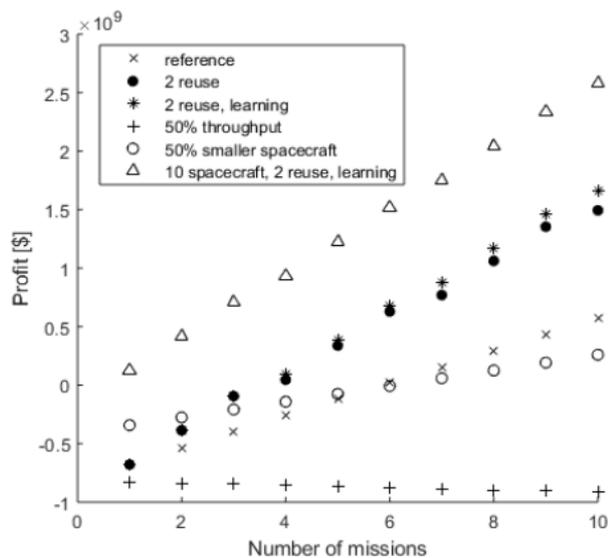
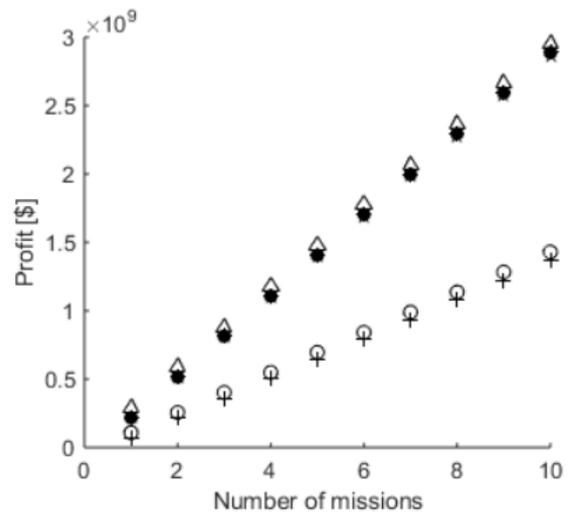


Figura 5. Previsioni di profitto Acqua

Scenario *Optimistic*



Fonte: HEIN, Andreas M.; MATHESON, Robert; FRIES, Dan. A techno-economic analysis of asteroid mining. Acta Astronautica, 2020, 168: 104-115.

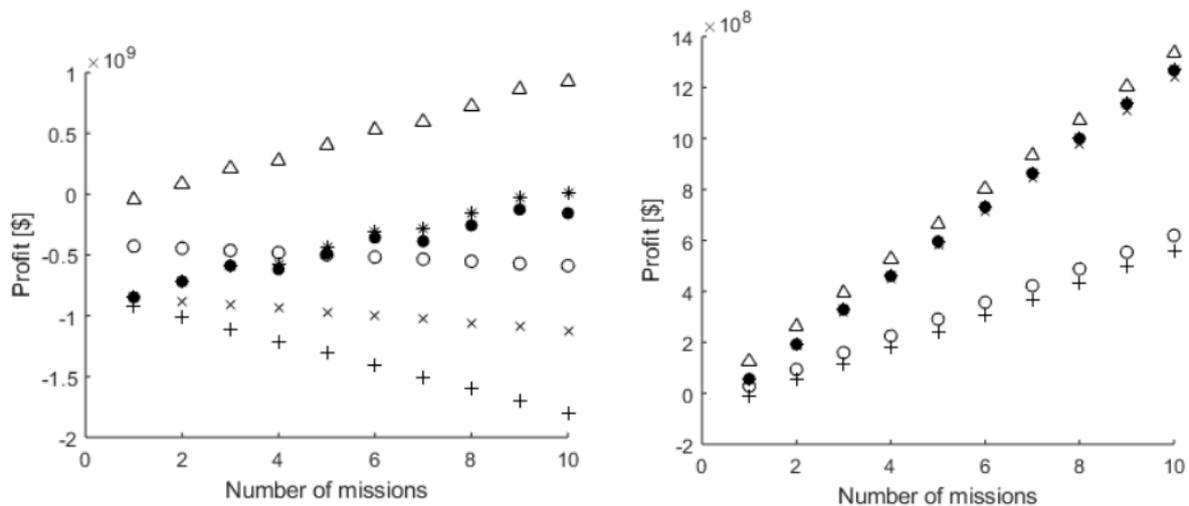
Affinché i veicoli vengano riutilizzati devono ovviamente compiere un intero ciclo di produzione, che ovviamente ridurrebbe notevolmente la possibilità di effettuare più missioni contemporaneamente, per lo stesso motivo invece l'utilizzo di veicoli “sacrificabili” ossia che non verranno mai riutilizzati, migliora le possibilità di effettuare più missioni contemporaneamente. Dai grafici si evince che utilizzare più veicoli ma più leggeri fa ridurre notevolmente i costi di sviluppo e per questo riduce il numero di anni necessario per raggiungere il *break-even point*. Al contrario invece sembra che le economie di apprendimento non abbiano un impatto sostanziale sull'analisi del *break-even* e che invece ridurre il throughput rate del 50% renda ogni tipo di operazione non profittevole.

Figura 6. Previsioni di profitto Platino

Scenario *Conservative*

Figura 7. Previsioni di profitto Platino

Scenario *Optimistic*



Fonte: HEIN, Andreas M.; MATHESON, Robert; FRIES, Dan. A techno-economic analysis of asteroid mining. *Acta Astronautica*, 2020, 168: 104-115.

I due grafici del platino sono costruiti assumendo il prezzo del platino uguale a 30.000\$ al chilo (ad oggi il prezzo è salito a più di 34.000\$ al chilo), ed il motivo per cui i profitti stimati sono così più bassi è che il rateo di platino per massa di asteroide estratta è molto più basso rispetto a quello dell'acqua, inoltre i costi di trasporto sono molto più alti visto che il platino deve essere trasportato sulla terra. La variazione del prezzo del platino ha un impatto molto grande sulla profittabilità di questo secondo tipo di missioni, e come per il caso dell'acqua, utilizzare più "spacecrafts", riutilizzarle e usare le economie di apprendimento, migliora notevolmente i tempi necessari per raggiungere il *break-even point*. Per terminare la loro analisi, i ricercatori hanno costruito un modello per stimare i profitti in base alle variazioni della domanda e dell'offerta di platino. Quest'ultimo modello è basato su due variabili, k che rappresenta la diminuzione dell'offerta di platino terrestre per chilo di platino extra-terrestre estratto, e β che determina come l'offerta totale di platino influenza il prezzo di quest'ultimo (direttamente proporzionale all'elasticità al prezzo della domanda). Il prezzo del platino non è però solo influenzato dalla domanda e dall'offerta, in quanto metallo prezioso e commodity, il platino è anche soggetto alla speculazione, oltre che a fenomeni macroeconomici di vario tipo. Primi tra tutti i tassi di interesse attesi modificano sensibilmente il prezzo del platino, in periodi in cui i tassi aumentano, il prezzo del platino diminuisce, poiché il costo opportunità di tenere nel proprio portafoglio di investimenti commodities aumenta, visto che non generano interessi. In periodi di alta volatilità ed incertezza dei mercati invece, il prezzo del platino tende ad aumentare per il "*flight-to-quality effect*" che fa varare le preferenze degli investitori verso asset meno rischiosi come le commodities. Ancora, i tassi di cambio tra le valute dei paesi maggiori produttori di platino ed i paesi maggiori consumatori, ne influenzano il prezzo. Il deprezzamento della valuta dei maggiori produttori di

platino porta ad una diminuzione del prezzo, poiché i costi di produzione rimangono costanti mentre i ricavi aumentano per l'apprezzamento della valuta estera, questo fa aumentare l'offerta e diminuire la domanda, portando a prezzi inferiori. Un esempio di questo fenomeno è quello del Sud Africa, che tra il 2013 ed il 2017 ha prodotto il 53% dell'offerta globale di platino, e il cui deprezzamento della moneta, è stato il fattore principale dell'espansione del settore minerario in periodi in cui il prezzo del platino ha raggiunto minimi decennali. Nella tabella si evince come gli scenari in cui le missioni di *asteroid mining* di platino secondo questo modello siano pochi. Inoltre, i pochi scenari in cui le operazioni sarebbero profittevoli, sono irrealistici, in quanto ci si aspetta che il valore di k sia compreso tra 0,6 e 0,4; e con questa assunzione, non esistono scenari di profittabilità.

Tabella 2. Profittabilità dell'asteroid mining tenendo in considerazione la diminuzione della produzione di platino sulla Terra

		Decrease in Earth based platinum production per kg increase in asteroid mining platinum production [kg]													
Elasticity	Slope of demand curve	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.85	0.84	0.6	0.2	0
		1 Year \$1044m	2 Year \$787m	2 Years \$530	3 Years \$329m	5 Years \$226m	8 Years \$165m	12 Years \$124m	22 Years \$94m	\$72m	\$0m	\$5m	\$51m	\$68m	\$70m
0.079	-0.5	1 Year \$1044m	2 Years \$530	3 Years \$329m	5 Years \$226m	8 Years \$165m	12 Years \$124m	22 Years \$94m	\$72m	\$0m	\$5m	\$51m	\$68m	\$70m	
0.159	-1	1 Year \$1044m	2 Years \$530m	5 Year \$226m	12 Year \$124m	\$72m	\$41m	\$21m	\$6m	\$5m	\$41m	\$44m	\$68m	\$76m	\$80m
0.238	-1.5	1 Year \$1044m	3 Years \$329m	12 Years \$124m	\$55m	\$21m	\$0m	\$13m	\$23m	\$31m	\$55m	\$57m	\$72m	\$84m	\$90m
0.318	-2	1 Year \$1044m	5 Years \$226m	\$72m	\$21m	\$5m	\$21m	\$31m	\$38m	\$44m	\$61m	\$63m	\$76m	\$92m	\$100m
0.397	-2.5	1 Year \$1044m	8 Years \$165m	\$41m	\$0m	\$21m	\$33m	\$41m	\$47m	\$51m	\$67m	\$68m	\$80m	\$100m	\$111m
0.477	-3	1 Year \$1044m	12 Years \$124m	\$21m	\$13m	\$31m	\$41m	\$48m	\$53m	\$57m	\$69m	\$69m	\$84m	\$109m	\$121m
0.556	-3.5	1 Year \$1044m	22 Years \$94m	\$6m	\$23m	\$38m	\$47m	\$53m	\$57m	\$60m	\$70m	\$71m	\$88m	\$117m	\$131m
0.636	-4	1 Year \$1044m	\$72m	\$5m	\$31m	\$44m	\$51m	\$57m	\$60m	\$63m	\$72m	\$72m	\$92m	\$125m	\$142m
0.715	-4.5	1 Year \$1044m	\$55m	\$13m	\$36m	\$48m	\$55m	\$59m	\$63m	\$66m	\$73m	\$74m	\$96m	\$133m	\$152m
0.794	-5	1 Year \$1044m	\$41m	\$21m	\$41m	\$51m	\$57m	\$61m	\$66m	\$68m	\$75m	\$76m	\$100m	\$142m	\$162m
0.874	-5.5	1 Year \$1044m	\$30m	\$26m	\$45m	\$55m	\$59m	\$64m	\$67m	\$68m	\$76m	\$77m	\$105m	\$150m	\$172m
0.953	-6	1 Year \$1044m	\$21m	\$31m	\$48m	\$57m	\$61m	\$66m	\$68m	\$69m	\$78m	\$79m	\$109m	\$158m	\$183m

Key

- Profitable and breaks even in less than 30 year
- Profitable and breaks even in more than 30 years
- Not profitable

X years: The number of years necessary to break even
 \$Ym: The profit per year

Fonte: HEIN, Andreas M.; MATHESON, Robert; FRIES, Dan. A techno-economic analysis of asteroid mining. *Acta Astronautica*, 2020, 168: 104-115.

Ci sono poi anche altri fattori che influenzano negativamente la profittabilità di missioni di questo tipo; primo tra tutti il rischio elevato, tipico di ogni investimento in nuove tecnologie, c'è poi da considerare che i cosiddetti "black swans" (eventi inaspettati ed imprevedibili) aumentano ancora di più la volatilità della domanda di platino. Un esempio di questo fenomeno per il mercato del platino è stato il *Dieselgate*, uno scandalo di cronaca che ha coinvolto nel 2015 la casa automobilistica Volkswagen, che è stata scoperta a falsificare i dati dei suoi veicoli circa le emissioni da questi prodotti, tramite un software chiamato "defeat device" che rilevava quando il veicolo veniva sottoposto a test di emissioni e rendeva il motore temporaneamente più sostenibile.

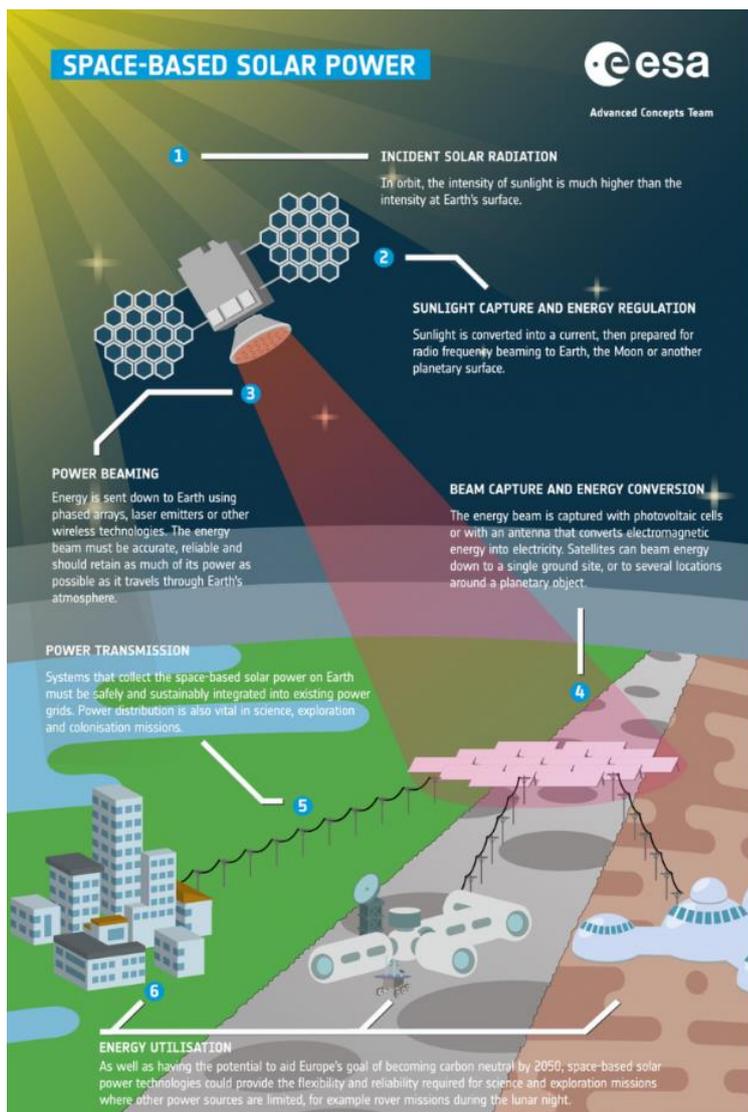
Lo scandalo ha influenzato le opinioni dei consumatori e dei legislatori nazionali, fattori che hanno entrambi contribuito alla diminuzione delle vendite automobilistiche, e come conseguenza la domanda di platino, materiale essenziale per la produzione di convertitori catalitici.

1.5 I settori dello spazio

Finora è stato analizzato come l'*asteroid mining* sia uno strumento che l'umanità ha a disposizione per superare alcune tra le sfide più grandi che abbia mai affrontato, come l'esaurimento delle risorse terrestri e l'esplorazione dello spazio. Ad oggi però, come è stato già visto precedentemente, l'*asteroid mining* non è conveniente dal punto di vista economico, e anche se lo fosse, la tecnologia deve ancora essere testata in loco per assicurare la buona riuscita delle operazioni. Ci si aspetta che in futuro la tecnologia verrà ottimizzata e testata in modo da permettere la creazione di nuove opportunità di business, che comunque esistono già adesso. Queste opportunità sono rappresentate da quei settori che già oggi sono basati nello spazio, questi sono inoltre i principali futuri utilizzatori delle risorse ottenute tramite l'*asteroid mining*. La "*space economy*" (secondo quanto riportato da Luca Maltauro per Accademia politica, e pubblicato sul Sole24Ore) è arrivata a valere 370 miliardi di dollari nel 2021, dopo un calo del 4% registrato nel 2021, con la navigazione satellitare e la comunicazione satellitare che rappresentano rispettivamente il 50% ed il 41% del valore complessivo del mercato, e le stime di crescita portano ad un +74% entro il 2030, anno in cui dovrebbe raggiungere i 642 miliardi di dollari. Secondo Morgan Stanley e UBS la space economy andrà a toccare nel 2040 il valore di 1 trilione di dollari, mentre le stime di altri enti, come Bank of America e la United Launch Alliance, sono ancora più rosee, e prevedono il raggiungimento di tale valore entro la fine di questo decennio. Ryan Brukardt, senior partner di McKinsey & Company, riporta i dati della *not-for-profit Space Foundation* secondo la quale la *space economy* è stata valutata a 469 miliardi di dollari nel 2021, e anche se la maggior parte del valore è attualmente generata tramite i servizi che offre per altre attività sulla terra in futuro il valore potrebbe essere invece costituito anche da attività che vengono svolte interamente in orbita (servizi, ricerca e sviluppo, produzione manifatturiera ecc.). Oggi la *space economy* comprende, oltre alle telecomunicazioni e la navigazione satellitare, altre attività che, pur non generando attualmente valore economico, sono comunque estremamente utili all'umanità. Prima tra tutte l'osservazione della terra, tramite i satelliti infatti si riesce a raccogliere dati ed immagini per monitorare lo stato delle risorse terrestri come ad esempio quelle idriche, o ancora si ricavano informazioni utili circa l'agricoltura e la pesca, oltre che i dati climatici e ambientali, senza i quali trovare soluzioni alle problematiche ecologiche (riscaldamento globale, buco nell'ozono ecc.) sarebbe stato e sarà impossibile, esistono anche diverse aziende che hanno fatto della raccolta di dati tramite satelliti il

loro core business, come ad esempio Planet Labs e Digital Globe . In secondo luogo, la ricerca e l'esplorazione spaziale sono delle attività di cui l'umanità ha bisogno per incentivare le scoperte scientifiche ed il progresso. Il settore militare è un altro grande utilizzatore dei satelliti, necessari per effettuare la sorveglianza delle attività militari di altri paesi e rilevare minacce in arrivo, come ad esempio i missili balistici, oltre che per la raccolta di informazioni di intelligence, per effettuare comunicazioni militari crittografate ed infine minacciare la guerra spaziale, che seppur molto pericolosa (l'esplosione di satelliti porta alla formazione di detriti che potrebbero danneggiare altri satelliti e formare un effetto a catena, danneggiando anche l'attaccante) è un forte deterrente che salvaguarda la pace tra nazioni, purtroppo, la maggior parte dei dati riguardanti gli utilizzi militari della *space economy* non sono pubblici e di conseguenza è impossibile stimarne l'importanza economica. La *space economy* è però un mercato, come già detto, in forte crescita, sono molti i progetti e le invenzioni che sono rimasti tali, ma che hanno le potenzialità per diventare realtà. Todd Sandler e William Schulze, in "*The Economics Of Outer Space*" descrivono alcuni di questi progetti, primo tra tutti quello di Peter Glaser, ingegnere elettronico e aerospaziale e scienziato statunitense di origine cecoslovacca, che, verso la fine degli anni 60, ha per primo proposto la realizzazione di un piano che prevedeva la costruzione di *SPSS (Solar Powered Space Satellites)* attorno alla terra in un'orbita geosincrona. Questi satelliti avrebbero poi irradiato energia in microonde verso la terra per essere convertite in ciò che veniva definita come "una fonte infinita di energia sostenibile". La proposta di Glaser prevedeva, in alternativa a pannelli solari che avrebbero convertito i raggi in energia direttamente, la costruzione di una serie di specchi, che avrebbero riscaldato un "*working fluid*" e attivato dei turbogeneratori, ad ogni modo l'energia prodotta nello spazio sarebbe dovuta essere ricevuta sulla Terra tramite delle antenne ad una efficienza stimata tra il 60% ed il 70% con problemi ecologici e di salute minimi, (non ci sarebbero danni ai passeggeri di aerei che volano nell'area di interesse dei raggi). Sandler e Schulze hanno calcolato (nel 1981) che nel breve periodo il costo di un impianto del genere sarebbe stato di 13.600\$ per kilowatt che comparato ai circa 1000\$ per kilowatt di una centrale a carbone risulta decisamente eccessivo per essere economicamente fattibile. Il progetto di Glaser è stato comunque oggetto di studio nel corso del tempo, tra il 1978 ed il 1986 il Congresso Americano ha incaricato il Department of Energy e la NASA di effettuare ricerche in merito, e ad oggi questi restano gli studi più completi, con un budget totale di 50 milioni di dollari. Il progetto è stato messo in pausa per la mancanza di mezzi e conoscenza in materia, oltre che per gli alti rischi che lo sviluppo di un progetto del genere portava con sé. Solo nel 1997 la NASA ha ripreso gli studi circa la fattibilità del progetto "SPSS" alla luce

Figura 8. Piani dell'ESA: Space-based solar power



delle nuove richieste che la politica spaziale americana aveva avanzato alla propria agenzia spaziale, ossia di ridurre in modo sostanziale i costi di trasporto dalla Terra alla propria orbita che rappresentavano il principale costo di attuazione dell'idea di Glaser. Nel 1998 la JAXA (l'agenzia spaziale Giapponese) ha dato vita al proprio programma per lo sviluppo di un SSPS (*space solar power system*) che ancora oggi continua ad operare. Il 12 marzo 2015 il programma ha portato a dei risultati positivi, la JAXA infatti ha annunciato di aver irradiato 1.8 kilowatt a 50 metri di distanza convertendo l'energia in microonde e poi di nuovo in energia. Di recente anche le altre agenzie spaziali stanno mostrando ampio interesse in materia, alla ricerca di nuove fonti di energia sostenibili.

Fonte: Space-based solar power, The European Space Agency

Probabilmente il rinnovato interesse è da attribuirsi all'aumento del prezzo delle materie prime e dell'energia del 2022 successivo alla guerra tra Russia e Ucraina. Come riporta "The Science Times" la Cina pianifica di condurre test in orbita entro la fine del decennio per compiere il primo step verso la costruzione di un sistema di livello gigawatt per la metà del secolo, mentre l'UK ha mostrato interesse nello *Space Based Solar Power* all'inizio dell'anno. Nel novembre 2022 l'ESA ha annunciato l'avvio dell'iniziativa SOLARIS il cui scopo sarà quello di prepararsi per la possibile decisione nel 2025 di costituire un programma completo di sviluppo di *Space-Based Solar Power* per i bisogni terrestri di energia pulita. I *Solar Power Satellites* dovrebbero essere circa 10 volte più grandi dell'attuale Stazione Spaziale Internazionale. La rete di satelliti dovrebbe produrre circa 1000TWh che coprirebbe circa un terzo dei consumi energetici Europei. L'idea di Glaser, che era

vista inizialmente come fantascienza, è oggi considerata da molteplici agenzie spaziali come realizzabile, un po' per i problemi ecologici ed energetici a cui i governi devono far fronte, un po' per il miglioramento della tecnologia e la conseguente riduzione dei costi. Un'altra idea che viene descritta da Sandler e Shulze è quella di Gerald K. O'Neill che prevedeva lo sviluppo di colonie umane in punti compresi tra la Terra e la Luna particolarmente stabili chiamati punti di Lagrange. In particolare, il punto denominato L-5 sembra avere tutta una serie di caratteristiche che lo renderebbero adatto per il progetto. Le due idee sono legate una all'altra, in quanto si pensava che l'unico modo per costruire i SPSS di Glaser in modo economico, fosse quello di assemblare i satelliti nello spazio, invece che farlo sulla terra e lanciarli. Secondo il progetto di O'Neill, inizialmente le risorse sarebbero state estratte dal suolo lunare, e successivamente anche da asteroidi limitrofi, e questi materiali sarebbero stati utilizzati sia per costruire le colonie che per costruire i solar power *space satellites*, creando una "*space economy*" basata sulla vendita di energia elettrica. Nel dettaglio il progetto prevedeva:

- La costruzione di una colonia iniziale nel punto L-5, che avrebbe dovuto ospitare 10.000 persone in una sfera dal diametro di 460 metri e con un peso strutturale di 150.000 tonnellate
- La costruzione di una base lunare, questa dal peso di 10.000 tonnellate che avrebbero dovuto essere trasportate dalla Terra, per ottenere i materiali necessari
- La successiva costruzione di un cantiere spaziale nel punto L-5 di circa 30.000 tonnellate

A questo modo O' Neill ha previsto che la costruzione di "*Island One*" sarebbe dovuta costare circa 96 miliardi di dollari. L'output atteso di beni manifatturieri di *Island One*, una volta completamente operativa, è di 200.000 tonnellate annue. Il progetto di O'Neill prevedeva il completo reinvestimento della produzione della prima colonia, in particolare il 60% avrebbe dovuto essere utilizzato per finanziare i SPSS di Glaser, ed il restante 40% per la costruzione di nuove colonie. Il progetto di O'Neill diventa a questo punto troppo speculativo per gli obiettivi che la tesi si pone, per completezza verrà comunque brevemente descritto. La continuazione prevedeva la costruzione di altre colonie, con un tasso di crescita annuo del 35% per 20 anni, i design di "*Island two*" e "*Island three*" (che prenderà successivamente il nome di "*O'Neill cylinder*") erano stati già creati, ma le previsioni (senza scendere troppo nei dettagli matematici) portano a dire che avrebbero dovuto essere costruite 1097 colonie e 4711 satelliti in 20 anni, dati che appaiono irrealistici. Sandler e Schulze effettuano i calcoli sostituendo il tasso di crescita dal 35% annuo al 13% annuo, un valore molto più moderato per un progetto del genere, e restituiscono valori dopo 20 anni di 13 colonie e 55 satelliti.

Tabella 3. Scenari di crescita alternativi per la *space economy*

	<i>Years of Growth</i>	<i># of Colonies</i>	<i># of Powersats</i>	<i>Total Generating Capacity MWe</i>	<i>Assumed Capital Output Ratio</i>	<i>Growth Rate</i>	<i>Benefit-Cost Ratio to Earth</i>
Case I	8	16	65	.33 x 10 ⁶	1.15	.35	.4
Case II	20	1,097	4,711	23.5 x 10 ⁶	1.15	.35	2.8
Case III	20	13	55	.27 x 10 ⁶	3.0	.13	.68

Fonte: SANDLER, Todd; SCHULZE, William. The economics of outer space. *Natural Resources Journal*, 1981, 21.2: 371-393.

È importante dire che di recente l'idea di O'Neill è stata ripresa in considerazione dal plurimiliardario Jeff Bezos, fondatore di Amazon e della società spaziale Blue Origins, che la vede come un'alternativa possibile alla colonizzazione di altri pianeti. Il lavoro di O'Neill, seppure mai realizzato concretamente, è stato molto utile; infatti, le tecnologie sviluppate da lui e dal suo gruppo sono poi state utilizzate in altri progetti, come la costruzione della Stazione Spaziale Internazionale ed il telescopio spaziale Hubble. L'economia spaziale o, come viene definita, "*outer space economy*" quindi, sfrutta l'*asteroid mining* per espandersi e si aprirà al commercio con le economie terrestri, le relazioni tra queste verranno costruite, oltre che dall'economia, dalla politica. Un altro settore rilevante per l'*outer space economy* in futuro potrebbe essere il cosiddetto "*space tourism*" o turismo spaziale. Viene definito tale ogni tipo di viaggio per fini ricreativi che oltrepassi la linea di kàrmàn ossia una linea immaginaria posta a 100km dal livello del mare che è usata come convenzione per definire il confine tra l'atmosfera terrestre e lo spazio. Ci sono tre tipi di *space tourism*, diviso in: sub-orbitale, orbitale e oltre l'orbita terrestre. La differenza tra i tre sta ovviamente nella destinazione del viaggio. Il primo esempio di *space tourism*, nonostante l'interesse verso questo settore sia recentemente rifiorito, risale al 6 maggio 2001, l'unico passeggero del viaggio è stato Dennis Anthony Tito, un imprenditore ed ingegnere statunitense. Dal 2001 fino al 2009 la compagnia americana Space Adventures ha effettuato 8 viaggi con 7 passeggeri diversi (Charles Simonyi ha viaggiato nel 2007 e nel 2009) con destinazione la stazione spaziale internazionale. Altre compagnie che si sono lanciate nel settore sono Blue Origin, che ha effettuato molteplici viaggi con più passeggeri a bordo, tra cui anche i fratelli Jeff e Mark Bezos. I viaggi hanno come destinazione, a differenza dei precedenti, l'area sub-orbitale ed una durata di soli circa dieci minuti. Elon Musk, fondatore di SpaceX, ha annunciato nel 2017 che era stata acquistata la possibilità di effettuare un viaggio che aveva come obiettivo quello di fare un giro attorno alla Luna. Successivamente è stata svelata l'identità del passeggero, Yusaku Maezawa, un miliardario giapponese, il viaggio non è però ancora stato effettuato. Secondo le stime della Bank of America il

turismo spaziale arriverà ad avere un valore nel 2030 di 3 miliardi di dollari, questa previsione è principalmente basata sull'aumento atteso della domanda di voli sub-orbitali. L'accesso al turismo spaziale è però, per il momento, limitato alla nicchia di persone più benestanti, e fin quando i costi di lancio non si abbasseranno, l'ampiezza del fenomeno sarà limitata. Gli ultimi settori di interesse per la costituzione della “*space economy*” sono quelli la cui domanda sarà per la maggior parte “*space-derived*”. Fanno parte di questo gruppo quei settori basati sulle commodities spaziali di cui si è parlato precedentemente (1.1). Secondo il RAP team saranno molteplici gli utilizzi di questi materiali. L'acqua avrebbe tre utilizzi principali nello spazio:

- Primo tra tutti potrebbe essere usata come propellente per i veicoli spaziali cislunari ed interplanetari, la domanda di acqua, sia per essere elettrolizzata in ossigeno liquido o idrogeno metallico, sia per essere usata come propellente per motori solari o nucleari, sarà enorme. Si assume che l'acqua estratta nello spazio (anche sotto forma di ghiaccio) non abbia bisogno di particolari processi post-estrazione per essere utilizzata in questo settore
- L'acqua sarebbe molto utile anche per essere impiegata come scudo dalle radiazioni, l'alta concentrazione di atomi di idrogeno non fortemente legati, infatti, offre sia il vantaggio di avere una più alta quantità di energia assorbita dalle radiazioni ionizzanti, per unità di distanza, che una più bassa incidenza di particelle secondarie, se comparata alle alternative di protezione dalle radiazioni in regolite, in più l'acqua ha il vantaggio di essere amorfa l'unico problema è che gli scudi di acqua sono molto più voluminosi, e di conseguenza toglierebbe spazio vitale agli “*spacecrafts*” sui quali venissero applicati
- Infine, l'acqua sarebbe necessaria per il supporto vitale nello spazio. In questo caso però saranno necessari trattamenti molto più estesi per essere bevuta, usata per lavaggio degli indumenti, per l'igiene o per l'agricoltura. Proprio per questo motivo, secondo il RAP team, le colonie spaziali si locheranno vicino ad una fonte di acqua, proprio come sulla terra le prime civiltà sono nate vicino ai fiumi o altre fonti

Per quanto riguarda la regolite invece:

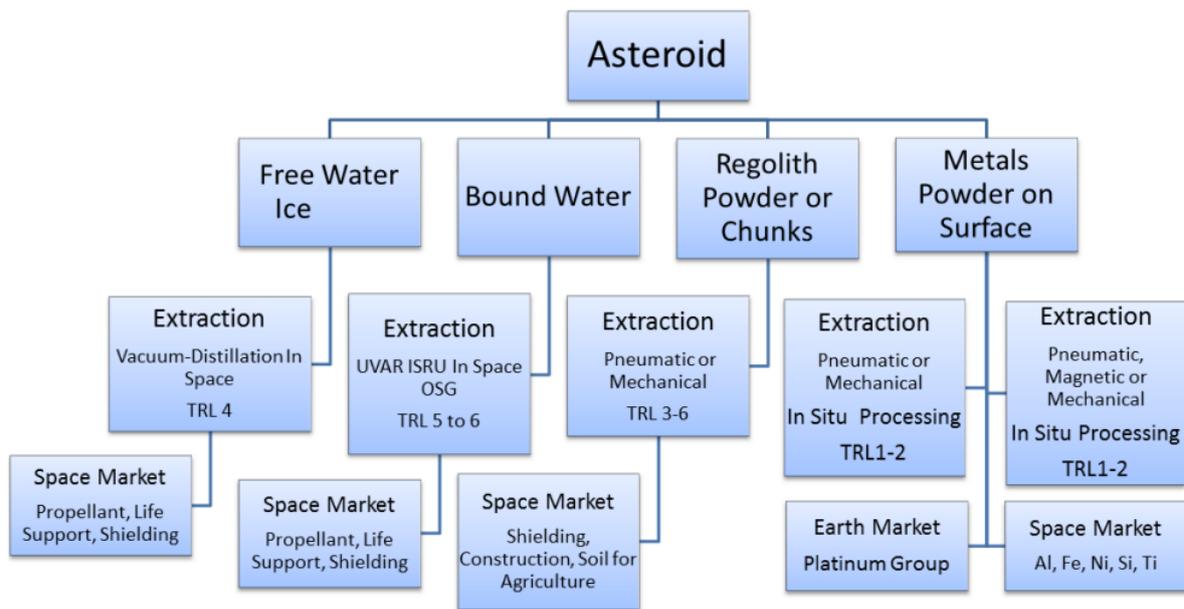
- Può essere utilizzata anche questa per costruire scudi dalle radiazioni, in particolare la regolite potrebbe essere processata per farne mattonelle o mattoni per coprire l'esterno dell'habitat, che avrebbe il vantaggio, rispetto alle alternative in acqua, di provvedere anche a dare stabilità alla temperatura, riducendo la necessità di sistemi di raffreddamento o riscaldamento, e protezione dai micrometeoriti.
- Può essere utilizzata come materiale da costruzione, sebbene nei primi tempi la maggior parte delle strutture dovranno essere fabbricate sulla terra per poi essere trasportate nello spazio, alcune di queste potranno essere realizzate direttamente in loco, risparmiando gli alti

costi di trasporto. Ad esempio, piattaforme di atterraggio, per gli stessi motivi anche altri metalli sarebbero utili: alluminio, ferro, nickel, titanio, silicene sono tutti esempi di materiali che possono essere utilizzati per creare strutture ed attrezzature di supporto per l'estrazione, la manifattura, il trattamento e la produzione di beni nello spazio. Con il tempo, l'aumento della domanda di questi beni porterà l'industria a crescere ad essere sempre meno attaccata quella terrestre, entrando anzi in competizione. La possibilità di usare la regolite come materia prima per lo stampaggio 3D la rende preziosa, le strutture spaziali, infatti, se prodotte in loco, non devono avere la robustezza necessaria per resistere alla forza riscontrata durante il lancio su un razzo, e in assenza di gravità possono anche essere meno robuste di quelle terrestri.

- La regolite può essere sinterizzata a temperature elevate per produrre un materiale simile alla ceramica che avrebbe molteplici utilizzi (murature, supporti rinforzati, pavimentazioni per ridurre i contatti tra robot e staff con le polveri)
- Il settore che però rappresenta la fetta più grande della domanda di regolite potenziale, è quello agricolo-spaziale. Sebbene ogni scenario di esplorazione spaziale prevede che lo staff si porti tutto il cibo necessario dalla Terra, in un'ottica più elaborata della costituzione di una colonia al di fuori del sistema Terra-Luna, la produzione di tutto, o quasi tutto, il cibo consumato è una condizione necessaria affinché la colonia si renda indipendente (e sopravviva nel lungo termine), la regolite può essere trasformata in terriccio utile per l'agricoltura tramite un processo di rimozione degli ossidi e dei perclorati. Secondo il RAP team, in futuro, la produzione di terriccio per le colonie spaziali potrebbe costituire un settore molto prezioso.

Campioni di regolite e di frammenti di asteroidi sarebbero poi anche utili per scopi scientifici, si pensa che possa venirsi a creare un vero e proprio mercato di campioni, da vendere alle imprese interessate nel settore o ai laboratori di università e altri enti.

Figura 9. Materiali negli asteroidi e loro utilizzi



Fonte: ZACNY, Kris, et al. Asteroid mining. In: *AIAA Space 2013 Conference and Exposition*. 2013. p. 5304.

1.6 Legalità delle operazioni

Finora sono state analizzate le possibilità che l'*asteroid mining* apre all'umanità, come realizzare progetti così complessi rendendoli economicamente profittevoli, quali sono gli attuali progressi tecnologici che li rendono possibili e quali sono i settori, presenti e futuri, che caratterizzano l'*"outer space economy"*. Prima di analizzare quindi la teoria economica per comprendere a fondo il fenomeno e trovare le migliori soluzioni affinché la nuova economia possa prosperare, c'è da vedere quali sono gli ultimi ostacoli da superare per dare il via alla nuova corsa allo spazio. In particolare, il diritto in materia di *asteroid mining* è scarno, sia per la novità dei problemi ai quali i legislatori internazionali ancora non hanno trovato soluzione, sia per la difficoltà evidente che c'è nel mettere d'accordo paesi diversi con interessi spesso opposti. Partendo dal principio, la legge spaziale è quel corpo normativo formato da regolamenti, accordi, trattati internazionali e leggi dei singoli paesi che regolano i rapporti tra i diversi attori presenti in questo scenario. I primi interessi degli stati sono scaturiti con lo sviluppo della corsa allo spazio, nella quale gli Stati Uniti D'America e l'Unione Sovietica hanno usato i traguardi ottenuti tramite gli ingenti investimenti nel settore aerospaziale per combattere la battaglia ideologica tra capitalismo e comunismo successiva alla Seconda guerra mondiale. Allo stesso tempo la guerra fredda e la minaccia nucleare erano uno spettro che incombeva sull'umanità, la possibilità che il progresso tecnologico in ambito aerospaziale portasse ad un armamento sempre più pericoloso spinse gli stati a cominciare a dialogare nel 1957 per assicurare che lo spazio fosse utilizzato solo per fini scientifici e pacifici. Nel

1958 i primi dialoghi tra USA e USSR risultarono nella presentazione dei problemi alle Nazioni Unite per cercare un punto d'incontro. Nel 1959 fu costituito il COPUOS "*Committee on the Peaceful Uses of Outer Spaces*" la cui sezione legale si sarebbe dovuta occupare di fare da intermediario tra le parti. Questo rinnovato desiderio di pace portò gli Stati Uniti, l'Unione Sovietica e la Gran Bretagna a firmare nel 5 agosto 1963 il "*Partial Nuclear Test Ban Treaty*" che prevedeva il divieto di effettuare test nucleari in orbita, nello spazio, negli oceani e in qualsiasi altro luogo che potesse far finire detriti nucleari nel territorio di un altro stato essenzialmente limitando i test nucleari al sottosuolo, all'accordo hanno poi aderito 126 paesi. Solo 4 anni dopo, il 27 gennaio 1967 è stato firmato il cosiddetto "*Outer space treaty*" che formerà poi la base della legislazione spaziale. Il trattato prevede il rispetto dei seguenti principi:

- L'esplorazione e l'utilizzo dell'"*outer space*" sono effettuati a beneficio e nell'interesse di tutti i paesi e appartiene a tutta l'umanità
- L'"*outer space*" è libero di essere esplorato e utilizzato da tutti gli stati
- L'"*outer space*" non è soggetto ad appropriazione nazionale o a rivendicazioni di sovranità, per il suo utilizzo, la sua occupazione o per qualsiasi altro scopo
- Gli stati non possono collocare armi nucleari o altre armi di distruzione di massa in orbita o su corpi celesti, o collocarle nello spazio in qualsiasi altro modo
- La Luna e gli altri corpi celesti sono utilizzati esclusivamente per scopi pacifici
- Gli astronauti sono considerati inviati dell'umanità
- Gli stati sono responsabili delle attività spaziali nazionali svolte da enti governativi o non governativi
- Gli stati sono responsabili dei danni causati dai loro oggetti spaziali
- Gli stati devono evitare la contaminazione dannosa dello spazio e dei corpi celesti

È da notare che nonostante l'"*outer space treaty*" abbia come obiettivo principale quello di limitare l'armamento dello spazio da parte delle nazioni terrestri, non viene fatta menzione di armi convenzionali, che quindi sono tecnicamente permesse. Per quanto riguarda invece i provvedimenti circa l'*asteroid mining*, il documento lascia spazio all'interpretazione, visto il silenzio in materia, nel 1967 infatti, quando è stato negoziato, queste attività spaziali erano considerate come fantascientifiche, anche se di lì a poco i primi progetti avrebbero cominciato a prendere piede (come quelli di Glaser ed O'Neill, analizzati in precedenza); il trattato è stato firmato da 113 paesi. Nel 1979 è stato poi creato il "*moon treaty*" o "*moon agreement*" il cui obiettivo era quello di aggiornare i principi presenti nell'"*outer space treaty*" visti i progressi tecnologici che erano stati raggiunti nel periodo tra i due trattati. Ad oggi il "*moon treaty*" è però stato firmato da 11 paesi, e nessuno di questi ha mai effettuato un viaggio nello spazio, rendendo il trattato irrilevanti nella

legislazione spaziale internazionale. Un altro trattato che serve a regolare i rapporti tra nazioni nello spazio è l'“*ISS agreement*” del 1998, che prevede che l'agenzia spaziale coordinatrice delle operazioni tra stati sulla stazione spaziale internazionale è la NASA, ferma restando la giurisdizione delle singole nazioni sui propri moduli. È chiaro che la zona grigia nella quale si colloca l'attività di asteroid mining la rende, tecnicamente, lecita. Sebbene l'“*outer space agreement*” riporti che “l'*outer space* non è soggetto ad appropriazione nazionale (...) per il suo utilizzo, la sua occupazione o qualsiasi altro scopo” nulla fa divieto uno stato o un'impresa privata di estrarre risorse dagli asteroidi o i corpi celesti nello spazio. Questo vuoto legislativo è stato colmato in alcuni paesi con la legislazione nazionale, ad esempio lo SPACE Act (*Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship Act of 2015*) che negli Stati Uniti permette ai propri cittadini di “impegnarsi nell'esplorazione e nello sfruttamento commerciale delle risorse spaziali” di fatto legalizzando l'*asteroid mining*. Un altro esempio è quello del Lussemburgo, che nel 2017 ha approvato il “*Luxembourg Space Resources Act*” che prevede la possibilità di effettuare *asteroid mining* sotto licenza, a tutte le imprese che hanno almeno una sede (anche non principale) in Lussemburgo e che la proprietà delle risorse estratte in forza di questo provvedimento sia dell'estrattore.

Capitolo 2: Teoria economica applicabile

2.1 La piccola economia aperta che è l'outer space

Per cercare di comprendere quali sarebbero le migliori politiche economiche da implementare per favorire il prosperare della “*space economy*”, viene posta un’assunzione. *L’outer space* verrà considerato come un paese a parte, distinto da ogni nazione terrestre con le quali però intrattiene dei rapporti di scambio. È chiaro che questo è uno scenario poco realistico, con molta probabilità l’economia spaziale sarà basata su imprese private la cui base operativa si troverà sulla Terra, o in alternativa sulla domanda fornita dalle agenzie spaziali nazionali (*NewSpace vs OldSpace*). In nessuno dei due casi è previsto che si formi una volontà di sovranità circa l’economia spaziale da parte dei “coloni”, non è però irrealistico che un ente sovranazionale venga incaricato di governare dal punto di vista economico *l’outer space economy*, anche in forza dei trattati che sono stati stipulati in passato, in nome dell’umanità, un ente sovranazionale che potrebbe occuparsi della stabilità economica spaziale potrebbe essere il già esistente UNOOSA (*United Nations Office for Outer Space Affairs*) che già adesso ha tra i compiti quello di assistere i paesi in via di sviluppo nell’uso delle tecnologie spaziali per sostenere lo sviluppo socioeconomico. Questa sezione della tesi risponde quindi alla domanda “quali sono le implicazioni macroeconomiche del considerare *l’outer space economy* come “l’economia del paese-spazio”?”. Grazie a questa semplificazione si spiegano anche alcuni punti della teoria di O’Neill che sono stati accennati in precedenza (la crescita di lungo periodo). Se così è, l’economia dello spazio può essere considerata come una piccola economia aperta. Per spiegare quali sono le implicazioni di questa deduzione, prima devono essere analizzati i tratti principali della teoria economica. Prima tra tutte l’economia è considerata “aperta”, secondo questa assunzione l’economia è in grado di importare beni e capitali da altri paesi, o al contrario, esportarli. La differenza fondamentale tra un’economia “aperta” ed una “chiusa” è che nella prima, la spesa del paese in ogni dato anno non è necessariamente uguale alla sua produzione aggregata di beni e servizi; il paese, infatti, può decidere di spendere più di quanto produce indebitandosi, e al contrario spendere meno di quanto produce offrendo la differenza in prestito ad altri paesi. In questa situazione l’identità contabile del paese diventa:

$$Y = C + I + G + NX$$

NX denominata come esportazioni nette, rappresenta la differenza tra le esportazioni del paese e le sue importazioni. Per spiegare questa formula basta considerare il consumo C come la somma tra il consumo interno di beni e servizi nazionali + il consumo interno di beni e servizi esteri, I come la

somma tra l'investimento interno in beni e servizi nazionali + l'investimento interno in beni e servizi esteri e G come la somma tra la spesa pubblica per l'acquisto di beni e servizi nazionali + la spesa pubblica per l'acquisto di beni e servizi esteri. Visto che in un'economia aperta la spesa Y è formata dalla somma del consumo di beni e servizi nazionali + l'investimento in beni e servizi nazionali + la spesa pubblica per l'acquisto di beni e servizi nazionali + le esportazioni di beni e servizi nazionali, esprimendo queste variabili in funzione del loro corrispettivo in beni e servizi esteri si ha che:

$$Y = (C - C^f) + (I - I^f) + (G - G^f) + EX$$

Definiamo quindi le importazioni come la somma di $C^f + I^f + G^f$ ossia come il consumo, l'investimento e la spesa pubblica per l'acquisto di beni e servizi esteri, e arriveremo alla formula descritta in precedenza. Un altro modo per comprendere questa identità contabile è quella di guardarla dal punto di vista del mercato dei fondi mutuabili, invece che da quello dei beni e dei servizi. Considerando infatti il risparmio nazionale come la differenza: $Y - C - G$ l'equazione diventa: $S - I = NX$ la differenza tra il risparmio nazionale e l'investimento nazionale è quindi uguale al deflusso netto di capitali o investimento estero netto ed il saldo commerciale dipende da questo. I due mercati sono ovviamente strettamente legati, se un paese ad esempio vuole consumare più beni e servizi esteri, diminuirà il suo risparmio nazionale, che lo porterà ad indebitarsi per sostenere le spese necessarie all'aumento del consumo. L'economia dello spazio è considerata, oltre che aperta, "piccola", ossia rappresenta solo una modesta porzione dei mercati mondiali e quindi non ha alcun effetto sulla determinazione del tasso di interesse mondiale. Se assumiamo la perfetta mobilità dei capitali per semplificare la trattazione, ci rendiamo conto che il tasso di interesse nazionale è uguale al tasso di interesse globale. Se così non fosse la domanda di investimenti all'interno del paese aumenterebbe o diminuirebbe, a seconda dei casi, fino al raggiungimento dell'equilibrio tra i tassi. Il tasso di interesse globale è determinato dall'equilibrio tra il risparmio globale (e della *space economy*) e l'investimento globale (e della *space economy*), il tasso di interesse globale è quindi considerato come una variabile esogena al modello di riferimento ossia:

$$\begin{aligned} NX &= \bar{Y} - C(\bar{Y} - T) - G - I(r^*) \\ &= \bar{S} - I(r^*) \end{aligned}$$

Si noti che il consumo è espresso in funzione del reddito disponibile (i cittadini consumano una frazione di ciò che posseggono ossia reddito meno tasse) e l'investimento in funzione del tasso di interesse globale (più è alto il tasso di interesse e più è alto il numero di progetti di investimento non redditizi che fa diminuire I) di conseguenza, il saldo commerciale varia al variare del tasso di interesse mondiale, delle tasse, della spesa pubblica e del reddito (che nel modello è però

considerato come una variabile esogena e fissa in quanto determinata dallo stock di fattori di produzione disponibili). Nella *space economy* un aumento della spesa pubblica è da intendersi come l'aumento della spesa dell'ente sovranazionale, che acquista beni o servizi prodotti nello spazio, allo stesso modo un aumento delle tasse sarebbe imposto dalla stessa autorità. Per definire il concetto di domanda aggregata è necessario sapere che esiste una relazione negativa tra le esportazioni nette ed il tasso di cambio reale (definito come il tasso di cambio nominale per il rapporto tra i prezzi dei due paesi presi in considerazione) questo perché con un tasso di cambio più basso, i beni e servizi prodotti all'interno del paese diventano più economici rispetto a quelli prodotti all'estero, facendo diminuire le importazioni ed aumentare le esportazioni. Anche il reddito disponibile ha un effetto sulle esportazioni nette, con l'aumentare del reddito disponibile, infatti, oltre ad aumentare il consumo per beni interni, aumenta anche il consumo di beni esteri, facendo aumentare le importazioni e diminuire le esportazioni nette. La domanda aggregata è quindi una funzione del tasso di cambio reale, reddito disponibile, investimento e spesa pubblica, e l'equilibrio nel mercato dei beni e dei servizi è raggiunto quando l'output totale di beni e servizi è uguale alla domanda totale di beni e servizi, in simboli:

$$Y = D\left(\frac{EP^*}{P}, Y - T, I, G\right)$$

Per quanto riguarda invece il mercato dei fondi mutuabili, l'equilibrio è raggiunto quando la domanda di saldi monetari reali è uguale all'offerta di saldi monetari reali. L'offerta di saldi monetari reali è data dall'offerta totale di moneta (che nelle economie moderne è determinata dalle banche centrali) e dal livello dei prezzi (che nel breve periodo consideriamo essere fissi, visto che affinché le aziende aggiustino i listini dei prezzi serve del tempo). La domanda di saldi monetari reali è invece una funzione dei tassi di interesse e del reddito, questo perché: a tassi di interesse più alti, il costo opportunità di detenere moneta, quando l'alternativa è quella di investire il denaro per ottenere dei rendimenti, aumenta, di conseguenza le persone vogliono detenere meno moneta e la domanda diminuisce, al contrario, un aumento del reddito porta le persone a voler spendere di più perché possono permetterselo, per poter spendere di più però hanno bisogno di più moneta, in quanto mezzo di pagamento, di conseguenza aumenta la domanda di moneta. L'equilibrio è definito in simboli:

$$\frac{M^s}{P} = L(R, Y)$$

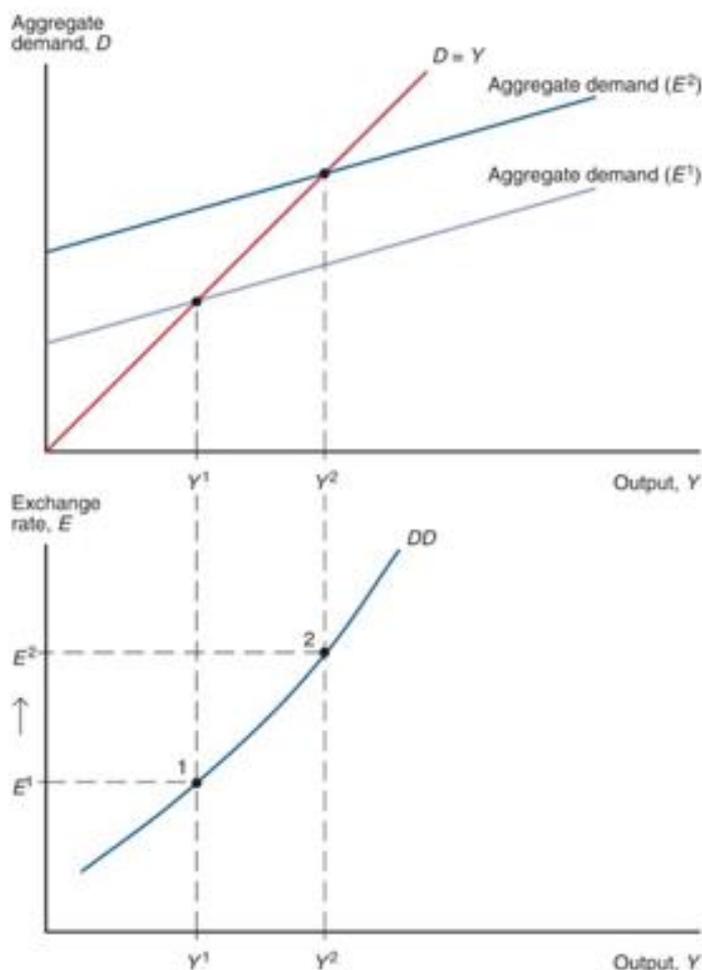
L'assunzione di uguaglianza tra il tasso di interesse globale e quello nazionale descritto precedentemente è però un'assunzione irrealistica, nella realtà, seppure con qualche distorsione data

dalla non perfetta mobilità dei capitali, vige un rapporto più complesso tra i tassi di interesse dei vari paesi, la cosiddetta *Interest Parity Condition* che (ad esempio tra Stati Uniti ed Europa) prevede che:

$$R_{\$} = R_{\text{€}} + \frac{E^e_{\$/\text{€}} - E_{\$/\text{€}}}{E_{\$/\text{€}}}$$

I tassi di interesse degli investimenti in dollari sono uguali alla somma tra i tassi di interesse degli investimenti in euro ed il tasso di apprezzamento atteso dell'euro. Questo perché se così non fosse,

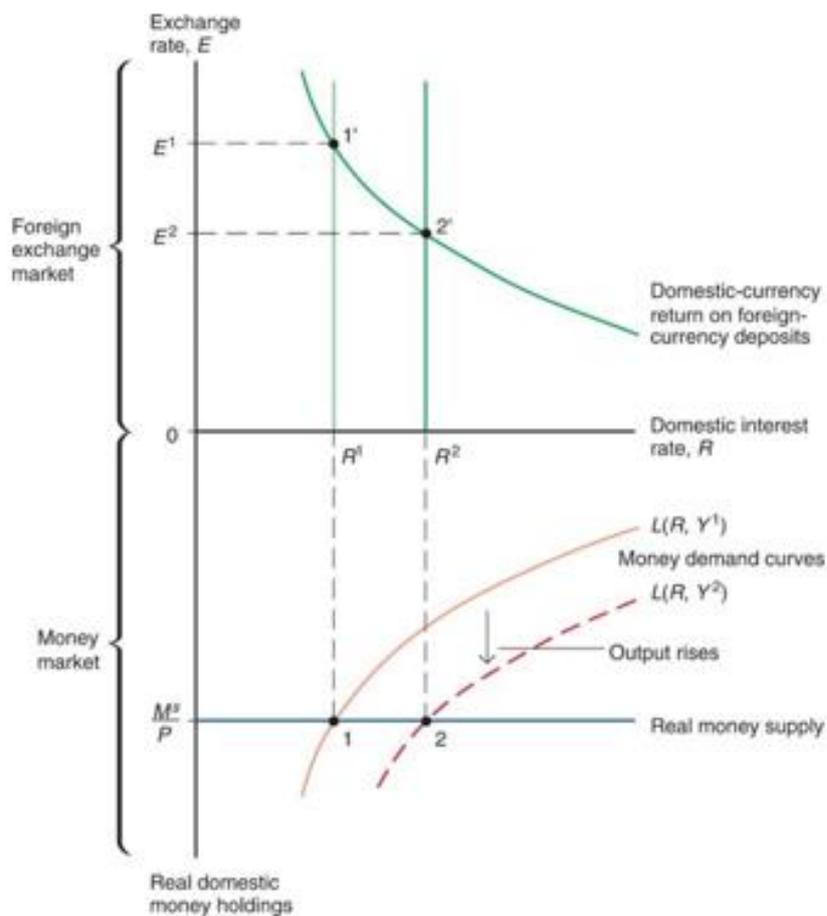
Figura 10. Grafico output, domanda aggregata, tasso di cambio la variazione nella domanda



Fonte: Output and exchange rate in the short run, international economics, LUISS

di moneta porterebbe ad una variazione del tasso di cambio, fino al raggiungimento dell'equilibrio. Le due equazioni di equilibrio, nel mercato dei beni e servizi ed in quello dei fondi mutuabili, portano alla formazione di due distinte relazioni, entrambe collegate all'output/reddito ed al tasso di cambio. La curva DD ha un andamento positivo poiché un aumento del tasso di cambio nominale (deprezzamento della moneta nazionale) porta nel breve periodo ad un aumento della domanda aggregata di beni e servizi domestici, questa relazione, come si vede nel grafico, porta la domanda aggregata a spostarsi verso l'alto, in equilibrio, la produzione aumenta per incontrare una più alta domanda aggregata (che si sposta da Y1 a Y2).

Figura 11. Grafico Offerta di moneta, tassi di interesse, tassi di cambio



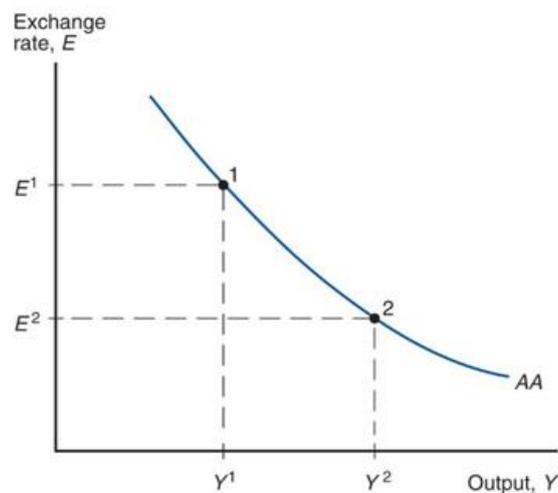
Nel mercato dei fondi mutuabili la situazione è invece descritta nel grafico a lato: un aumento del reddito porta le persone a voler detenere più saldi monetari reali, aumentando la domanda, i tassi di interesse aumentano poiché a questo modo la domanda e l'offerta di saldi monetari reali tornano in equilibrio.

Contemporaneamente un aumento dei tassi di interesse porta ad uno D sfasamento della *interest parity condition*, i tassi di

Fonte: Output and Exchange rate in the short run,
International Economics LUISS

cambio, quindi, diminuiscono (la moneta domestica si apprezza) per ristabilire la parità tra i rendimenti in valuta domestica e quelli in valuta estera. Per questo motivo esiste una relazione inversa tra Y ed E nel mercato dei fondi mutuabili, come descritta dal seguente grafico:

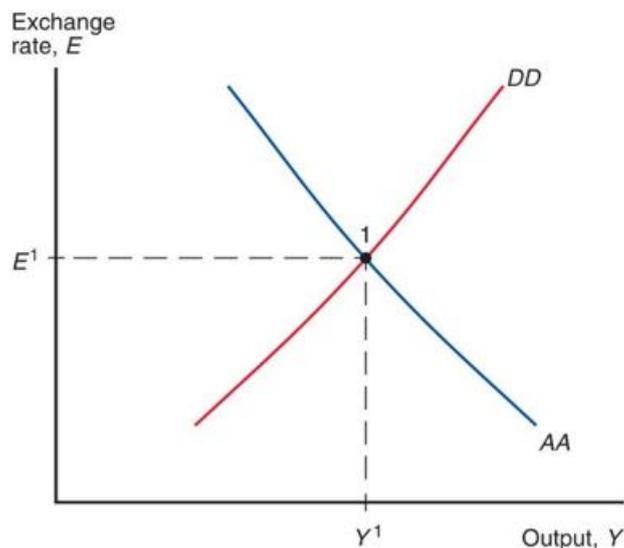
Figura 12. Grafico output, tasso di cambio



Fonte: Output and Exchange rate in the short run, International Economics, LUISS

Le curve DD ed AA rappresentano quindi tutti quei valori di E ed Y che assicurano l'equilibrio rispettivamente nel mercato dei beni e dei servizi ed in quello dei fondi mutuabili, dall'intersezione delle due curve troviamo gli unici valori di E ed Y che assicurano l'equilibrio in entrambi i mercati come mostrato nel grafico seguente:

Figura 13. Equilibrio mercato di beni e servizi e mercato di fondi mutuabili



Fonte: Output and Exchange rate in the short run, International Economics, LUISS

Adesso che la teoria è stata spiegata basta applicarla all'ipotesi fatta per l'*outer space economy* ed in questo modo potranno essere previsti gli effetti che cambiamenti nelle variabili incluse nel modello sui tassi di cambio e sull'output. Mettiamo ad esempio che l'autorità sovranazionale decida di imporre delle tasse per lo sfruttamento delle risorse presenti nell'*outer space*, magari per fare in

modo che vengano rispettati i principi dell'*outer space treaty*, che sancisce che “l’esplorazione e l’utilizzo dell'*outer space* sono effettuati a beneficio e nell’interesse di tutti i paesi e tutta l’umanità”. Un aumento temporaneo delle tasse porta ad una diminuzione della domanda aggregata, per il doppio effetto che ha il reddito disponibile ($Y-T$) sulla domanda aggregata. La riduzione del reddito disponibile, infatti, riduce i consumi interni dell’economia e fa diminuire le importazioni (poiché diminuiscono sia il consumo di beni e servizi domestici che esteri). La curva DD si sposta quindi verso sinistra, ed il nuovo equilibrio prevede un livello di output Y più basso ed un aumento del tasso di cambio (deprezzamento della moneta domestica). Al contrario, per finanziare lo sviluppo delle infrastrutture spaziali, o progetti di ricerca nell’ambito, magari per realizzare le idee di Glaser e O’Neill, l’autorità sovranazionale potrebbe decidere di aumentare la spesa pubblica, questo porterebbe ad un aumento della domanda aggregata di breve periodo e ad uno spostamento della curva DD verso destra, con il conseguente raggiungimento di un livello di output più alto ed un tasso di cambio più basso. Ci sono però delle precisazioni da fare; attualmente non esiste un accordo o una determinazione ufficiale sulla moneta che verrà utilizzata nell'*outer space economy*. La questione della valuta è ancora oggetto di dibattito e valutazioni teoriche. In linea di principio, potrebbero essere prese in considerazione due opzioni, la prima è quella di utilizzare una valuta già utilizzata sulla terra, come il dollaro statunitense, per le transazioni spaziali, dato che molte attività saranno finanziate da agenzie governative o aziende con sede sulla Terra, la seconda opzione è quella di sviluppare una nuova valuta per facilitare gli scambi e la contabilità tra imprese spaziali, le valute basate sulla blockchain in questo ambito potrebbero consentire la sicurezza e la tracciabilità delle transazioni nello spazio. Ci sono ovviamente anche dei lati negativi in entrambi gli scenari. Se venisse utilizzata una valuta già esistente, l’equilibrio di breve termine dell'*outer space economy* sarà soggetto alle variazioni nella politica monetaria effettuata dalla banca centrale corrispondente, nel caso del dollaro statunitense quindi la FED, che potrebbe far variare i tassi di cambio e tramite la politica monetaria. D’altro canto, una valuta nuova potrebbe essere oggetto di speculazione, il che porterebbe ad una maggior variabilità nel suo tasso di cambio e minore stabilità economica. È inoltre importante notare, che qualsiasi decisione riguardante la moneta dello spazio richiederà un accordo internazionale tra le nazioni coinvolte, e potrebbe richiedere tempo per definire un sistema monetario adeguato. La questione della moneta nell'*outer space economy* rimane ancora aperta e soggetta a ulteriori discussioni e sviluppi futuri.

2.2 la crescita economica di lungo periodo dell'outer space economy

Nelle pagine precedenti sono stati analizzati gli effetti che le politiche monetarie e fiscali nel breve periodo hanno su un'economia, e sono state applicate le conoscenze economiche in materia a scenari ritenuti plausibili nel futuro dell'outer space economy. Nel lungo periodo però, il livello di output di un'economia non dipende dalla domanda e dall'offerta aggregata di beni e servizi o di saldi monetari reali, certo le fluttuazioni hanno un effetto sull'economia, ma se si guarda nel lungo termine il modello della crescita di Solow, che verrà esposto a breve, prevede che gli unici fattori che determinano la produzione aggregata nel lungo periodo siano i fattori di produzione e la loro variazione nel tempo. Il modello di Solow è basato su delle ipotesi, alcune più realistiche di altre, ma che in generale non invalidano la teoria nonostante le semplificazioni adottate. Per sviluppare il modello, l'economista parte dalla funzione di produzione dei beni e la esprime la produzione (Y) in funzione dello stock capitale (K) e della forza lavoro (L):

$$Y = F(K, L)$$

La prima ipotesi semplificativa è che la funzione di produzione abbia rendimenti di scala costanti, questa ipotesi è considerata realistica nella maggior parte dei casi; quindi, moltiplicare il lavoro ed il capitale per uno stesso fattore positivo, restituirà una quantità di output a sua volta moltiplicata per questo fattore. Definendo il fattore come $1/L$ otteniamo la funzione di produzione:

$$Y/L = F(K/L, 1)$$

Secondo questa equazione, la produzione per occupato, Y/L è una funzione della quantità di capitale per occupato K/L . Il numero di lavoratori, quindi, non influenza il rapporto tra produzione per occupato e capitale per occupato. Se definiamo y come Y/L e k come K/L la funzione di produzione diventa $y=f(k)$. La pendenza della funzione descritta rappresenta il prodotto marginale del capitale definito come la differenza tra la produzione per occupato con un'unità aggiuntiva di capitale e la produzione per occupato. La funzione è caratterizzata da un prodotto marginale del capitale (K) decrescente, questo perché, quando i lavoratori dispongono di una bassa quantità di capitale per occupato, un'unità aggiuntiva di capitale li rende molto più produttivi di quanto lo faccia un'unità aggiuntiva di capitale, nell'ipotesi di uno stock di capitale già elevato. A questo punto nel modello di Solow, viene introdotta una seconda assunzione, ossia che l'economia sia chiusa (nelle precedenti pagine è stato definito il concetto di economia aperta e chiusa), di conseguenza le esportazioni nette

sono uguali a 0, inoltre viene omessa la spesa pubblica, in quanto irrilevante ai fini degli obiettivi che il modello si pone. L'identità contabile di un paese per occupato, diventa quindi uguale a:

$$y = c + i$$

Dove i è l'investimento per occupato e c è il consumo per occupato, il modello di Solow, infatti, ipotizza che ogni individuo risparmi una frazione del proprio reddito e consumi il resto. Definendo s come il saggio di risparmio (che ha un valore tra 0 e 1, in quanto definisce la frazione di reddito che l'individuo risparmia) il consumo per occupato può essere espresso in funzione di y :

$$c = (1 - s)y$$

Sostituendo c con la sua funzione di s e y , all'interno dell'identità contabile per occupato, e riordinando i termini otteniamo che:

$$i = sy$$

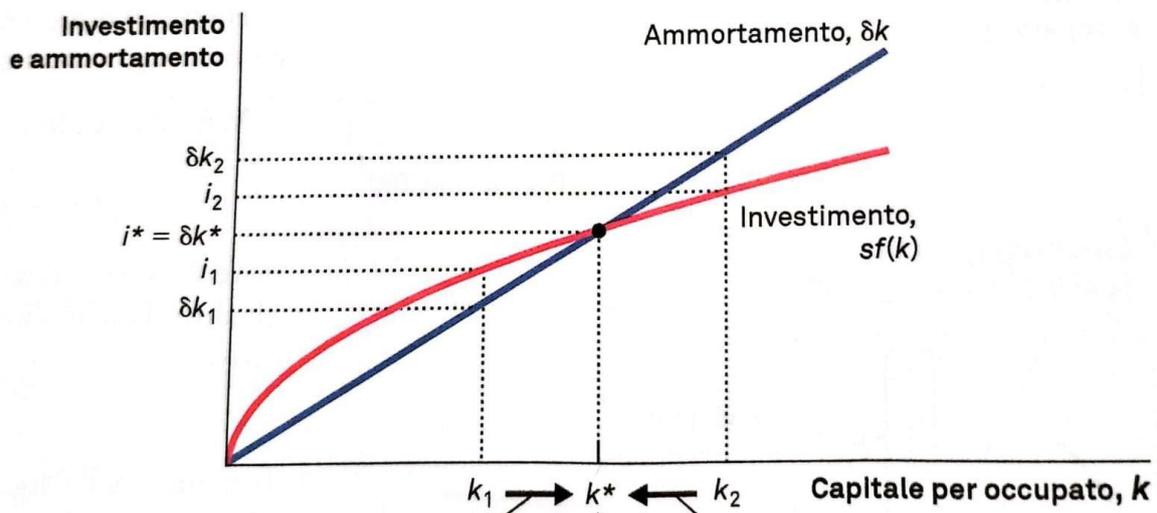
Questa equazione altro non fa che dimostrare che l'investimento è uguale al risparmio in economia chiusa, solo che i valori sono definiti per lavoratore occupato. È chiaro adesso che l'investimento è il fattore che causa la crescita del capitale, per definizione, e che può essere espresso come una funzione di y . È stato anche già visto che y può essere espresso come $f(k)$, di conseguenza, per ogni determinato valore di k ci sarà un determinato valore di y , questo determinato valore di y farà aumentare l'anno successivo k , creando a questo modo un circolo infinito di capitale ed output. Nella realtà il capitale però non dura in eterno, ogni anno una percentuale del capitale viene distrutta per l'usura. Per includere questa variabile all'interno del modello definiamo δ come il tasso di ammortamento. La quantità di capitale che ogni anno viene distrutta per il logoramento è quindi uguale a δk . Per ogni determinato valore di k c'è quindi un determinato valore di ammortamento del capitale, che ogni anno ne fa diminuire lo stock totale. A questo punto, per definire quale dei due effetti (l'investimento e l'ammortamento) influisca di più sullo stock totale di capitale, basta trovare la variazione di quest'ultimo. Δk è quindi uguale alla differenza tra l'investimento e l'ammortamento, in simboli:

$$\Delta k = sf(k) - \delta k$$

Visto che l'ammortamento è una funzione lineare di k e che invece l'output è caratterizzato da un prodotto marginale del capitale decrescente, da un certo valore di k in poi, esisterà un valore di k che rende il valore di Δk uguale a 0 e verso il quale l'economia tende, è, in sintesi, il valore di

equilibrio di k di lungo termine (k^*) o stato stazionario. Ma perché k tende verso questo valore? Se k fosse minore di k^* l'effetto dell'investimento sarebbe maggiore dell'effetto dell'ammortamento, il che porterebbe Δk ad assumere valori positivi, e ad aumentare k fin quando non raggiunge il valore di k^* . Al contrario, se k fosse maggiore di k^* l'effetto dell'ammortamento sarebbe maggiore dell'effetto dell'investimento, portando a valori negativi di Δk ed a diminuire k fin quando non raggiunge il valore di k^* .

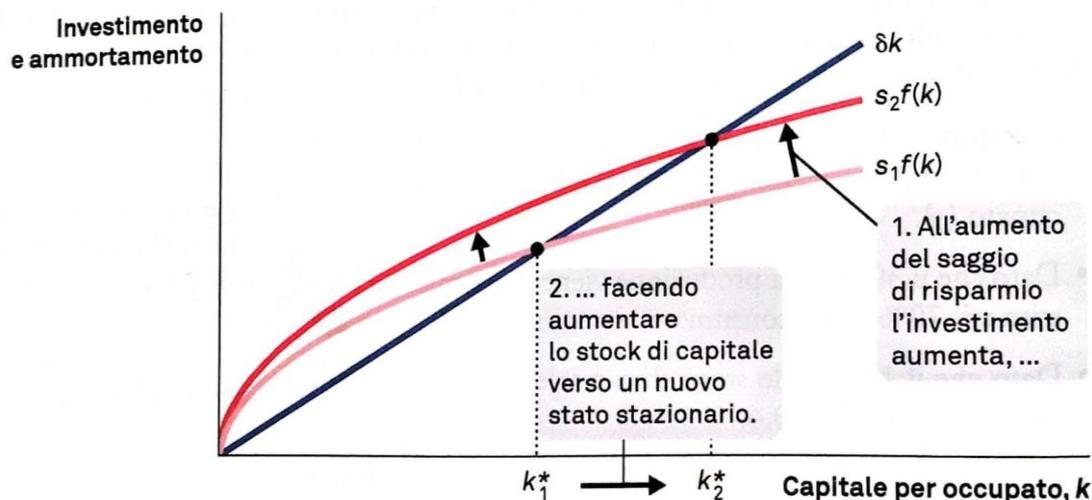
Figura 14. Equilibrio tra capitale per occupato ed investimento/ammortamento nel lungo periodo



- Fonte: MANKIWN. Gregory; Mark P. TAYLOR. 2015, Macroeconomia, Sesta edizione Italiana, Zanichelli.

In ogni caso quindi, l'economia tende a raggiungere il livello k^* , che è determinato dall'intersezione della retta di ammortamento e la curva di investimento. Un'altra conclusione importante alla quale si arriva, che verrà ripresa nelle prossime pagine per discutere le idee di O'Neill, è che i paesi che partono da uno stock di capitale più basso tendono a crescere più rapidamente di altri con uno stock di capitale più elevato, a parità di saggio di risparmio, visto che la produttività marginale del capitale ha un andamento decrescente. Con un saggio di risparmio più elevato, le persone investono di più e di conseguenza la curva di investimento si sposta verso l'alto, portando l'economia verso un più elevato livello di capitale per occupato e un conseguente maggior livello di output per occupato.

Figura 15. Effetto di un aumento del saggio di risparmio



Fonte: MANKIWN N. Gregory; Mark P. TAYLOR. 2015, Macroeconomia, Sesta edizione Italiana, Zanichelli.

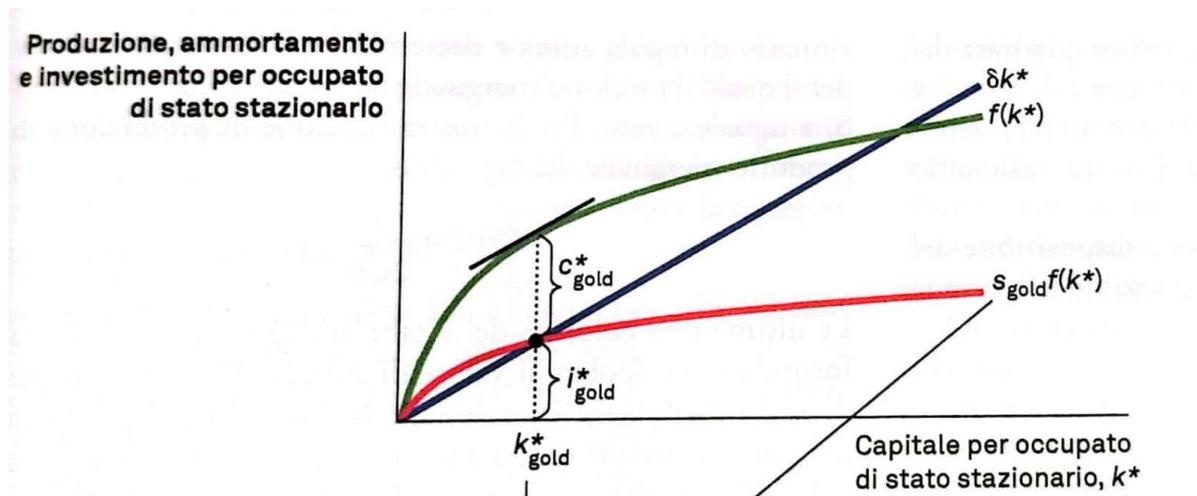
Se ipotizzassimo quindi che il governo potesse cambiare a proprio piacimento il saggio di risparmio, potremmo giungere alla errata conclusione che il saggio di risparmio migliore sia uguale a 1. A questo modo però è vero che si massimizzerebbe il capitale per occupato e la produzione aggregata, ma i cittadini dello stato finirebbero per avere un consumo nullo. Ciò che invece uno stato vuole raggiungere nel lungo periodo, è la massimizzazione del consumo, non della produzione. Questo livello di k che massimizza il consumo è detto k^* gold. Per calcolare quale sia il livello di k che massimizza il livello di consumo, prima di tutto va definito il consumo per occupato. Nelle precedenti pagine è stato detto che $y = c + i$, (ossia l'identità contabile nazionale) riaggiustando i termini ricaviamo che $c = y - i$. Visto che si vuole ricavare il livello di k^* che massimizza il consumo, si può sostituire y con la sua funzione del capitale nel punto k^* e, visto che in stato stazionario l'investimento è uguale all'ammortamento, si può sostituire ad i , δk . In simboli si ha quindi che:

$$c = f(k^*) - \delta k^*$$

Il consumo è quindi uguale alla distanza tra le due curve per ogni punto di k . Il punto in cui il consumo per occupato è massimo, è di conseguenza il punto in cui la pendenza della curva di produzione è uguale alla pendenza della curva di ammortamento, se k^* si fosse minore di k^* gold, all'aumentare di k^* , $f(k^*)$ aumenterebbe di più di δk^* . Al contrario, se k^* fosse maggiore di k^* gold, al diminuire di k^* , $f(k^*)$ diminuirebbe di meno di δk^* . Visto che la pendenza di $f(k^*)$ è il prodotto marginale del capitale, e la pendenza di δk^* è δ , il consumo è massimo quando $PMK = \delta$. È

importante ricordare che k^* non tende automaticamente verso k^*_{gold} , è k che tende nel lungo periodo ad uniformarsi a k^* . Di conseguenza, per fare in modo k^* tenda verso k^*_{gold} , è necessario un adeguato saggio di risparmio, s_{gold} :

Figura 16. Equilibrio di lungo termine con s_{gold}



Fonte: MANKIWN. Gregory; Mark P. TAYLOR. 2015, Macroeconomia, Sesta edizione Italiana, Zanichelli.

La teoria finora esposta, spiega quale sia l'equilibrio di lungo termine del capitale, e quali siano le variabili che lo determinano. Ci sono però ancora due cose che il modello non ha spiegato: perché la produzione aggregata dei paesi tende a crescere nel tempo (questa cosa non dovrebbe poter essere possibile, in stato stazionario, poiché l'investimento e l'ammortamento si eguagliano), e perché il tenore di vita migliora nel tempo. Solow decide a questo punto di introdurre un'altra variabile all'interno del modello: la crescita demografica. Viene introdotta quindi l'ipotesi che la popolazione mondiale e la forza lavoro crescano ad un determinato tasso n , l'effetto che questa variabile ha sulla quantità di capitale per occupato k è molto semplice: all'aumentare dei lavoratori, la quantità di capitale disponibile per ognuno di loro diminuisce. Il nuovo stato stazionario tiene quindi in considerazione della diminuzione del capitale data dalla redistribuzione di questo tra i lavoratori, in simboli:

$$\Delta k = sf(k) - (\delta + n)k$$

Per lo stesso ragionamento effettuato per il modello senza crescita demografica, il punto di stato stazionario è raggiunto quando Δk è uguale a 0, e quindi quando l'investimento è uguale all'ammortamento del capitale più la crescita demografica. La crescita demografica spiega perché la produzione aggregata tenda a crescere nel lungo periodo. Infatti, anche se in stato stazionario il capitale per occupato e la produzione per occupato sono costanti, la produzione totale del paese cresce al tasso n , ossia il tasso di crescita demografica. L'ultima variabile introdotta da Solow nel

suo modello è quella della crescita tecnologica. Per farlo prima di tutto modifica la funzione di produzione del paese, sostenendo che l'efficienza dei lavoratori ha reso paesi molto più produttivi di quanto la sola crescita demografica potesse spiegare, ad esempio, con l'introduzione della catena di montaggio, all'inizio del ventesimo secolo, la produzione aggregata dei paesi nei quali ha preso piede questo nuovo metodo produttivo, è aumentata molto. Questo aumento viene spiegato nel modello con l'introduzione dell'efficienza del lavoro all'interno della funzione di produzione dei paesi:

$$Y = F(K, L \times E)$$

Il prodotto $L * E$ rappresenta il numero effettivo di lavoratori, per esempio, se assumiamo che in 30 anni l'efficienza del lavoro sia raddoppiata, dopo 30 anni un lavoratore in effetti produce come due lavoratori di 30 anni prima. Sfruttando la stessa assunzione dei rendimenti di scala costanti sfruttata precedentemente, dividendo tutti i membri dell'equazione per $L * E$ otteniamo le variabili in funzione degli occupati effettivi. A questo modo $y = Y/(L * E)$ e $k = K/(L * E)$, mentre $y = f(k)$. Viene introdotta a questo punto l'ultima ipotesi del modello, ossia che l'efficienza del lavoro cresca ad un tasso costante g denominato tasso di progresso tecnologico. A questo punto, il capitale di stato stazionario è ottenuto come sempre ponendo Δk uguale a 0. Questo accade quando l'investimento compensa completamente sia la quantità di capitale per occupato effettivo che ogni anno diminuisce per il logoramento (ammortamento), sia la quantità di capitale per occupato effettivo che ogni anno diminuisce per la redistribuzione del capitale tra i nuovi lavoratori prodotti dalla crescita demografica, sia infine, la quantità di capitale per occupato effettivo che ogni anno diminuisce per dotare di capitale i nuovi lavoratori "effettivi" prodotti dalla crescita tecnologica, in simboli:

$$\Delta k = sf(k) - (\delta + n + g)k$$

In stato stazionario quindi, $K/(L * E)$ ed $Y/(L * E)$ sono costanti, così come la produzione aggregata per occupato effettivo. Spostandoci però dalle variabili per occupato effettivo a quelle per occupato, si nota che K/L ed Y/L sono uguali rispettivamente a $k * E$ e $y * E$. questo spiega il secondo quesito che ci si era posto in precedenza; infatti, è stato dimostrato che il reddito pro capite cresce del tasso g , così come il capitale pro capite. La produzione aggregata in questo caso cresce annualmente del valore $n + g$, in quanto Y è uguale ad $y * L * E$. Il modello di Solow può essere utilizzato come argomentazione per sostenere che i tassi di crescita dell'*outer space economy* saranno molto alti. Si partirà da uno stock di capitale molto basso rispetto a quello delle moderne economie, il che la porterà a crescere molto velocemente, dati come quelli assunti da O'Neill, che prevedono un tasso di crescita del 35% annuo per 20 anni, restano probabilmente irrealistici, anche se il suo modello

prevede un aumento dei lavoratori dell'*outer space economy*, oltre che del capitale. Un'altra variabile che potrebbe sostenere i dati proposti da O'Neill è presentata dal modello di Kremer, che, in breve, sostiene (ed i dati supportano la sua tesi) che un aumento della popolazione porti ad un aumento del tasso di crescita tecnologica, visto che, con l'aumentare del numero di persone, aumentano anche il numero di inventori e scienziati. Un altro fattore che porterebbe all'aumento del tasso di crescita tecnologica è rappresentato dal fatto che la conoscenza umana dello spazio aumenterebbe sicuramente con il crearsi dell'*outer space economy*, facendo migliorare la produttività del capitale umano, non solo quello fisico. È chiaro che queste teorie resteranno tali fin quando non decideremo di provare a realizzarle, anche se, visto il rinnovato interesse delle agenzie spaziali e dei governi, verso questi progetti irrealizzati, quel giorno non sembra poi così lontano.

2.3 Teoria dei beni in relazione all'asteroid mining

Nel libro "*Principle of Economics*", N. Gregory Mankiw, professore di economia alla Harvard University e consigliere economico del presidente statunitense George W. Bush dal 2003 al 2005, per spiegare l'esistenza delle diverse tipologie di beni e classificarle pone due domande: il bene è escludibile? E poi: il bene è rivale nel consumo? Il concetto di escludibilità è spiegato come la proprietà di un bene di precluderne l'utilizzo ad una persona. Il concetto di rivalità nel consumo è invece spiegato come la proprietà di un bene secondo la quale l'utilizzo di una persona diminuisce la possibilità di utilizzo di altre. A questo punto procede a creare una classificazione dei quattro tipi di beni:

- Sono "*private goods*" quei beni che sono sia escludibili che rivali nel consumo, la maggior parte dei beni nell'economia sono considerati "private"
- Sono "*public goods*" quei beni che non sono né escludibili né rivali nel consumo
- Sono "*common resources*" quei beni che non sono escludibili ma sono rivali nel consumo
- Sono "*club goods*" quei beni che sono escludibili ma non rivali nel consumo

Nella seguente tabella sono presenti gli esempi che il professor Mankiw dà per i diversi tipi di beni:

Tabella 4. Classificazione delle tipologie di beni

		Rival in consumption?	
		Yes	No
Excludable?	Yes	Private Goods • Ice-cream cones • Clothing • Congested toll roads	Club Goods • Fire protection • Cable TV • Uncongested toll roads
	No	Common Resources • Fish in the ocean • The environment • Congested nontoll roads	Public Goods • Tornado siren • National defense • Uncongested nontoll roads

Fonte: MANKIW, N. Gregory. 2014 Principles of economics. Cengage Learning,

Ovviamente, a volte la classificazione di un particolare tipo di bene può essere labile, come è il caso degli asteroidi e dei materiali in essi contenuti. Trovare le risposte alle domande che il professor Mankiw pone non è infatti così semplice, la risposta corretta è: dipende. Gli asteroidi sono tecnicamente beni escludibili, ma tutto dipende da quello che la legislazione internazionale avrà da dire in materia. In effetti, se si volesse seguire il principio dettato dall'”*outer space treaty*”, che recita che “l' *outer space* non è soggetto ad appropriazione nazionale o a rivendicazioni della sovranità, per il suo utilizzo, la sua occupazione o qualsiasi altro scopo” gli asteroidi dovrebbero essere escludibili, dovrebbe quindi essere possibile precluderne l'utilizzo, e di fatto, tecnicamente lo sono; non è infatti difficile precludere qualcuno dall'utilizzarli, il problema della questione sta nel fatto che non si sa chi sarà a farne rispettare l'escludibilità, visto che gli interessi internazionali in materia sono opposti. Per rendere più chiaro il concetto, sfrutterò un esempio che lo stesso Mankiw usa nel libro sopra citato. “I pesci nell'oceano potrebbero non essere escludibili, poiché monitorare la pesca è molto difficile, ma una guardia costiera molto grande potrebbe rendere il pesce parzialmente escludibile”. Allo stesso modo, gli asteroidi nello spazio potrebbero essere escludibili, poiché monitorarne l'utilizzo è molto semplice, ma un ente molto piccolo (o con molto poco potere) potrebbe rendere gli asteroidi solo parzialmente escludibili. D'altro canto, una legislazione come quella del Lussemburgo, che prevede che tutte le imprese che hanno almeno una sede nel paese, abbiano la possibilità di effettuare *asteroid mining*, solo però con una licenza, rende gli asteroidi escludibili. Per quanto riguarda la rivalità nel consumo, anche qui dare una risposta alla domanda sembra un compito arduo, da una parte gli asteroidi nell'universo sono tantissimi, è chiaro che quindi l'utilizzo da parte di qualcuno di un asteroide non ne diminuisce le possibilità di utilizzo per qualcun altro. È anche vero però che non tutti gli asteroidi sono uguali, si è visto nel primo capitolo che alcuni tipi di asteroidi sono più profittevoli di altri, sia per la diversa concentrazione di materiali in essi contenuta, sia per la diversa distanza di questi asteroidi dalla Terra. È ovvio che l'estrazione di materiali da un particolare asteroide escluda la possibilità che un terzo possa estrarre quegli stessi materiali, è anche vero che con il tempo, gli asteroidi più utili potrebbero non essere più quelli vicini alla Terra, magari quelli più vicini alla ISS o alla Luna potrebbero risultare più profittevoli, o magari quelli più vicini al punto L-5 come esaminato in precedenza. L'argomento è certamente complesso e non esiste una risposta univoca alle domande poste, la questione della proprietà e dei diritti sulle risorse nello spazio è ancora aperta, e solo il tempo ed i futuri legislatori nazionali ed internazionali riusciranno a dare risposta a questi interrogativi.

2.4 I distretti industriali ed i clusters di imprese

Come si vedrà nel capitolo successivo, oggi l'industria che forma la base per l'uso futuro dell'*outer space* e delle risorse in esso presenti, è formata da imprese private, magari che hanno il supporto

economico di agenzie spaziali, o di governi, che si trovano in aree precise del mondo, come ad esempio la Silicon Valley. Insieme queste imprese formano un cosiddetto distretto industriale. Come riportato da Carlo Scognamiglio Pasini (e da Ivan Paniccchia per il capitolo specifico) nel suo libro “Economia Industriale, Economia dei mercati imperfetti”, la prima definizione dei distretti industriali è di Alfred Marshall che in “*Principles of Economics*” usa questo termine per descrivere la concentrazione di imprese specializzate nella produzione del cotone o della lana, successivamente il concetto sarà ripreso da Giacomo Becattini che ne darà una definizione più generale, “un esteso numero di piccole imprese, legate da relazioni verticali di cooperazione e da relazioni orizzontali di concorrenza specializzate in una o più industrie complementari in un’area delimitata naturalmente e storicamente” (Mercato e forze locali: il distretto industriale, G.Becattini). I vantaggi che queste imprese hanno nel localizzarsi tutte in un’area delimitata sono molteplici, prima di tutto, le persone che vivono nelle comunità limitrofe ai distretti industriali, lavorano per la maggior parte nelle imprese facenti parte del distretto, e le relazioni umane che naturalmente si creano portano ad uno *spill-over* della conoscenza con un conseguente miglioramento della produzione di tutte le imprese del distretto, inoltre, per citare Becattini, “l’atmosfera industriale fa sì che i misteri dell’industria non siano più tali. È come se stessero nell’aria, e i fanciulli ne apprendono molti inconsapevolmente”. Molto spesso queste imprese hanno costi di trasporto molto bassi rispetto ai loro competitors, in quanto le fasi successive della produzione sono spesso realizzate da imprese all’interno dello stesso distretto. Infine, lo sfruttamento delle economie di scala esterne, ossia l’aumento dei ricavi dato dall’ingrandimento del settore, è un vantaggio competitivo condiviso tra tutti gli attori del distretto. Nei paesi diversi dall’Italia spesso si fa riferimento al concetto di clusters di imprese, in quanto è il nome che Porter ha dato al fenomeno, riprendendo dagli studi di Becattini

2.5 Relazioni tra macroeconomia ed outer space economy attraverso l’Oxford scenario planning approach

Sebbene gli studi macroeconomici sull’*outer space economy* siano limitati per l’insufficiente conoscenza circa la significatività economica potenziale del settore, nel 2022 quattro economisti (Taskeen Ali, Alberto Behar, John Clift e Rafael Ramirez) di cui i primi due rispettivamente impegnati nell’UKSA, nell’IMF, mentre gli altri due sono rispettivamente Associate e Senior Advisor di NormannPartners, hanno deciso di applicare il così detto OSPA (*Oxford Scenario Planning Approach*) per cercare di prevedere le conseguenze macroeconomiche dello sviluppo dell’*outer space economy*, e hanno riportato i risultati delle loro ricerche e dei loro esperimenti e interviste nel paper “*Reframing Space: Macroeconomists Engage Outer Space with the Help of*

Scenario Planning”. Nel documento, gli studiosi hanno elaborato quattro possibili scenari che loro stessi definiscono come plausibili ma non necessariamente probabili, in quanto il loro obiettivo è quello di progettare futuri diversi per aiutare gli utenti nell’UKSA a sviluppare e testare strategie migliori. Gli scenari sono:

- *Grounded*: la maggior parte dell’orbita terrestre bassa diventa inutilizzabile
- *Power Play*: i privati continuano a farsi strada nello spazio. Le tensioni tra Stato e attori privati aumentano per la maggiore attività e portata del settore privato
- *Renaissance*: lo spazio è prezioso per l’osservazione della Terra e per alcuni “mitigation projects” (mitigazione degli effetti dei detriti e dei rischi connessi alle attività spaziali). Le agenzie spaziali vedono che il loro ruolo sta rapidamente cambiando ed evolvono per sopravvivere e prosperare in queste nuove condizioni.
- *From Cloud to Nebula*: Alcune industrie si spostano in orbita. Per la produzione di parti mediche ed elettroniche, visti i vantaggi che un ambiente in zero gravità offre

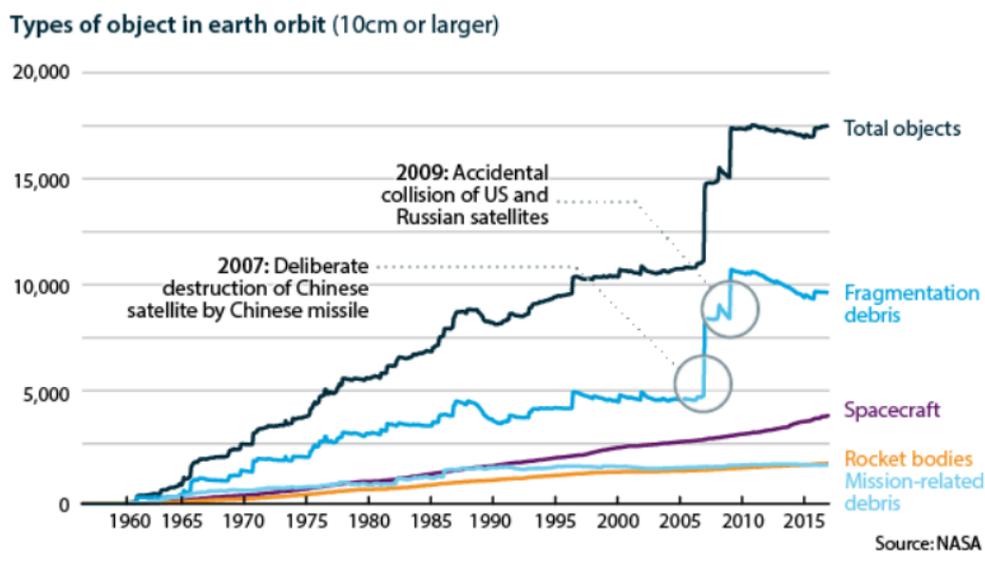
Nello studio è emersa, come è stato anche già detto nel corso della tesi, l’evidenza della mancanza di chiari diritti di proprietà sull’*outer space* e le sfide che questa mancanza implica. L’UKSA è riuscita comunque a produrre 4 temi principali di collegamento tra la macroeconomia e l’*outer space*:

- Le scelte in ambito di attività spaziale potrebbero avere un forte impatto sull’ambiente e l’ecologia
- La gestione dei detriti spaziali potrà avere un impatto sulla sostenibilità delle attività in orbita terrestre bassa
- La coordinazione globale delle attività spaziali potrà avere un impatto sulle operazioni ininterrotte
- La legislazione avrà un impatto sulla stabilità finanziaria dell’*outer space economy*

Lo scenario “*Grounded*” parte dal presupposto che la crescita esponenziale dell’*outer space economy* porti alla realizzazione della *Kessler Syndrome*. Questa è essenzialmente uno scenario proposto dallo scienziato Donald J.Kessler, che evidenzia come la densità di oggetti e detriti in orbita terrestre bassa, porti, in caso di collisioni (che diventano tra l’altro sempre più probabili) ad un effetto a cascata che potrebbe portare alla distruzione dei satelliti, che forniscono all’umanità dei servizi indispensabili, come la navigazione satellitare, oltre che all’inutilizzabilità dell’orbita terrestre bassa per le generazioni future. I danni agli investitori e all’economia terrestre sarebbero enormi in uno scenario simile. Secondo l’UKSA il 15% dell’economia terrestre britannica dipende da attività spaziali. Questo scenario evidenzia il rischio sistemico che porta con sé l’*outer space economy*, ed è proprio questo rischio che porterà, e di fatto già ha portato, alcuni stati a sviluppare

tecnologie per disabilitare o distruggere satelliti, paesi come la Russia e la Cina hanno anche abbattuto un proprio satellite per testarle, provocando delle grandi dispersioni di detriti in orbita. Non solo attacchi diretti, o errori possono portare alla creazione di questo scenario, anche le manovre difensive per proteggere i satelliti dai detriti potrebbero portare a collisioni. L'aumento dei rischi collegati allo sviluppo dell'*outer space economy*, porta sia ad alti costi assicurativi che ad aumenti nei costi dei lanci futuri, che a loro volta impattano la profittabilità dell'industria spaziale. Infine, una collisione nello spazio, anche se non scatenasse l'effetto a cascata descritto da Kessler, porterebbe gli investitori sulla terra a disinvestire o quantomeno rivalutare gli investimenti nell'*outer space economy* per il "flight to quality effect".

Figura 17. Numero di oggetti in orbita terrestre (almeno 10 cm)



Fonte: Oxford Analytica Daily Brief, 2018, Space debris threatens global economy and security

Lo scenario "Power Play" porta, oltre ai rischi che già sono stati analizzati nello scenario "Grounded" ad altri problemi. L'assenza di una legislazione internazionale in merito, porta le singole imprese a collaborare e coordinarsi per appropriarsi delle esternalità positive generate da una gestione del genere, al contrario, la noncuranza per le esternalità negative da loro causate (inquinamento luminoso eccessivo, rivendicazione dei limitati luoghi dove è possibile fare impresa in orbita ecc.) resterebbe impunita. Il problema dei detriti potrebbe essere risolto o dando il compito di monitorare gli oggetti di più grande dimensione ad un ente (gli autori del paper suggeriscono la NASA) oppure con investimenti in imprese che si occupano della rimozione dei detriti spaziali, che già oggi esistono e sono operative come ClearSpace. Un'altra soluzione al problema sarebbe quella di imporre un'imposta pigouviana, per esempio si potrebbero tassare le imprese per la loro presenza o per i detriti che producono nello spazio, per finanziare le operazioni di monitoraggio ed

eliminazioni dei suddetti detriti. Anche qui però il problema sta nel fatto che non esiste un ente sovranazionale che si occuperebbe di far rispettare i regolamenti imposti, come è stato visto in tema di politiche fiscali e monetarie di breve termine. La tassazione potrebbe anche portare ad altre problematiche, ad esempio è successo in passato con la *Bogota declaration*, che alcuni paesi rivendicassero la propria sovranità su porzioni di orbita (e sui satelliti) che si trovavano in modo continuo sopra gli stati coinvolti. Alcuni paesi guidati da questo precedente potrebbero pretendere che le imprese localizzate sopra di essi pagassero le tasse a questi ultimi creando problemi di doppia tassazione. Il problema della tassazione delle imprese che generano valore nello spazio, crea anche altri tipi di problemi, infatti, con il prosperare dell'industria nello spazio, il trasferimento della sede di queste imprese verso paradisi fiscali (paesi con una più bassa pressione fiscale) è sicuramente un fenomeno da prendere in considerazione, nonostante i beni ed i servizi da loro prodotti siano creati per consumatori di paesi con una tassazione più elevata, esattamente "sopra" questi paesi. Le imprese potrebbero addirittura argomentare che la maggior parte del valore creato, arriva dallo spazio, che è per principio proprietà di tutti, e di conseguenza nessuna tassa dovrebbe essere pagata. Come i sistemi fiscali e legali dei paesi evolveranno per far fronte alla creazione di paradisi fiscali "offplanet" e non solo "offshore" è un'altra questione importante da seguire per comprendere al meglio il fenomeno. Una cosa è certa, è necessario che prima di risolvere il problema della tassazione, che sarà probabilmente quello più importante per i paesi, deve essere risolto il problema della proprietà nello spazio, visto che il vuoto legislativo non fa che aumentare l'incertezza sul futuro dell'*outer space economy* e lasciare spazio ad argomentazioni pretestuose. Il vuoto legislativo potrebbe anche portare all'assenza di strumenti efficaci per tassare una parte (magari anche sostanziale) dell'economia, il che potrebbe disincentivare gli investimenti pubblici in infrastrutture spaziali, la cui costruzione verrebbe necessariamente ceduta ai privati, lasciandogli la possibilità di contestare la legittimità di tasse future sulle attività spaziali. Lo scenario "Power Play", insomma, prevede che alcune imprese possano diventare talmente grandi ed influenti (soprattutto quelle di proprietà di imprenditori miliardari, che già adesso hanno molta influenza sull'economia globale, ed i cui fallimenti nello spazio potrebbero avere ripercussioni negative anche sulla Terra), da diventare più potenti di paesi. Uno scenario del genere si è già verificato nella storia dell'umanità, con la Compagnia Britannica delle Indie Orientali dal 1600 al 1874. In conclusione, l'*outer space economy* in futuro potrà costituire una parte importante dell'economia mondiale, fallimenti ed errori potrebbero creare danni condivisi tra quella che viene definita *Exo-Earth economy* e quella terrestre che già oggi fa forte affidamento su servizi offerti dai satelliti. Ci sono delle sfide e delle opportunità che possono essere superate e sfruttate soltanto tramite la cooperazione internazionale: cambiamento climatico, sfruttamento delle risorse, tassazione

condivisa, limitazione delle esternalità negative ecc. Sta agli economisti, legislatori ed ingegneri del presente cogliere queste sfide ed opportunità per gestire questo futuro che, come si è visto, è più imminente che mai.

Capitolo 3: come si crea l'outer space economy

3.1 Attori pubblici

Finora si è parlato del futuro dell'*outer space economy*, quali sono i progetti e le idee che più hanno preso piede nel tempo e come provare a realizzarle, oltre alle sfide che la macroeconomia e la giurisprudenza devono cogliere per rendere questo futuro sempre meno lontano. Per quanto riguarda invece il passato ed il presente, nel corso della tesi sono stati citati diversi attori che interagiscono nella creazione di questo “nuovo mondo”. La NASA, l'ESA e l'UKSA sono esempi di attori pubblici, mentre imprese come SpaceX, Blue Origin e Virgin Galactic sono esempi di attori privati. Come si vedrà in seguito, è dall'interazione tra questi soggetti che nasce l'*outer space economy*. Quando si parla degli attori coinvolti nel settore aerospaziale, si fa spesso riferimento alla differenza tra *OldSpace* e *NewSpace*, con la prima si intende il settore spaziale tradizionale, che ha portato l'uomo sulla luna ed alla creazione della stazione spaziale internazionale, dominato dalle agenzie spaziali governative, in competizione o cooperazione l'una con l'altra, che hanno portato a grandi risultati, ma anche a grandi fallimenti, soprattutto in termini economici, e finanziate da fondi pubblici. Quando si parla di *NewSpace* invece si fa riferimento al nuovo panorama dell'industria spaziale odierna, caratterizzato da una maggiore incisività delle imprese private, che collaborano con gli enti pubblici, per raggiungere insieme obiettivi sempre più complessi. Il panorama di attori privati, come si vedrà anche più avanti, è formato da tante piccole e medie imprese e start-ups e da alcune grandi imprese, spesso finanziate da imprenditori miliardari. Non esiste una data certa del passaggio dall'*OldSpace* al *NewSpace*, è stato infatti un processo che ha avuto inizio verso la fine degli anni 90, o inizio anni 2000, basti pensare che SpaceX è stata fondata nel 2002. Sono invece più chiare le motivazioni di questo cambiamento, prima di tutto il miglioramento della tecnologia nell'ambito spaziale ha portato ad una riduzione dei costi e dei rischi a cui si espongono coloro che vogliono entrare nel settore, dando spazio quindi anche a quegli attori che non avevano il supporto di un governo alle spalle. In secondo luogo, i grandi fallimenti che si sono rivelati essere alcuni dei programmi delle agenzie governative, hanno portato ad un cambiamento del paradigma di pensiero dei governi, che hanno deciso di liberalizzare il settore per lasciare spazio ai privati, nella speranza che questi si sarebbero assunti rischi minori ed avrebbero investito di più in ricerca e sviluppo. Un esempio di questo cambiamento è dato dalla cancellazione dello *Space Shuttle Programme*, l'obiettivo di questo programma era quello di trasportare grandi carichi di materiali e persone in orbita terrestre bassa, con l'obiettivo di provvedere al trasporto dei materiali necessari per assemblare la Stazione Spaziale Internazionale, al ricambio di staff sulla ISS e aiutare lo svolgimento di altre missioni, possibilmente a costi contenuti. Nonostante gli obiettivi siano stati

raggiunti, il programma è stato criticato molte volte nel corso del tempo per la quantità di fondi pubblici spesi per il suo mantenimento. Come riportato nell'articolo di Pielke, R., Byerly, R. "Shuttle programme lifetime cost". *Nature* **472**, 38 (2011) il congresso americano e la NASA hanno speso 192 miliardi di dollari nel programma Space Shuttle, dal 1971 al 2010, per un totale di 132 missioni effettuate nel periodo di riferimento, con una media di costo per lancio tra gli 1,2 e gli 1,5 miliardi di dollari. Il programma verrà poi cancellato nel 2011 con un totale di 196 miliardi di dollari spesi 133 missioni di successo e due fallimenti. Le critiche del programma per quanto riguarda i costi che questo comportava sicuramente hanno influenzato la decisione di cancellarlo, non erano però gli unici motivi che hanno portato alla presa di questa decisione. Infatti, inizialmente, quando è stato creato, ci si aspettava che il programma avrebbe avuto una durata di 15 anni, esattamente la metà del tempo che è poi effettivamente passato prima della sua terminazione. I due fallimenti a cui si è fatto riferimento, il disastro dello *space shuttle* Challenger, del 28 gennaio 1986 e quello dello *space shuttle* Columbia, il 1° febbraio 2003, hanno portato alla morte di 14 astronauti in totale, inoltre, i detriti del Columbia, che è esploso in volo durante il ritorno da una missione a 14 minuti dall'atterraggio, sono stati sparsi su quasi 5200 km quadrati di terreno tra Texas e Louisiana e ad oggi non sono ancora stati recuperati tutti i detriti. Il disastro, inizialmente associato ad un attacco terroristico legato alla presenza di un astronauta israeliano a bordo, si è poi rivelato causa di un errore alla partenza, che ha portato al danneggiamento dell'ala sinistra dello shuttle.

Figura 18. Ricostruzione del Columbia Space Shuttle



Fonte: Dobrijevic Daisy, Howell Elizabeth, 2023, Columbia Disaster: What happened and what NASA learned, space.com.

Con la cancellazione dello *space shuttle programme*, la NASA ha dovuto affidarsi alle capsule Soyuz e Progress Russe, il cui costo per astronauta è salito dai 21,8 milioni di dollari del 2008 agli 81 milioni di dollari del 2018. L'aumento dei costi è attribuibile essenzialmente al fatto che la NASA, dopo i tagli al budget effettuati dall'amministrazione Obama nel 2010, non aveva un metodo alternativo di andare sulla ISS, rendendo l'agenzia spaziale russa, l'RKA, monopolista nel mercato. La risoluzione a questi problemi è stata affidata alle imprese private americane, l'amministrazione Obama ha infatti deviato la rotta precedente, portando la NASA ad affidarsi di più sulle imprese private americane per lo sviluppo di metodi economici per arrivare sulla ISS, mentre questa si sarebbe dovuta concentrare su obiettivi che andavano oltre l'orbita Terrestre bassa, come la Luna o Marte. A questo proposito già nel 2006 la NASA aveva sviluppato il COTS (*Commercial Orbital Transportation Service*) il CRS (*Commercial Resupply Services*) ed il CCDev (*Commercial Crew Development*), tutti questi programmi avevano l'obiettivo di far prosperare il settore privato e sviluppare una soluzione al problema del decadimento dello *Space Shuttle Programme*. In cambio la NASA avrebbe anche firmato dei contratti a lungo termine per l'approvvigionamento di questi servizi. In particolare, il CCDev, diviso in CCDev1 e CCDev2 ha portato la NASA ad erogare finanziamenti verso diverse imprese per stimolare la ricerca e lo sviluppo.

Tabella 5. Risultati della fase 1 del CCDev

Selected companies	Funds received (million)
Sierra Nevada Corporation	\$20
Boeing	\$18
United Launch Alliance (ULA)	\$6.7
Blue Origin	\$3.7
Paragon Space Development Corporation	\$1.4

Sources ESPI analysis, NASA

Tabella 6. Risultati della fase 2 del CCDev

Selected companies	Funds received (million)
Boeing	\$92.3
Sierra Nevada Corporation	\$80
SpaceX	\$75
Blue Origin	\$22
United Launch Alliance (ULA)	Unfunded

Sources ESPI analysis, NASA

Fonte: Vernile, A. (2018). *The rise of private actors in the Space Sector*. Cham: Springer.

Questa politica di erogare finanziamenti verso le imprese americane è continuata nel tempo, ad esempio il CCtCap (*Commercial Crew Transportation Capability*) ha erogato in totale 2,6 miliardi

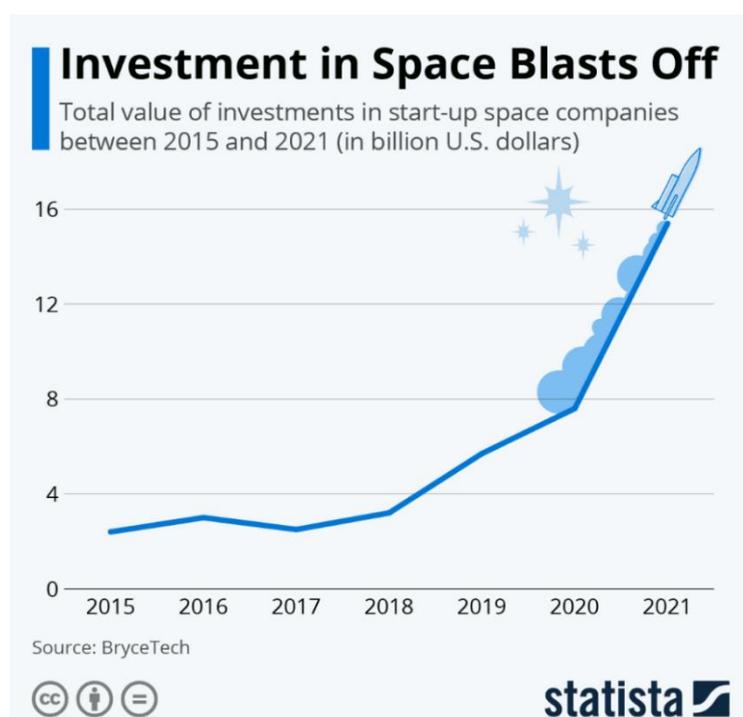
di dollari a SpaceX e 4,2 miliardi di dollari a Boeing. I primi frutti di questo cambio di paradigma cominciano ad essere evidenti, nonostante alcuni ritardi e problemi di sicurezza, SpaceX ha soddisfatto le aspettative della NASA con progetti come il FALCON 9, contemporaneamente anche Blue Origin fa progressi, le ultime notizie in merito riguardano l'assegnazione del contratto per il sostegno dello sviluppo lunare da parte della NASA datato al 19 maggio 2023, ma anche lo sviluppo di veicoli come il New Shepard sono una dimostrazione dell'avanzamento tecnologico che il settore spaziale statunitense sta raggiungendo con gli aiuti pubblici. Il modello che viene oggi definito *Public-Private Partnerships* (PPP) è stato però introdotto inizialmente dai governi europei ed ancora oggi l'ESA utilizza questo metodo per favorire la crescita economica del settore. Questi accordi però sono diversi da quelli che la NASA stringe con i suoi partner, in questo caso infatti le infrastrutture costruite tramite gli investimenti privati, restano di proprietà privata, e questi rientrano nei costi tramite impegni di lungo periodo dei clienti pubblici che utilizzano le infrastrutture. Le particolarità di questo tipo di partnership stanno nel fatto che le agenzie spaziali hanno molto meno controllo sul design e su come viene condotto il programma, lasciando più spazio all'autonomia privata, che però si assume i rischi del progetto. Sia il nuovo paradigma della NASA, sia quello dell'ESA hanno alla base il pensiero che gli attori privati siano più efficienti di quelli pubblici a controllare i costi, e che nel lungo periodo queste creeranno nuove opportunità di trasporto per i progetti più complessi intrapresi dagli attori pubblici. Questi investimenti e la fiducia che i governi hanno cominciato a riporre nelle imprese nazionali, hanno fatto anche aumentare nel tempo gli investimenti privati nel settore, come si vedrà più avanti. Il ruolo stesso delle agenzie spaziali, con il passaggio dall'*OldSpace* al *NewSpace* è stato messo in discussione, il potere contrattuale degli attori pubblici resta forte, ma va diminuendo, portandoli a comportarsi come dei consumatori che vanno dal miglior offerente, utilizzando i prodotti costruiti in più assoluta autonomia dall'industria. Gli sforzi stanno essenzialmente creando un mercato competitivo di imprese private, abbassando notevolmente i costi per i consumatori (in primis le agenzie spaziali). Come spiegato anche da A. Vernile in "*The rise of private actors in the space sector*", la differenza principale che porta la NASA ad assumersi più rischi dell'ESA, è che la prima ha la necessità di riaffermare la propria posizione dominante, e cercare di migliorare la propria efficienza. Al contrario la seconda ha un approccio più basato su un ragionamento economico, ed è proprio questo approccio che ha portato l'industria Europea ad avere una posizione forte nei mercati spaziali. Sulla scia dei successi del sistema statunitense però, anche l'Europa si è resa conto dei vantaggi ai quali ha rinunciato non assumendosi i rischi che si è assunta la NASA, e sta cercando di evolversi in quella direzione, come si è visto anche precedentemente, con la descrizione dei progetti dell'ESA circa le idee di Glaser. Il problema che però l'Europa deve contrastare, sta nel fatto che la forte frammentazione e le diverse

ideologie politiche nei paesi che la formano, potrebbe portare al prevaricare degli interessi nazionali su quelli sovranazionali. Un'altra grande sfida sta nell'assicurare un'equa distribuzione geografica delle attività industriali spaziali in Europa, alla luce delle potenziali pressioni politiche in merito. Attualmente l'Europa ancora non ha quel ruolo di grande cliente pubblico che ha la NASA, che darebbe una maggiore stabilità al settore, si occupa invece più di fornire supporto alla ricerca, finanziamenti alle infrastrutture ed effettuare controlli per assicurare la competitività. Per quanto riguarda invece la creazione di piccole e medie imprese in Europa, così come start-ups e spin-offs, la nuova *“European Space Strategy”* ha cercato di promuovere l'accesso al credito da parte di queste imprese con una serie di programmi come *“Horizon2020”*, *“COSME”* (*European Programme to Competitiveness of Enterprises and Small and Medium-sized Enterprises*) e *l'European Structural Investment Funds*.

3.2 Attori Privati

Una differenza essenziale che, come è stato anticipato, caratterizza il passaggio dall'*OldSpace* al *NewSpace* è la sempre più grande importanza che gli investimenti privati hanno nel settore. Il nuovo sistema è caratterizzato infatti dalla copresenza di tradizionali finanziamenti pubblici e finanziamenti privati di diverso tipo. Come descritto in *“The rise of private actors in the space sector”*, grazie a questo nuovo approccio, sia il numero di imprese che la quantità di investimenti nel settore stanno aumentando, gli investitori privati infatti, credono che ci siano diversi vantaggi collegati alla forma della start-up: riduzione dei costi, abilità di assicurarsi una *“mass production”*

Figura 19. Investimenti annui in start-up spaziali

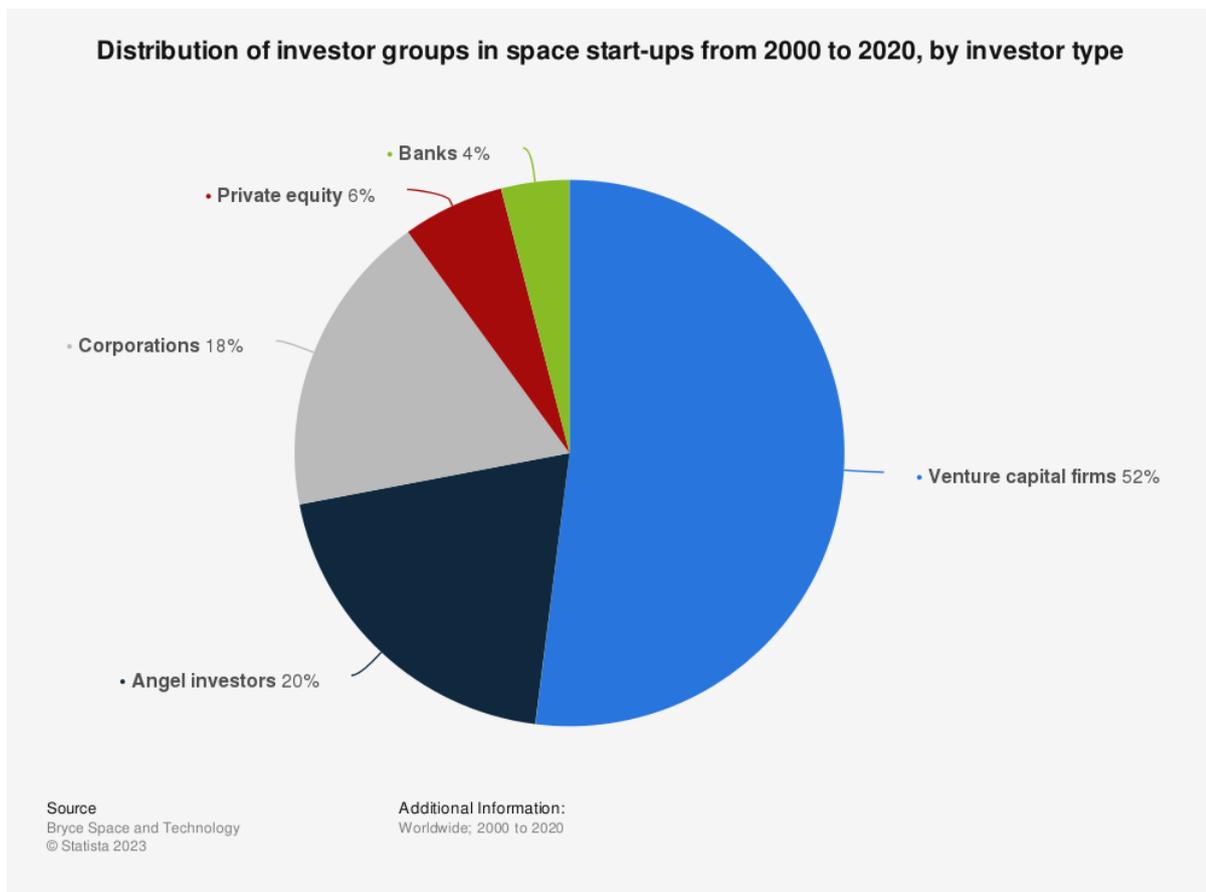


Fonte: Statista, Bryce Space and Technology

efficace, implementazione veloce delle nuove tecnologie nei prodotti e servizi, spirito imprenditoriale e propensione al rischio. Guardando al tipo di investimenti che vengono effettuati nel settore, si nota che la maggior parte provengono da imprese di venture capital e da *“Angel Investors”*, questi sono essenzialmente magnati che investono nelle proprie imprese cercando alti rendimenti tramite la scoperta di tecnologie *“disruptive”* nel settore. Gli esempi più evidenti di questo tipo di attori sono Elon Musk, Jeff Bezos, Richard Branson e Robert

Bigelow. Il settore spaziale è per questi soggetti molto attraente, negli Stati Uniti il 71% dei “*Business Angels*” investono in *space ventures*. La grande affluenza di capitali delle imprese di venture capital nel settore può essere invece spiegata dai livelli di rischio che queste grandi società sono disposte a sopportare, ed infatti gli investimenti in equity sono molto più ricercati da queste *start-up* che, per loro natura, sono rischiose.

Figura 20. Composizione delle tipologie di investitori in start-up spaziali



Fonte: Statista, Bryce Space and Technology

Il ruolo delle corporations anche sta diventando sempre più importante, queste aiutano le nuove imprese a collocarsi sui mercati e diventare operative, offrendo supporto finanziario, industriale ed in ricerca e sviluppo alcune imprese vengono anche comprate. Le motivazioni che portano le banche ad essere uno strumento marginale di ricorso al credito da parte di queste start-ups sono essenzialmente le stesse per le quali scelgono le “*Venture capital firms*”, la propensione al rischio. Le banche, infatti, sono disposte ad offrire supporto finanziario a queste imprese solo sotto a particolari condizioni, spesso non facili da soddisfare, ciò nonostante, alcune istituzioni bancarie supportate dai governi nazionali, hanno un ruolo importante nello sviluppo del settore, come è l’esempio della COFACE in Francia e l’Export-Import Bank negli Stati Uniti. Con l’aumentare delle fonti di investimento da parte di privati, il settore dello spazio è sempre più considerato un

settore “come gli altri” con serie possibilità di trarre un profitto dai propri investimenti. Ad oggi il tasso di interesse atteso per investimenti nel settore è del 10% annuo. I segmenti del settore nei quali confluiscono i maggiori interessi sono quello dei piccoli satelliti e *cubesats* (mini satelliti cubici), accesso allo spazio e applicazioni di codice informatico. Ci sono però anche altri segmenti, alcuni dei quali sono già stati esplorati, come il turismo spaziale, l'*asteroid mining* e la pulizia dei detriti spaziali, che attirano investitori alla ricerca di nuove opportunità di *business*. Ognuno di questi segmenti è comunque considerato quantomeno rischioso (come si nota anche dagli alti rendimenti attesi), le cause principali di questo alto livello di rischio sono: complessità tecnologica, incertezza del mercato, incertezza della profittabilità, panorama competitivo dinamico e complicato scenario politico. Ovviamente ci sono anche fattori che diminuiscono il livello di rischio, ad esempio la presenza di contratti di lungo termine con gli attori pubblici tende a dare una maggiore stabilità alle imprese.

3.3 Gli hub dell'imprenditoria spaziale

Nel capitolo sulla teoria economica è stato spiegato il concetto di “distretto industriale” o “*cluster*” di imprese, per quanto riguarda il settore spaziale, negli Stati Uniti ci sono essenzialmente 2 distretti industriali all'interno dei quali le idee dell'imprenditoria spaziale si diffondono e portano alla crescita dell'intero settore: l'area della Silicon Valley e di Seattle. Circa un terzo degli investimenti di *venture capital firms* nel settore sono concentrati nell'area della Silicon Valley, mentre del 71% dei *business angels* Americani che investono nel settore, il 32% si trova in California ed il restante 39% nel resto del paese. All'interno di questi distretti alcune imprese creano ogni giorno vere e proprie nuove opportunità di business, come è il caso di Deep Space Industries, che sta investendo nella ricerca e lo sviluppo di *spacecrafts* sempre più piccoli per offrire all'industria metodi innovativi per estrarre, processare e vendere risorse estratte dagli asteroidi. Un'altra impresa che si occupa essenzialmente della stessa cosa è “Planetary Resources”, questa con sede a Seattle. Queste imprese stanno essenzialmente scommettendo per cercare di creare un nuovo mercato, che è la base di quello che in questa tesi è stato chiamato “*outer space economy*”. Un altro esempio di intraprendenza e mentalità aperta al rischio è dato dall'impresa “Made in Space” che stanno sviluppando nuove tecnologie che permetterebbero agli astronauti sulla stazione spaziale internazionale di costruire attrezzature, equipaggiamento e strutture anche più grandi, il che ridurrebbe fortemente la necessità di lanciare questi beni dalla terra nello spazio. Tutti questi esempi di grande spirito innovativo sono incentivati dall'ambiente favorevole del cluster in particolare la Silicon Valley, che è l'hub principale dello sviluppo tecnologico del settore, mentre quella di Seattle è un po' più concentrata nella parte finanziaria. Un altro elemento che rende la Silicon Valley così importante per il settore è la presenza dell'”Ames Research Center” della NASA, uno dei più grandi

centri di ricerca della nazione che garantisce la presenza di una fonte di supporto costante per le imprese del settore, visti anche i programmi che sono stati descritti in precedenza, che hanno l'obiettivo di far prosperare l'industria spaziale per abbassare i costi medi di settore. Il modello della Silicon Valley è il prodotto di investimenti pubblici di lungo termine e molti in Europa si chiedono se sia il caso di cominciare ad investire per creare una "Silicon Valley" Europea, anche se gli atteggiamenti più avversi al rischio della pubblica amministrazione Europea, mostrati nelle precedenti pagine, rendono questo obiettivo molto complesso. Attualmente il ruolo che l'ESA ha assunto nella creazione di un distretto industriale spaziale, consiste nel fornire supporto a quelle imprese che investono le proprie energie nella ricerca e nello sviluppo, non assumendo mai però quel ruolo centrale che ha la NASA. A questo scopo sono stati aperti in Europa diversi *Business Incubation Centres* (BIC), come parte del *Technology Transfer Programme*, l'obiettivo di questo programma sviluppato dell'ESA, è di diffondere le tecnologie utilizzate per le missioni spaziali e dal settore, agli altri settori commerciali ed industriali più "tradizionali", a questo scopo vengono organizzati eventi, creati incubatori (come è il caso dei BIC) e fornisce supporto per la protezione e la vendita dei brevetti su tecnologie spaziali. Grazie a questo programma si spera di incoraggiare le nuove business ventures che negli Stati Uniti stanno avendo un così ampio successo, e contemporaneamente si crea una domanda dei beni e servizi prodotti dall'industria spaziale di tipo privato, basata sugli altri settori che già sono ben sviluppati nell'economia.

Figura 21. Il Technology Transfer Programme

WHAT DOES THE TTP OFFER?	
TECHNOLOGY TRANSFER SERVICES	<ul style="list-style-type: none"> Identification of space technologies suitable for transfer (e.g. from ESA contracts, THDs) Answer non-space market needs Finance technology transfer demonstration activities
PATENTS	<ul style="list-style-type: none"> Manage ESA's patents portfolio & provide access to them
TECHNICAL SUPPORT	<ul style="list-style-type: none"> Provide access to ESA technical expertise

17

European Space Agency

Fonte: ESA's Technology Transfer and Patent Office, The European Space Agency.

Tra l'altro, le nuove applicazioni delle tecnologie della *space economy* a settori tradizionali potrebbe portare questi ultimi a raggiungere un vantaggio competitivo nei confronti delle altre imprese straniere competitors nel settore. Per quanto riguarda invece il pacchetto dell'incubazione, ogni destinatario delle misure, ha a disposizione una limitata quantità di fondi, come ad esempio incentivi fino a cinquantamila euro per lo sviluppo di prodotti e fino a cinquantamila euro di finanziamenti sotto forma di capitale di prestito, finanziati tramite l'Open Sky Technologies Fund (OSTF). Un altro grande vantaggio che il programma ha offerto è formato dalle opportunità di collaborazione tra imprese che sono uscite dallo stadio di incubazione, dopo 2 anni infatti, le imprese escono dal centro, ma continuano a far parte di un network che comprende tutte le imprese sviluppatesi grazie al BIC, al momento più di 400 imprese fanno parte di questo network. L'ESA è dunque riuscita nel tempo a creare delle mini Silicon Valley basate sui BIC, senza esporsi però ai grandi rischi ai quali si è esposta e tutt'oggi si espone la NASA. Un altro caso importante da citare è quello del Regno Unito, infatti, nonostante sia un paese Europeo (anche se non dell'Unione Europea) il paese è caratterizzato da un'economia più simile a quella americana, sia dal punto di vista legislativo che della mentalità imprenditoriale. Gli investitori in Gran Bretagna sembrano avere una più alta tolleranza del rischio quando comparati ai loro corrispettivi continentali, ed è questa una caratteristica in comune con quelli Statunitensi. Il settore spaziale in particolare costituisce una parte importante dell'economia britannica, e nonostante questo sia per il momento principalmente trainato dalle applicazioni sulla terra dei servizi dei satelliti, l'ambiente sembra adatto, e le istituzioni stanno spingendo, per la crescita di altri tipi di attività legate al settore. L'UKSA crede, come anche le altre agenzie spaziali, che lo sviluppo del settore privato sia indispensabile per la crescita dell'industria, a questo proposito, nel 2013 le istituzioni si sono poste degli obiettivi stilati nell' *UK Space Innovation and Growth Strategy*. Questi obiettivi prevedono: l'aumento della parte di *space economy* globale costituita da imprese britanniche dal 6 al 10% con un contributo annuo di 40 miliardi di sterline al PIL, la creazione di centomila posti di lavoro entro il 2030, lo sviluppo e l'implementazione di roadmaps per sfruttare quelle opportunità offerte dal mercato, lo sviluppo di un'analisi circa l'impatto del settore spaziale sull'economia e l'incoraggiamento di imprese *space-related* per massimizzare le opportunità di crescita. Alcune delle opportunità che il settore britannico deve cogliere sono costituite dall'alta qualità del capitale umano, formato dalle ottime università nei campi delle scienze e tecnologie.

3.4 Opposizione all'imprenditoria spaziale

Nonostante tutti i lati positivi che sono stati analizzati dell'avvento del *NewSpace*, e dell'*outer space economy*, non tutta la comunità è unita circa la bontà delle argomentazioni portate. Ci sono ancora molti lati irrisolti della questione, come è stato visto, molte questioni che avrebbero bisogno

della cooperazione internazionale e alcuni dilemmi etici a cui l'umanità deve trovare risposta. Victor L. Shammas e Thomas B. Holen nell'articolo "*One giant leap for capitalistkind: private enterprise in outer space*" descrivono alcune di queste problematiche e criticano aspramente il sistema che si sta sviluppando, evidenziandone le incoerenze ed i rischi. L'avvento di quello che gli autori dell'articolo definiscono "Post-Fordismo" spaziale, caratterizzato dalle figure di grandi imprenditori (anche chiamati, nel corso della tesi, "*business angels*") che già oggi provvedono alla costruzione di navicelle, stazioni di lancio, razzi, satelliti ecc. rendendo dunque l'esplorazione e l'utilizzo dello spazio non un lavoro dell'umanità, ma di quelli che vengono definiti "*capitalistkind*" riprendendo e riadattando la citazione di Neil Armstrong "*One small step for man, one giant leap for mankind*". È chiaro che i vantaggi immediati dell'apertura del settore spaziale verso gli imprenditori privati vadano a favore del "*capitalistkind*", non dell'umanità. Sebbene gli accordi internazionali ed in particolare l'"*outer space treaty*", più volte citato ed analizzato nel corso della tesi, nulla dicano in merito alla questione dell'*asteroid mining*, viene fatta menzione che l'utilizzo dello spazio debba andare a beneficio di tutta l'umanità, cosa che va in evidente contrasto con l'"*American Space Commerce Free Enterprise Act*" del 2017 che, sotto la presidenza Trump, ed in linea con le misure prese negli anni precedenti dalla presidenza Obama, dichiara che lo spazio non è un bene comune. Se è questa la decisione a cui tutta l'umanità giungerà, e non solo gli Stati Uniti, è chiaro che alcuni interrogativi della tesi vengono risolti, gli asteroidi diventano beni privati, di proprietà del primo che riesce ad utilizzarli, e lo scenario descritto come "Power Play" nel capitolo precedente, diventa sempre più probabile, così come lo scenario "*Grounded*". Secondo Shammas e Holen, l'avvento del "comunismo spaziale" è stato tale fin quando lo spazio non è stato letteralmente inaccessibile per il "*capitalistkind*", quando lo spazio è diventato sede di possibilità di profitto e le missioni sono diventate sempre più fattibili, l'alone di comunismo che circondava l'"*Outer Space treaty*" è scemato. Ci sono anche altri problemi legati a questa mentalità, oltre a quello della proprietà dei beni dello spazio, ad esempio, lo sviluppo delle figure di questi nuovi imprenditori, certamente molto carismatici, ha già portato a problemi legati agli espedienti di marketing utilizzati dalle imprese per associare la loro figura a quella dei "salvatori" dell'umanità, se così possono essere definiti. Alcuni di questi espedienti sono più riusciti di altri, ad esempio il lancio del primo Falcon Heavy rocket da parte di SpaceX in diretta su YouTube, il 6 febbraio 2018, ha registrato degli ascolti da record, portando la trasmissione ad essere la seconda più grande diretta della storia di YouTube, con un picco di 2,3 milioni di spettatori in contemporanea. Il razzo in particolare faceva parte della famiglia dei razzi "riutilizzabili" a cui si è fatto riferimento nella parte di analisi dei profitti delle missioni di *asteroid mining*, e aveva a bordo, come "carico di prova" un Tesla Roadster, la cui radio riproduceva a ripetizione le due canzoni "Space Oddity" e "Life on

Mars?». L'esperimento di Musk è sicuramente stato un successo, non c'è motivo di ritenere che un aumento dell'attenzione mediatica posta verso l'industria spaziale possa cagionare danno all'umanità, sebbene l'avvento del "*cool capitalism*" come viene definito, non vada a genio a tutti. Ci sono però esempi di espedienti di marketing meno riusciti, ad esempio l'impresa Rocket Lab, il cui obiettivo era quello di lanciare migliaia di mini-satelliti attorno alla terra (obiettivo che è molto simile a quello del progetto SOLARIS dell'ESA oggi), nel 2018, aveva pianificato di lanciare in orbita terrestre una gigantesca palla da discoteca, che sarebbe potuta essere visibile dalla terra ad occhio nudo, e sebbene le parole del CEO di Rocket Lab, Peter Beck, potessero indurre a pensare che ci fosse uno scopo benefico nel lancio, "non importa dove ti trovi nel mondo, o cosa stia succedendo nella tua vita, ognuno sarà in grado di vedere la stella dell'umanità nel cielo notturno" è stato subito chiaro alla comunità scientifica, che un'operazione di marketing del genere avrebbe ostacolato l'osservazione dello spazio ed aumentato l'inquinamento luminoso.

Figura 22 Peter Beck con la "Humanity Star"



Fonte: Caron Christina, 2018, Space Gets an Artificial Star. Astronomers Ask: Do We Need More?
The New York Times

Nonostante ciò, il progetto è stato portato avanti e, per quanto assurdo possa sembrare, la palla da discoteca è rimasta in orbita terrestre dal 21 gennaio 2018 al 22 marzo 2018, prima di rientrare in atmosfera terrestre circa 7 mesi prima di quanto fosse previsto e bruciando completamente. L'atto è stato poi definito da alcuni come vandalismo spaziale, e da altri arte spaziale, ad ogni modo Rocket Lab non è stata sanzionata per l'atto da questa intrapreso. L'argomentazione portata da Shammas e

Holen, analizzando la realtà secondo un'ottica espressamente "neo-marxista" è che l'utilizzo dello spazio da parte del capitalismo, rappresenta un ottimo nuovo sbocco per far confluire l'eccesso di capitale che si sta raggiungendo nell'economia Terrestre, paragonando essenzialmente la colonizzazione dello spazio ed il suo utilizzo (oltre alla costruzione di infrastrutture) alla colonizzazione degli altri paesi, che ha avuto un effetto ottimo per l'economia capitalista. Infatti, proprio come il colonialismo, lo spazio avrebbe un doppio effetto positivo sull'economia Terrestre, nel breve-medio termine permetterebbe di esportare il capitale in eccesso verso quei nuovi settori emergenti, e dall'altro lato servirebbe come "arena" per l'innovazione tecnologica. Il punto è però che lo spazio non sarebbe (come lo è stato il colonialismo) che un rimedio temporaneo all'eccesso di capitale sulla Terra, visto che anche questo nuovo espediente per trovare un canale di scolo per il capitale non porta che alla procrastinazione del problema che il capitalismo, secondo gli autori, ha come innato. Un altro punto preso in considerazione nell'articolo è il fatto che la concezione di democratizzazione dello spazio, intesa come liberalizzazione del mercato ed apertura agli investitori privati, non sia necessariamente un fattore positivo. Come si è visto infatti anche nel corso della tesi, le imprese del settore spaziale e soprattutto le start-up, hanno bisogno di fondi pubblici per prosperare al meglio, o anche nei casi più evidenti, veri e propri contratti di fornitura di beni o servizi con agenzie spaziali. Per citare un esempio, al tempo della scrittura dell'articolo le tre imprese di Elon Musk (SpaceX, SolarCity Corp., e Tesla) hanno ricevuto in totale fondi per circa 4,9 miliardi di dollari. Quindi se da una parte questi grandi imprenditori sostengono la necessità della liberalizzazione del settore, affermando che i privati riescano meglio degli attori pubblici a raggiungere la profittabilità e la riduzione dei costi, dall'altra ci riescono solo se sostenuti con fondi pubblici. Questa dualità del neocapitalismo, come viene definito, tra la dipendenza dal pubblico e la volontà di autonomia, evidenzia le contraddizioni implicite che le richieste di interventi minimi dello stato hanno, e la dipendenza non si vede solo negli aiuti economici, anche la presenza di infrastrutture e di un quadro legislativo adatto sono necessarie per il proliferare dell'industria del *NewSpace*. Anche le somiglianze che potrebbero avere alcune di queste imprese in futuro (in particolare SpaceX) con le imprese che nel passato hanno accumulato un eccessivo potere, come è stato visto in precedenza con l'esempio della Compagnia Britannica Delle Indie Orientali, preoccupa coloro che si oppongono alla creazione del *NewSpace*. L'ultimo punto che viene messo in discussione dall'avvento di questi nuovi attori nel settore è rappresentato dal fatto che i soggetti privati, spinti dalla ricerca di un profitto e non dal bene dell'umanità, finirebbero per trascurare quei progetti che, seppure meno profittevoli di altri, porterebbero a vantaggi che sarebbero altresì irraggiungibili, ed è a questi progetti che dovrebbero lavorare gli attori pubblici, mostrando quindi l'esistenza di quei vuoti lasciati dai privati, come ad esempio i progetti infrastrutturali di enormi

dimensioni (come quelli ipotizzati da Glaser ed O'Neill, analizzati in precedenza). È chiaro che non tutte queste argomentazioni sono condivise, mentre è innegabile che alcuni espedienti di marketing potrebbero cagionare danni all'umanità alla ricerca di vantaggi per pochi imprenditori del settore, e che è da discutere se la proprietà dei beni nello spazio sia di coloro che hanno la possibilità di accedervi o dell'umanità, non si può dire che il capitalismo abbia abbassato lo standard di vita delle persone, come si è visto anche nella parte di analisi economica della tesi. Nel lungo periodo il sistema in cui viviamo tende verso un punto di equilibrio che fa aumentare sempre di più la produzione per occupato, per effetto della crescita tecnologica, ed è per questo che gli standard di vita sono migliorati nel corso della storia. La ricerca continua di nuovi mercati, nuove opportunità di business e nuovi settori nei quali far confluire il capitale, non è che una naturale conseguenza della crescita economica. Che poi questa crescita economica giovi o meno alle persone è un argomento sul quale l'umanità ha dibattuto a lungo, e non è obiettivo della tesi trovare risposta a questa sempiterna domanda o trovare argomentazioni per uno o l'altro lato del dibattito politico.

Conclusioni

Alla luce degli argomenti analizzati, è chiaro che il fenomeno della *space economy* è più attuale che mai, l'interesse nella materia è ad un picco storico, paragonabile soltanto al periodo della corsa allo spazio. Nonostante ciò, sono chiari anche quali siano i buchi che i legislatori hanno lasciato nel panorama regolatorio internazionale, e gli interventi che le istituzioni nazionali dovrebbero adottare, puntando ad una cooperazione tra nazioni, per raggiungere l'obiettivo comune dell'evoluzione tecnologica ed economica mondiale. L'*asteroid mining* e l'*outer space economy* rappresentano per l'umanità un'opportunità, una sfida ed il primo passo verso il raggiungimento di un più alto livello di sviluppo come civiltà. Le agenzie spaziali di tutto il mondo stanno sviluppando i progetti più disparati, alcune di queste supportate anche dal settore privato in rapida crescita, per trovare soluzioni ai problemi ecologici, energetici ed economici delle rispettive nazioni. Sta agli studiosi di economia trovare le strategie migliori per supportare questi progetti e la *space economy* in generale. Concludo la tesi dicendo che sotto gli occhi di tutti sta venendo scritto un nuovo capitolo della storia umana, anche se sono in pochi ad essersi resi conto che il periodo che stiamo vivendo verrà probabilmente definito dagli storici come "l'inizio dell'età dello spazio", e dell'importanza che questo particolare capitolo avrà nell'evoluzione dell'umanità stessa.

Bibliografia

- ALI, Taskeen, et al. 2022, Reframing space: macroeconomists engage outer space with the help of scenario planning. *Journal of Futures Studies*
- DALLAS, J. A., et al. 2020, Mining beyond earth for sustainable development: Will humanity benefit from resource extraction in outer space?. *Acta Astronautica*, 167: 181-188.
- GRADIE, J.; TEDESCO, E. 1982, Compositional structure of the asteroid belt. *Science*, 216.4553: 1405-1407.
- HEINA, Andreas M. 2018, A Techno-Economic Analysis of Asteroid Mining Andreas M. Heina*, Robert Mathesonb, Dan Friesc. solar cells
- KESSLER, Donald J., et al. 2010, The kessler syndrome: implications to future space operations. *Advances in the Astronautical Sciences*, 137.8: 2010.
- MANKIW, N. Gregory. 2014, Principles of economics. Cengage Learning.
- MANKIW, N. Gregory; Mark P. TAYLOR. 2015 *Macroeconomia*, Sesta edizione Italiana, Zanichelli.
- ROSS, Shane D. 2001, Near-earth asteroid mining. *Space*, 1-24.
- Sandler, T., & Shulze, W. 2019 Explorations in the economics of outer space. *The theory and structures of international political economy* (pp 175-195)
- SANDLER, Todd; SCHULZE, William. 1981 The economics of outer space. *Natural Resources Journal*, 21.2: 371-393.
- SCOGNAMIGLIO PASINI, CARLO LUIGI, et al. 2006, *Economia industriale*. LUP Luiss University Press.
- SHAMMAS, Victor L.; HOLEN, Tomas B. 2019 One giant leap for capitalistkind: Private enterprise in outer space. Palgrave Communications.
- Vernile, A. 2018. *The rise of private actors in the space sector*. Springer International Publishing AG
- ZACNY, Kris, et al. 2013, Asteroid mining. *AIAA Space 2013 Conference and Exposition*.

Sitografia

- Banke Jim. 2017, Technology Readiness Levels Demystified. NASA Aeronautics Research Mission Directorate https://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/trl_demystified.html
- Brukardt Ryan. 2022, How will the space economy change the world?. McKinsey Quarterly <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/how-will-the-space-economy-change-the-world>
- Center for Near Earth Object Studies. 2023, Discovery Statistics. CNEOS <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>
- Cook Vanessa, et al. 2023, The New Space Era: Expansion of the Space Economy. Bank Of America Institute <https://business.bofa.com/content/dam/flagship/bank-of-america-institute/transformation/expansion-of-the-space-economy-january-2023.pdf>
- Davis, Phil; Carney Steve. 2023, Asteroids. Solar System Exploration NASA <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/in-depth/>
- ESA, Technology Readiness Levels (TRL). The European Space Agency https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Shaping_the_Future/Technology_Readiness_Levels_TRL
- ESA. Asteroids: Structure and composition of asteroids. The European Space Agency https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Asteroids_Structure_and_composition_of_asteroids
- ESA. Solaris. The European Space Agency https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/SOLARIS/SOLARIS2
- European Commission. 2017, Technology Readiness Levels (TRL). Horizon 2020 – Work Programme 2018-2020 https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2018-2020/annexes/h2020-wp1820-annex-g-trl_en.pdf
- https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf
- Kamin Debra. 2022, The Future of Space Tourism Is Now. Well, Not Quite. The New York Times <https://www.nytimes.com/2022/05/07/travel/space-travel-tourism.html>
- Maltauro Luca; Accademia Politica. 2023, Space Economy, il grande business da un trilione di dollari. Il Sole 24 Ore <https://www.econopoly.ilsole24ore.com/2023/01/10/space-economy-miliardi/>
- McGregor, Veronica; Jackson Randal. Asteroid Redirect Robotic Mission. Jet Propulsion Laboratory NASA <https://www.jpl.nasa.gov/missions/asteroid-redirect-robotic-mission-arm>

- Oxford Analytica. 2018, Asteroid mining becomes a serious proposition. Oxford Analytica Daily Brief
<https://dailybrief.oxan.com/Analysis/DB235459/Asteroid-mining-becomes-a-serious-proposition>
- Oxford Analytica. 2018, Space debris threatens global economy and security. Oxford Analytica Daily Brief
<https://dailybrief.oxan.com/Analysis/DB238840/Space-debris-threatens-global-economy-and-security>
- United Nations, Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies. United Nations Office for Outer Space Affairs
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/intromoon-agreement.html>
- United Nations, Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, Including the Moon and Other Celestial Bodies. United Nations Office for Outer Space Affairs
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html>
- Winfrey Tiffany. 2022, European Space Agency Eyes Making “Expensive” Solaris Space-Based Solar Power. The Science Times
<https://www.sciencetimes.com/articles/39473/20220820/european-space-agency-eyes-making-expensive-solaris-based-solar-power.htm>