

Le management de ressources dans l'espace : le cas de l'entreprise spatiale MIPRONS.

Graziano Mazza, Doctorant, Université de Paris Nanterre, CEROS

Faouzi Bensebaa, Professeur, Université de Paris Nanterre, CEROS

Résumé : Cet article examine les défis et opportunités associés à la gestion des ressources hydriques dans l'espace, en mettant en lumière le cas de la start-up MIPRONS. L'eau, indispensable à la survie humaine et aux applications technologiques spatiales, occupe une position stratégique dans l'économie spatiale émergente. En utilisant une méthodologie qualitative basée sur des entretiens approfondis avec les dirigeants de MIPRONS, cet article explore la manière dont l'entreprise a développé une technologie de propulsion innovante utilisant l'eau comme source de carburant grâce à l'électrolyse. Deux axes principaux structurent cette recherche : d'une part, l'analyse des innovations dans la gestion des ressources en boucle fermée et l'exploitation locale, ce qui reflète la façon dont l'économie circulaire s'intègre dans le secteur spatial ; d'autre part, une étude approfondie du contexte managérial spatial italien, qui se distingue par un écosystème de start-ups dynamiques, soutenu par des politiques nationales mais confronté à des défis bureaucratiques, financiers et structurels. Cette recherche met également en évidence le rôle clé des start-ups, dans la transformation des défis spatiaux en opportunités économiques et technologiques. La recherche propose enfin des pistes pour aligner innovation, durabilité et gouvernance internationale, tout en soulignant le potentiel du secteur spatial de l'Italie pour s'affirmer comme un acteur stratégique de l'économie mondiale spatiale.

Mots clés : Management Stratégique - Gestion des ressources - Économie Circulaire - Économie Spatiale - Économie des start-ups.

Abstract: This article examines the challenges and opportunities associated with managing water resources in space, highlighting the case of the Italian start-up MIPRONS. Water, essential for human survival and space technological applications, holds a strategic position in the emerging space economy. Using a qualitative methodology based on in-depth interviews with MIPRONS executives, the article explores how the company developed an innovative propulsion technology that uses water as a fuel source through electrolysis. Two main themes structure this research: on the one hand, the analysis of innovations in closed-loop resource management and local exploitation, reflecting how the circular economy integrates into the space sector; on the other hand, an in-depth study of the Italian space management context, which is characterized by a dynamic start-up ecosystem, supported by national policies but facing bureaucratic, financial, and structural challenges. This research also highlights the key role of start-ups in transforming space challenges into economic and technological opportunities. Finally, the research offers suggestions for aligning innovation, sustainability, and international governance, while emphasizing the potential of Italy's space sector to establish itself as a strategic player in the global space economy.

Keywords: Strategic Management - Resource Management - Circular Economy - Space Economy - Start-up Economy.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource fondamentale pour la vie telle que nous la connaissons. Sur Terre, elle joue un rôle crucial dans la survie humaine, les écosystèmes naturels et les activités économiques (Zhang *et al.*, 2024). Dans le contexte de l'exploration spatiale, cette importance est démultipliée, car l'eau est indispensable non seulement pour la survie des astronautes au sens purement biologique, mais également comme matière première pour produire de l'oxygène et du carburant grâce à l'électrolyse de ses composants (Harmansa *et al.*, 2019). À mesure que les ambitions spatiales des agences nationales et des acteurs privés s'étendent, la question de la gestion des ressources hydriques dans l'espace devient centrale pour garantir la viabilité des missions à long terme (Pickett *et al.*, 2020). Cette recherche étudie les défis et opportunités liés à la gestion de l'eau dans l'espace, en examinant les aspects économiques et technologiques. Plus précisément, elle analyse le cas de l'entreprise MIPRONS, une start-up italienne ayant son siège à Colleferro (province de Rome, Italie) à côté de l'ESA (*European Space Agency*), avec laquelle l'entreprise collabore régulièrement.

L'eau joue un rôle stratégique depuis toujours dans l'exploration spatiale (Metzger, 2023 ; Zhang *et al.*, *op.cit.* ; Paladini *et al.*, 2021). En partant des premières missions spatiales, l'eau a été l'un des éléments les plus difficiles à transporter depuis la Terre (Lorenzini, 2021). La station spatiale internationale (ISS), par exemple, recycle jusqu'à 98% de son eau, soulignant ainsi l'importance des systèmes fermés pour minimiser les besoins d'approvisionnement externe (Carter *et al.*, 2013). Cependant, pour des missions de longue durée sur la Lune ou sur Mars, où la gravité et la distance compliquent les réapprovisionnements, la dépendance à des sources locales d'eau devient impérative (Gross *et al.*, 2024). Les récentes découvertes de glace sur la Lune dans les cratères polaires (Qiao *et al.*, 2024) et de saumures sous la surface martienne (Zheng *et al.*, 2024) alimentent les espoirs d'une exploitation locale. Ces ressources pourraient

non seulement permettre une autosuffisance énergétique, mais également réduire ou annuler les coûts associés à l'envoi de matériel depuis la Terre. Les estimations actuelles indiquent que chaque kilogramme de matériel envoyé en orbite coûte environ 20 000 USD (Weinzierl, 2018). L'eau, en tant que ressource locale sur la Lune ou sur Mars, offre ainsi des opportunités pour réduire ou annuler ces coûts en tant que ressource à exploiter directement *in situ*.

La gestion de l'eau dans l'espace aborde également des questions éthiques et managériales. Les ressources en eau dans le système solaire, bien que théoriquement abondantes, sont concentrées dans des zones difficiles d'accès et pourraient être sujettes à des conflits (Jakhu *et al.*, 2020). À ce jour, le Traité de l'espace extra-atmosphérique de 1967 interdit l'appropriation nationale des corps célestes, mais il reste ambigu sur les droits d'exploitation des ressources naturelles (Szocik, 2021). Dans ce contexte, des cadres managériaux, basés sur des partenariats public-privé et une collaboration internationale, seraient nécessaires pour garantir une exploitation équitable et durable (Metzger, 2023).

Dans cette contribution, le cas d'étude MIPRONS vise saisir la manière dont cette entreprise répond à des défis actuels et futurs. MIPRONS a mis au point une technologie permettant d'utiliser l'eau comme propulseur dans les satellites et comme carburant sur les planètes extraterrestres. Le système de cette entité, basé sur l'électrolyse, transforme l'eau en hydrogène et oxygène, puis exploite ces gaz pour des manœuvres orbitales efficaces. De telles innovations montrent non seulement l'importance de l'eau dans les infrastructures spatiales, mais également la nécessité d'une gestion rigoureuse et durable des ressources en eau dans l'espace (Paladini *et al.*, *op.cit.*). Dans cette perspective, l'objectif de ce travail est d'analyser l'efficacité d'un système innovant, qui minimise l'impact polluant des carburants, et d'éclairer certains liens et enjeux du secteur spatial. Il étudie également les opportunités et les défis de financement des start-ups innovantes italiennes et le rôle de ces dernières dans le secteur spatial italien.

Sur le plan méthodologique, l'étude d'une entreprise dans sa phase de start-up, opérant dans la niche d'un marché, fortement régulé par les pouvoirs publics, conduit à l'utilisation d'une analyse qualitative (Hollstein, 2011). Les données ont été collectées à partir d'entretiens avec les dirigeants de MIPRONS, dont son CEO, Angelo Minotti, son CFO Gianmarco Manzo et sa directrice des Affaires Publiques, Paola Elviri. L'approche qualitative semble appropriée étant donné que l'environnement de l'entreprise est relativement étroit et que celle-ci opère dans un contexte de niche (Elliott, 2005). Les récits, issus des entretiens, sont supposés fournir des descriptions riches et adéquates et relater la manière dont les individus donnent du sens à leurs expériences de travail (*idem*).

1. LE MANAGEMENT DES RESSOURCES DANS L'ESPACE

La résolution des problèmes environnementaux et la préservation de l'espèce humaine sont des moteurs essentiels des activités de *colonisation* spatiale (Szocik, 2021). Les activités liées à l'économie spatiale (ES) contribueraient à la croissance économique, favoriseraient le développement d'innovations et de technologies applicables à d'autres secteurs que celui de l'espace et renforceraient la compétitivité ainsi que le prestige des nations et des entreprises (Vittori *et al.*, 2022). Cette ES constituerait un véritable changement de paradigme (Di Ciaccio *et al.*, 2018). Denis et ses collègues (2020) la décrivent comme une certaine démocratisation de l'espace, car l'accès à l'espace extra-atmosphérique ne se limite plus aux États, mais s'étend également à des acteurs non étatiques tels que les entreprises privées, les start-ups, les centres de recherche et les universités (Kim, 2019). Par ailleurs, la conception d'un système fermé et fini, où rien de nouveau n'est créé, mais où tout doit être réutilisé et transformé, remonte aux principes fondamentaux du management de la circularité des ressources (de Sousa *et al.*, 2019). Un rapprochement est alors possible entre les trajectoires du secteur spatial et l'adoption

croissante par l'industrie mondiale des biens et services des modèles d'économie circulaire (Paladini *et al.*, 2021). Ce rapprochement serait moins le résultat d'une série de coïncidences que celui d'une réelle interconnexion systémique. Dans cette veine, cette première partie propose d'étudier la manière dont sont mis en œuvre les concepts managériaux dans l'espace, dans un contexte de précarité.

1.1 État des lieux de la gestion des ressources en eau sur Terre et adaptation aux contextes stratégiques spatiaux

L'ES essaie de mettre en place des démarches de gestion des ressources sur la planète au moyen d'approches éprouvées, telles que celle relative à la gestion intégrée des ressources aquatiques, qui met l'accent sur une utilisation soutenable en tenant compte des dimensions économiques, environnementales et sociales (Biswas, 2008). Cette approche a montré son efficacité pour gérer les contraintes d'accès aux ressources et optimiser les usages dans des conditions de rareté croissante. Dans le secteur spatial, ces démarches, dont la proximité avec la gestion stratégique des ressources rares semble évidente – celle-ci reposant sur quelques principes fondamentaux -, doivent être adaptées aux spécificités de l'environnement : absence de ressources facilement exploitables, allocation extrêmement précise pour des missions de longue durée, capacité limitée de transport depuis la Terre, nécessité du recyclage (Collins et Araghi, 2023 ; Owens et De Weck, 2016 ; Jovičević-Klug et Rohwerder, 2023). Comme évoqué ci-dessus, les systèmes à bord de la station spatiale internationale (ISS) réutilisent presque 100% de l'eau consommée, indiquant ainsi la faisabilité de ces approches pour gérer l'eau en boucle fermée pour des missions prolongées (NASA, 2021b).

En matière de gestion des ressources rares, la théorie des ressources stratégiques postule que chaque ressource doit être affectée de manière à maximiser sa contribution aux objectifs opérationnels globaux (Barney, 1991 ; Di Tullio *et al.*, 2024). Cependant, en ES, l'eau est à la

fois une ressource vitale et un intrant polyvalent, étant donné qu'elle est utilisée comme carburant (Smith *et al.*, 2022). Ces multiples usages nécessitent alors une hiérarchisation, fondée sur l'impact stratégique de ces derniers (Di Tullio *et al.*, *op.cit.*).

Ces considérations, en termes de rareté et de stratégie de la ressource, peuvent être retrouvées dans la manière dont le modèle des communs, proposé par Ostrom (1990), a été adapté pour des systèmes fermés (Freeman, 1984). Dans le contexte spatial, la coopération entre différentes parties prenantes - les agences spatiales, les entreprises privées et les organisations internationales - est estimée cruciale. Le développement d'accords entre agences spatiales pour partager les données et les ressources relatives aux technologies de recyclage de l'eau (Garcia-del-Real et Alcarazaz, 2024) illustre ce propos. Cette coopération, conduisant *de facto* à une gouvernance multilatérale, permet non seulement de minimiser les redondances, mais aussi de mutualiser les coûts de développement.

Par ailleurs, les outils numériques, tels que les modèles d'allocation des ressources assistés par intelligence artificielle, permettent d'anticiper les besoins en eau dans des scénarii complexes. Une simulation menée pour une mission lunaire de six mois a montré qu'un système combinant recyclage avancé et exploitation des ressources *in situ* pourrait réduire de 45 % les volumes d'eau transportés depuis la Terre (Shaw *et al.*, 2022). Ce qui indique que des approches intégrées et technologiques seraient susceptibles de soutenir une gestion efficace et durable.

1.2 Innovations technologiques et stratégies de gestion intégrée dans l'espace

Au cours de la dernière décennie, l'ES a joué un rôle substantiel dans l'économie mondiale, comme l'illustre une croissance notable de sa valeur. Ainsi, en 2019, selon le rapport annuel de la *Space Foundation*, le secteur a atteint un chiffre d'affaires global de 423,8 milliards de dollars US. Les projections laissent entendre un trilliard en 2040 (*The Space Foundation*, 2020). Cette progression s'explique en grande partie par l'implication croissante des acteurs

privés dans un secteur, auparavant dominé par les institutions publiques. Cette nouvelle donne conduit à l'utilisation conséquente de techniques managériales dans ce secteur d'activité. Mais, à vrai dire, ce sont les innovations technologiques qui joueraient un rôle clé dans l'optimisation de la gestion des ressources hydriques spatiales. Deux axes principaux peuvent être mis en exergue à cet égard : le recyclage et la récupération de l'eau ainsi que son exploitation *in situ* (ISRU).

Concernant le premier axe, les systèmes en boucle fermée, tels que ceux utilisés sur l'ISS, permettent de purifier l'eau usée à des taux d'efficacité très élevés (NASA, 2021b). Des recherches visent à miniaturiser ces systèmes pour les rendre adaptés à des environnements diversifiés, allant des satellites aux bases lunaires (Brinkert *et al.*, 2022). S'agissant de l'exploitation des ressources *in situ* (ISRU), les technologies d'exploitation des glaces lunaires ou des astéroïdes, à l'instar des systèmes d'extraction thermique ou des robots miniers autonomes, aspirent à minimiser la dépendance terrestre. L'eau peut être récupérée aussi par les déchets liquides grâce à l'action de bactéries et d'algues spécifiques (Paladini, *op.cit.*). La compartimentation optimise par ailleurs les résultats pour chaque fonction en connectant les ressources nécessaires au fonctionnement global (Tamponnet et Savage, 1994).

À titre d'exemple, dans le super-système Melissa¹, les déchets produits par les plantes et par les membres de la station spatiale internationale (ISS) sont transformés en ressources consommables, telles que l'oxygène, l'hydrogène et les nitrates pour fertiliser les plantes. Par conséquent, la possibilité – pour l'entreprise MIPRONS - de récupérer du carburant dans l'espace sans approvisionnement extérieur est déjà envisageable (Chen *et al.* 2020 ; Frossard *et al.*, 2024).

¹ MELISSA (*Micro-Ecological Life Support System Alternative*) est un système de recyclage développé par l'Agence Spatiale Européenne. Les objectifs de MELISSA sont d'assurer la durabilité de l'habitat de l'équipage en recyclant les déchets et en fournissant de l'O₂, de l'eau propre et divers types de nourriture, tout en éliminant le dioxyde de carbone de l'air (Frossard *et al.*, 2024).

2. CONTEXTE MANAGÉRIAL ET SITUATION ITALIENNE

Le premier point de cette partie traite des défis des start-ups innovantes, à l'instar de celle du cas d'étude de cette contribution. Certaines start-ups parviennent à surmonter ces obstacles et à se distinguer ~~pour~~ par des apports significatifs à l'innovation technologique et au développement économique. Ce premier point examine, également, le management des ressources dans l'espace, marqué par des contraintes uniques, et les approches combinant économie circulaire, partenariats public-privé et technologies émergentes. Le second point analyse les start-ups dans la propulsion spatiale et l'environnement dans lequel MIPRONS opère, en mettant en lumière la dynamique spécifique à celui-ci en Italie. S'agissant de ce pays, ce dernier est estimé jouer un rôle croissant dans le développement de solutions spatiales, notamment grâce à son écosystème industriel dynamique, stimulé par des initiatives considérées comme cruciales par les pouvoirs publics (AC, 2024). L'analyse se rapporte de surcroît aux enjeux financiers, institutionnels et structurels auxquels font face les start-ups opérant dans ce secteur appréhendé comme globalisé, stratégique et hautement compétitif.

2.1 Les start-up innovantes et leurs défis

Les start-ups sont confrontées, d'une manière générale, aux défis liés à leur nouveauté et leur petite taille, ce qui entraîne des taux d'échec plus élevés par rapport aux entreprises plus établies (Autio *et al.*, 2014). Une minorité de start-ups peuvent être qualifiées d'innovantes, étant donné qu'elles jouent un rôle significatif dans le développement économique et les avancées technologiques et leur impact sociétal serait substantiel (*idem*).

Cependant, les start-ups innovantes font face à une difficulté supplémentaire, une certaine « *liabilité de la nouveauté* » (Audretsch *et al.*, 2020, p.1). Les fondateurs de

MIPRONS traitent cette question, qui mélange confiance et ressources financières, de la manière suivante : « *La règle dans ce secteur est de continuer à frapper aux portes des investisseurs. [...]. Nous avons collecté près de trois millions d'euros, dont 60 % grâce au financement de nos membres et le reste sous forme de subventions nationales et internationales. Pour la plupart via des interlocuteurs directs entre membres ou développeurs d'affaires. Le financement à ce stade semblerait reposer sur des relations purement personnelles. Il y des investisseurs qui ont investi pour une vision à long terme, ceux qui aimeraient obtenir un rendement économique important, ceux qui ont investi pour les possibilités techniques de nos systèmes et ceux qui voulaient investir dans un contexte stimulant* » (c.p. 23/10/24).

Les start-ups innovantes peuvent être appréhendées par ailleurs comme une forme spécifique d'entrepreneuriat et comme une entité particulière favorisant la créativité (Audretsch, *op.cit.*). En effet, ces entreprises répondent d'une part aux politiques d'entrepreneuriat visant à promouvoir la formation de nouvelles organisations, capables de durer. D'autre part, elles s'inscrivent dans les politiques d'innovation, qui visent à renforcer la compétitivité industrielle et le renouveau sociétal (*idem*). Ce paradoxe est accentué par le fait que les start-ups les plus inventives, qui présentent un potentiel élevé de croissance et d'impact, sont également celles qui échouent. En même temps, ces entreprises sont devenues, ces dernières années, les cibles privilégiées des initiatives politiques (Bradley, 2021) qui mettent en place des dispositifs *ad hoc* pour soutenir la création et le développement de ces entités. Ce propos trouve un écho dans le secteur spatial, considéré comme stratégique par les puissances publiques (*idem*).

Dans la phase moyenne de développement dans laquelle MIPRONS se situe, rien ne favoriserait davantage des trajectoires convergentes entre l'économie circulaire et le secteur spatial que les transformations engendrées par ce qui est appelé l'Industrie 4.0. Ces transformations opèrent tant au niveau conceptuel (Mangla *et al.*, 2020) qu'à travers leur application généralisée (Fettermann *et al.*, 2018). L'Industrie 4.0 repose sur un certain nombre

de piliers (Forcina et Falcone, 2021), tels que l'intelligence artificielle, le *big data*, l'Internet des objets (IoT), la fabrication intelligente et les technologies d'innovation à l'échelle planétaire. Que l'innovation ait été conceptuelle ou opérationnelle, force est de constater que des connexions claires relatives à l'économie soutenable dans l'espace ont été établies par les politiques publiques (Bradley, *op.cit.*). En effet, d'une part, celles-ci ont intégré l'économie soutenable comme un des piliers essentiels des politiques industrielles axées sur l'efficacité des ressources (CE, 2019). Comme le CEO de MIPRONS l'affirme : « *L'eau est à haute densité, elle ne coûte pratiquement rien et ne nécessite pas d'autorisation politique comme si elle était dématérialisée. L'eau a un côté totalement inexploré avec des possibilités de circularité parfaite.* » (c. p., 23/10/204). D'autre part, les politiques publiques ont introduit une vision renouvelée de l'espace dans la perspective de l'Industrie 4.0, matérialisée par la stratégie Space 4.0, menée par l'ESA dans le cadre de la planification spatiale générale de l'Union européenne (ESA, 2020).

Dans ce cadre opérationnel, MIPRONS opère pour une gestion efficace des carburants et des propulsions dans l'espace. Dans cette veine, comme souligné dans les entretiens menés plusieurs fois par le CEO de MIPRONS, la production et la vente de carburants spatiaux sont considérées comme stratégiques par la plupart des pays et cela nécessite d'une autorisation particulière pour leur circulation, même entre les pays faisant partie de l'Union Européenne (Ross et Vedda, 2022). Cette approche éliminerait la dépendance aux carburants traditionnels, vus comme coûteux et géopolitiquement sensibles et offrirait une solution économique et durable.

2.2 Le secteur de la propulsion spatiale et le cas de l'Italie

Concernant le contexte du secteur des moteurs à électrolyse dans l'espace, la probabilité d'une croissance conséquente est forte. Le marché total de la propulsion spatiale est estimé atteindre environ 30 milliards d'euros en 2030, avec un taux de croissance annuel composé

(CAGR) de 15,5 % sur la période 2022-2030 (Palwe, 2024). De plus, comme la flexibilité et l'évolutivité du système de propulsion, à l'image de celui de MIPRONS, permettent son installation sur divers types de plateformes tels que les drones extra-atmosphériques, les derniers étages de lanceurs, les petits engins spatiaux de service, le marché spécifique de la propulsion satellitaire est loin d'être négligeable, sa valeur avoisinerait environ 3 milliards en 2025 et 8 milliards d'euros en 2030, avec un CAGR de 22 % sur la période 2023-2030 (*idem*).

S'agissant de l'Italie², celle-ci est le troisième contributeur de l'ESA, après l'Allemagne et la France. En 2021, sa contribution s'est élevée à 639,6 millions d'euros, marquant une augmentation du 6,47 % par rapport à 2020 (AC, 2024). Les startups italiennes dans le secteur spatial sont en pleine croissance et s'inscriraient dans un écosystème de plus en plus dynamique. Globalement, ce secteur comprend environ 300 entreprises, avec un chiffre d'affaires annuel de 4,5 milliards d'euros (Marelli, 2023). Les entreprises se distinguent par des innovations technologiques avancées, telles que des systèmes de propulsion électrique, la gestion satellitaire et des solutions pour réduire les coûts des missions spatiales et elles bénéficieraient d'une attention croissante tant des investisseurs publics que privés. Ces initiatives visent à renforcer la compétitivité de l'Italie dans un secteur estimé stratégique, qui génère déjà une part significative du PIB (AC, 2024).

Certaines initiatives comme le Plan National de Relance et de Résilience (PNRR), lancé en 2021, jouent également un rôle clé dans le financement des start-ups aérospatiales. Une enveloppe de 2,3 milliards d'euros est dédiée au secteur de l'espace, intégrant la recherche et le développement de technologies de pointe. Ces investissements, coordonnés par l'Agence

² En Italie les questions liées à l'espace sont régulées par le COMINT (Comité interministériel pour les politiques spatiales et aérospatiales), présidé par le Président du Conseil des ministres ou, à défaut, par le Ministre ou le Secrétaire d'État délégué aux politiques spatiales et aérospatiales. Il est composé de différents ministres tels que le ministre de la Défense et le ministre de l'Intérieur. Le Comité inclut également le Président de la Conférence des Présidents des Régions, ainsi que le Président de l'Agence Spatiale Italienne (ASI).

Spatiale Italienne (ASI), ciblent les projets innovants et les collaborations avec l'ESA (AC, 2021 ; ASI, 2023 ; Primo Ventures, 2023).

Le rôle du secteur privé s'intensifie également avec l'émergence de fonds tels que *Primo Space Fund*, le premier fonds de capital-risque italien dédié au secteur spatial, qui a levé plus de 80 millions d'euros en 2022 (Primo Venture, *op.cit.*). Ces fonds soutiennent principalement les start-ups en phase initiale, accélérant leur passage de la recherche à la commercialisation. Par ailleurs, des initiatives telles que Galaxia³, en collaboration avec des universités comme "La Sapienza" de Rome, combinent expertise académique et soutien financier pour le développement technologique (I3P, 2023).

Cela étant, bien que le secteur bénéficie de nouveaux financements, il fait face à de la lenteur bureaucratique et au manque de synergies entre les acteurs publics et privés. Comme souligné par le CFO de MIPRONS : « *Plus l'entreprise se développe, plus elle doit faire face à des dépenses d'équipement et de personnel en recherche et développement. Nous avons de nombreuses quasi-commissions et le prototype est pour fin 2025. Il y a des précommandes dans l'espace ; il suffit d'une démonstration en vol et les commandes peuvent être prises. Le site de production n'a pas encore été choisi, grâce à un fournisseur en mécanique de précision. Zoppas fait partie des actionnaires, leaders de la gestion thermique dans l'espace, avec qui nous avons un accord pour la réalisation des moteurs Nous développons avec Thales des satellites au sol et ils sont prêts aussi à passer des commandes. Cela vous met directement sur le marché, même au-delà de l'internationalisation, au-delà de l'activité de lobbying. La thématique spatiale est extrêmement institutionnelle et donc intrinsèquement lente.* » (c.p., 23/10/2024).

³ Galaxia est le pôle italien de transfert de technologie dans le domaine aérospatial, soutenu par CDP *Venture Capital* (un fonds d'investissement d'une banque, *Cassa Depositi e Prestiti*) en collaboration avec Obloo (*Venture Capital* actif dans la technologie transformative). Sa mission est de transformer les innovations révolutionnaires développées par les scientifiques nationaux en leaders mondiaux dans le secteur stratégique de l'aérospatiale (I3P, *op.cit.*).

Cependant, la dynamique actuelle, soutenue par des fonds européens et des initiatives locales, est susceptible de permettre à l'Italie de devenir un acteur important de l'économie spatiale mondiale d'ici 2030 (Primo Venture, *op.cit.*). Comme évoqué par Paola Elviri : «*Il y a des valeurs scientifiques, technologiques et humaines. Des brevets sont créés, ce qui signifie rendre l'Italie unique sur certaines technologies, notamment celles non exportables, qui resteront ici.* » (c.p., 23/10/2024).

3. UN CAS D'ETUDE : MIPRONS

Le secteur spatial fait face à des défis croissants en matière de capacité des charges utiles, de coût des carburants, de mobilité en orbite et de sécurité des chaînes d'approvisionnement (Liddle *et al.*, 2020). MIPRONS, start-up fondée en 2019 par six personnes, tente de répondre à ces défis (*idem*) et est ainsi dédiée au développement d'un système de propulsion spatial. L'entreprise se distingue de surcroît par l'intégration de plusieurs technologies, visant à transformer profondément le secteur de la propulsion spatiale par l'offre d'une alternative efficace et respectueuse de l'environnement. Pour son CEO, Angelo Minotti, ancien chercheur et professeur en fluidodynamique spatiale ayant de l'expérience dans les cube-satellites, la mission de l'entreprise est de : «*fournir une solution pour satellites, vaisseaux spatiaux et moteurs sur site qui seront utilisés sur planètes extraterrestres.* » (c.p., *idem*).

3.1 L'activité et les atouts de MIPRONS

Le système de propulsion mis au point par MIPRONS repose sur la combinaison de plusieurs facteurs : l'électrolyse, une chambre de combustion miniaturisée et un allumeur à micro-échelle, ce système utilisant l'eau comme carburant. Les différentes parties de ce système

sont toutes développées en interne et les droits de propriété sont protégés par cinq brevets internationaux. L'électrolyse, évoquée ci-dessus, permet de séparer l'eau en hydrogène et en oxygène directement en orbite, une fois que le satellite ou la plateforme spatiale a atteint son altitude de travail. L'hydrogène et l'oxygène produits sont, ensuite, acheminés vers une chambre de combustion miniaturisée, dans laquelle les deux gaz réagissent pour générer la poussée nécessaire au déplacement du satellite ou du vaisseau spatial. Ce procédé repose sur une technologie de micro-combustion, permettant l'optimisation de la performance, la réduction de l'encombrement et l'obtention de l'efficacité. De surcroît, le système proposé peut être intégré à ceux existants sur terre, que ceux-ci soient électriques ou thermiques (MIPRONS, 2024).

L'un des principaux avantages de cette approche réside dans l'utilisation de l'eau, ressource abondante et non polluante, comme propulseur, qui permet d'obtenir une propulsion 'verte', réduisant ainsi l'empreinte écologique des missions spatiales (Lorenzini, 2021). De plus, la miniaturisation du système de propulsion permet d'intégrer celui-ci à des satellites de petite taille ou à d'autres types de plateformes spatiales, en gardant les mêmes performances (Rovey *et al.*, 2020). Le système de propulsion développé ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour le secteur aérospatial, notamment en matière de durabilité et d'efficacité énergétique (*idem*). Par ailleurs, un des points principaux est que cette innovation offre un modèle de propulsion qui n'a pas besoin de la validation des autorités de gouvernance spatiale ou de l'approbation des pays producteurs de carburant. Dans cette veine, les entretiens réalisés nous indiquent que : « *Les carburants spatiaux coûtent, parfois, des milliers d'euros au kilogramme. L'eau filtrée, en pouvant être achetée par d'euros partout, ne nécessite pas d'autorisation pour être utilisée. Évidemment, l'eau n'a pas besoin d'autorisation car elle n'est pas dans la liste de produits stratégiques.* » (c.p., 23/10/2024).

Cette technologie peut jouer un rôle clé dans le développement de solutions d'approvisionnement en carburant dans l'espace ou dans des projets de colonisation spatiale à long terme. Dès lors, l'entreprise, *via* sa technologie de propulsion, permet d'augmenter de manière substantielle la flexibilité des missions spatiales et la réduction du coût des missions, - jusqu'à 40 millions d'euros d'économies par satellite – et partant, le financement de ces missions (MIPRONS, 2024). À cet égard, une multitude de facteurs ont des effets sur le coût de construction d'un satellite dans toutes ses composantes : « *L'eau ne coûte rien et la pollution est nulle. Le débris est de la vapeur. Certains propulseurs coûtent des dizaines de milliers d'euros le kilogramme. Au-delà du coût lui-même, il y a la simplification de toutes les procédures avec une énorme épargne de temps et autorisations. [...] Les propulseurs sont cancérigènes, ils ont donc besoin de personnel, de matériel et de stockage spéciaux. L'opérateur doit être équipé de défenses et spécialisé. Le transfert [du carburant] a besoin de machines particulières et cela signifie un décalage dans le temps et dans les connaissances, ainsi qu'un avantage concurrentiel en utilisant de l'eau* » (c.p., 23/10/2024). Ce gain découle de l'efficacité substantielle du système de propulsion, ce qui conduit à l'optimisation des ressources afin de maximiser la manœuvrabilité des satellites en orbite. Cette efficacité permet ainsi aux satellites de transporter davantage de matériel sans remettre en cause la performance, ce qui ouvre la possibilité à des missions plus ambitieuses et plus rentables en emmenant dans le cargo jusqu'à deux fois plus que la capacité traditionnelle. De plus, l'eau est le seul carburant qui peut rester sans cesse en orbite, à l'inverse des autres carburants traditionnels (c.p., *idem*).

Par ailleurs, l'eau est non seulement non pressurisée et sans danger pendant le lancement, mais elle ne présente aucun risque pour l'opérateur au sol, la fusée ou la charge utile principale et est sans coût pour le stockage. L'électrolyse elle-même est alimentée par des cellules solaires, rendant le processus autonome et optimisant l'utilisation des ressources disponibles en orbite, ce qui ajoute un avantage supplémentaire en termes de durabilité comme suggéré par

MIPRONS (c.p., *idem*). La chambre de combustion présente également une configuration dynamique des fluides particulièrement performante. En dépit de ses dimensions extrêmement petites (environ 10 mm de diamètre et de hauteur), cette chambre permet une combustion stable, avec un temps de résidence élevé et une efficacité de combustion optimale, garantissant ainsi une poussée maximale⁴. Et une charge de cinq kilogrammes d'eau permet des manœuvres d'ajustement pour sept ans, trois fois par jour tous les jours (c.p., *idem*).

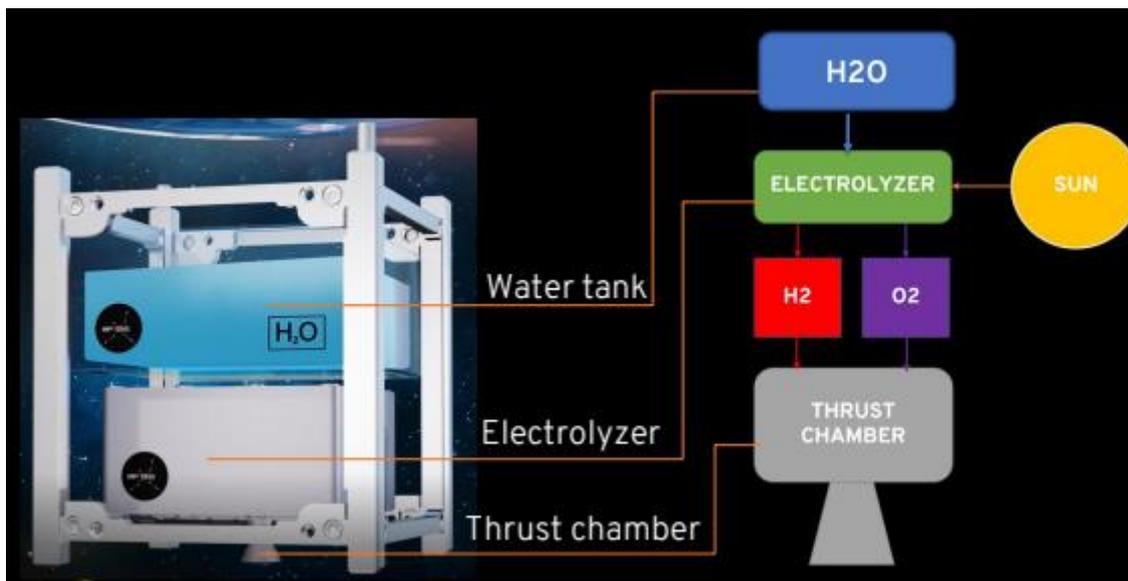


Figure 1. Système MIPRONS.

Source : MIPRONS, *The Gateway to a space propulsion Revolution* (Document donné par la direction)

3.2 Structure financière et sources de financement

Une start-up requiert généralement des ressources financières pour se lancer et des investissements conséquents sont indispensables (Bauer *et al.*, 2024). Habituellement, un entrepreneur investit une partie de ses propres fonds dans l'entreprise. Toutefois, il peut

⁴ Certains carburants ont des performances meilleures que celle de l'eau mais ils ne sont pas immuns des risques : « Il existe des propulseurs qui plus performant, sont meilleurs que l'eau ; dans le jargon technique, on parle d'impulsion spécifique. Mais ils doivent être chargés à des pressions très élevées, voire 200 atmosphères, par exemple les satellites Starlink. Le delta d'une telle pression n'a pas de valves capables de le retenir, il y a donc une perte de propulseur en orbite. Et certains satellites [Starlink] tombent déjà. » (c.p. 23/10/2024)

également faire appel à d'autres sources (famille, amis, et dans certains cas, des capitaux-risque) (Wang et Schøtt, 2022)

Les membres de la direction d'une entreprise, dans la phase initiale de développement, peuvent être vus comme : « des *investisseurs potentiels en manière personnelle avec leurs propres croyances* » (c.p., *idem*). Cependant, le lien entre innovation et financement dans une start-up peut varier (Bandera et Thomas, 2018). L'innovation peut ainsi être réalisée avant même la création de l'entreprise ou être développée au fur et à mesure, ce qui déconnecterait innovation et financement (Lerner et Nanda, 2020). En réalité, il y a une multitude de facteurs, susceptibles d'être pris en compte, lors de la valorisation et du financement d'une start up : « *Pour les investisseurs, l'investissement se mesure uniquement par le ROI, alors qu'en réalité chez MIPRONS, il devient l'avenir. C'est vraiment différent dans le concept. Des doctorats sont également financés à la Polyclinique (un hôpital) pour une éventuelle application médicale. Les professionnels italiens de demain se forment ici, l'âge moyen est d'environ 30 ans et 70 pour cent sont titulaires ou sont en train d'obtenir un doctorat. Nous créons des professionnels qui créeront un jour d'autres entreprises, feront des découvertes ou des inventions ou enseigneront dans les universités.* » (c.p., 23/10/2024).

Par ailleurs, les investisseurs potentiels peuvent hésiter à soutenir des projets innovants jugés risqués et préférer financer des entreprises aux modèles plus routiniers (Autio *et al.*, *op.cit.*). Le cas de l'entreprise étudiée dans cette recherche correspond à cette situation : « *Je discute avec des investisseurs qui parlent d'innover alors qu'en réalité ceux qui ont la capacité de financer veulent toujours plus d'argent. Celui qui a l'argent établit les règles du jeu, il veut vous écraser pour obtenir un accord selon ses règles. MIPRONS a une valorisation significative, de l'ordre de dizaines de millions, mais les investisseurs, italiens en particulier, prennent pratiquement la racine cubique de ces valorisations.*». Dès lors, la relation directe

entre financement et innovation semble difficile à établir comme la littérature le laisserait entendre (Croce *et al.*, 2017).

Cela étant, les capitaux mobilisés par l'entreprise étudiée viennent des actionnaires (à hauteur de 60 %) et de subventions nationales et internationales. En termes de coûts ~~coûts~~, une partie de ceux-ci peuvent être partagés avec des centres de recherches, à l'instar du coût de la membrane qui sépare les plateaux pour l'électrolyse. Cette membrane a ainsi été développée en coopération ~~coordination~~ avec le CNR (Centre de Recherche Nationale) et son laboratoire ITM (Institut de Technologie des Membranes). MIPRONS collabore également étroitement avec l'ESA qui a créé un département pour la propulsion à eau depuis le 2022 après avoir vu le potentiel offert par cette technologie (ESA, 2020), ce qui réduit également les coûts pour l'entité italienne.

Cependant, force est de constater que les techniques pour capter des ressources financières pour une start-up innovante restent plutôt fondées sur une approche traditionnelle (Audretsch *et al.*, *op.cit.*). Comme les besoins de financement de MIPRONS sont d'à peu près de trois millions d'euros par an, l'approche traditionnelle semble toutefois limitée et la diversification des sources de financement s'avère incontournable. Pour le CFO de l'entreprise : « *Au point de maturité d'entreprise où nous sommes, nous pouvons obtenir des fonds majoritairement auprès des Business Angels, ils ont un appétit pour le risque plus élevé que les fonds. Cependant, le capital-risque en Italie est moins enclin au risque que les acteurs étrangers. La rentabilité du capital-risque en Italie a un horizon temporel plus court mais, surtout, les investisseurs essaient d'obtenir un capital d'un pourcentage plus élevé par rapport à sa valeur potentielle.* » (c.p., *idem*).

Cette situation n'est pas spécifique à l'entreprise étudiée. Elle tend à confirmer un scénario italien généralisé, même dans les secteurs innovants ou stratégiques où le financement par le biais des *Business Angels* serait plus conséquent (Capizzi *et al.*, 2024). La solution du

financement par les institutions étatiques est certes attractive et envisageable mais la démarche souffre de lenteur et requiert un travail en amont substantiel (Giaretta et Chesini, 2021). Ce que confirme le CFO : « *Dans un état de développement nous sommes au niveau 6 sur une échelle de 1 à 9, toujours considéré comme risqué⁵* ». Pour pallier cette difficulté institutionnelle, l'entreprise a entrepris une démarche, qui la distingue des autres start-up (*idem*). Elle a ainsi accéléré son processus d'internationalisation (Naldi *et al.*, 2020) : « *Nous avons donc anticipé l'internationalisation pour récupérer des fonds de fonctionnement. Le gouvernement de Singapour nous a invités à y ouvrir l'entreprise, pour nous Singapour est la porte d'entrée vers l'Asie. Après Singapour, les États-Unis pour utiliser nos contacts à la NASA et ses moyens de financement* ».

Il ressort alors de ce qui précède que MIPRONS, avec une équipe d'environ vingt personnes opérant dans deux centres (Italie et Singapour) et bientôt dans un troisième centre (Californie,) finance ses activités au moyen de trois sources principales : l'intervention directe de *Business Angels*, les subventions et le *venture capital*. Cette dernière source de financement est toutefois la moins utilisée étant donné que les fondateurs semblent réticents à ouvrir leur capital estimant que leur entreprise est sous-évaluée et que le coût demandé pour le risque pris est trop important (Montani *et al.*, 2020).

⁵ Ici le CFO se réfère à la TRL (*Technology Readiness Level*) créé par la NASA. La TRL est une échelle qui mesure la maturité d'une technologie en fonction d'une série d'indicateurs. Elle se compose de neuf niveaux, allant de TRL 1, où les principes de base sont théorisés et documentés, à TRL 9, correspondant à une technologie pleinement développée, mise sur le marché et prête pour une production industrielle. Introduite en 2012 dans le cadre des projets financés par l'Union européenne, l'échelle TRL est devenue une référence essentielle pour évaluer l'état d'avancement d'une recherche, sa maturité technologique et son potentiel à être adoptée sur le marché. Elle joue également un rôle clé dans la prise de décision concernant les investissements nécessaires pour faire progresser une technologie vers sa commercialisation. Cette approche structurée permet aux investisseurs et décideurs politiques de mieux planifier les actions à entreprendre pour optimiser l'impact économique et sociétal des innovations technologiques. (EURAXESS, 2023)

3.3 Défis et trajectoires futures

Innover au sein d'une start-up spatiale, une entreprise particulièrement complexe et de niche, est notamment lié au manque de ressources humaines qualifiées et de certaines barrières culturelles présentes dans le contexte italien (Montani *et al.*, *op.cit.*). Les start-ups attirent souvent des jeunes professionnels désireux de se distinguer ou des seniors, en fin de carrière, en quête de nouveaux défis, mais elles peinent à recruter des talents de niveau intermédiaire possédant une expérience solide et une capacité à équilibrer créativité et expertise technique (Audretsch *et al.*, 2021 ; Samad, 2020). Cette difficulté est exacerbée par une faible propension au risque dans le contexte culturel italien où : « *le diplôme est perçu davantage comme une fin en soi que comme un tremplin pour l'acquisition continue de compétences* » (c.p., *idem*). De nombreux ingénieurs et spécialistes seniors préféreraient la stabilité des grandes entreprises, offrant des avantages clairs, au détriment d'opportunités risquées, mais qui seraient potentiellement plus enrichissantes dans des start-ups innovantes telles que MIPRONS (Grilli *et al.*, 2013). Le défi de celle-ci est donc de continuer à innover pour contourner ces barrières locales.

L'électrolyse de l'eau est une technologie reconnue par l'ESA comme une des priorités pour les prochaines décennies. L'ESA a identifié cette approche comme essentielle pour les missions spatiales durables, avec l'objectif de déployer un prototype opérationnel en orbite d'ici 2028 (ESA, 2020). MIPRONS prévoit à cet égard un premier lancement dès 2025-2026, *via* l'utilisation de l'eau présente sur Terre, sans oublier pour l'avenir les ressources disponibles sur la Lune et Mars, ou l'eau récupérée de la sueur et de l'urine par les astronautes ~~par la sueur et l'urine~~. La technologie proposée n'a que la vapeur d'eau comme déchet et permet de séparer les composants de l'eau, susceptibles d'être utilisés pour d'autres applications. La mise en place d'un modèle circulaire et respectueux de l'environnement (Jovičević-Klug et Rohwerder, 2023) conduirait ainsi MIPRONS à être, en matière de colonisation de l'espace, à la fois client et

fournisseur d'énergie : « *En matière de gestion des ressources, nous avons accepté que l'eau soit disponible sur la Lune et sur Mars. Nous ne développons pas de technologies d'extraction, nous serons des utilisateurs d'eau sur la Lune et Mars. Nous pouvons en fait diviser et utiliser l'oxygène et l'hydrogène séparément et 'revendre' ou troquer l'énergie* » (c.p., *idem*). Et c'est un autre défi pour MIPRONS.

Forte de son siège aux États-Unis et de son activité de lobbying auprès de la NASA, la firme italienne est en mesure de combler la distance (entre les États-Unis et l'Europe) en termes de connaissances. Cette distance constituerait un autre défi pour MIPRONS. Cette distance représenterait même le principal défi pour les politiques spatiales et la répartition des responsabilités entre les niveaux national et européen (Denis et Pasco, 2015).

Par ailleurs, MIPRONS semble vouloir plus de concurrents dans son secteur (Barney, 1991 ; Kurpjuweit et Wagner, 2020) pour obtenir de la crédibilité : « *Il existe cinq entreprises dans le monde qui tentent de développer la même technologie et d'autres verront certainement le jour dans les années à venir. Je suis très heureux que d'autres entreprises émergent qui développent la même technologie ; cela peut sembler contre-intuitif. En réalité, lorsque nous avons commencé à montrer notre technologie et à discuter avec des fonds d'investissement et des banques, ils pensaient que nous n'étions que des visionnaires. Cela nous permet d'être des pionniers dans la technologie et le fait qu'elle soit répliquée nous donne de la crédibilité et la capacité financière* » (c.p., *idem*). Une dynamique concurrentielle conduirait à cet égard à l'amélioration du partage des procédés industriels, à la reconnaissance de la technologie au niveau international, à l'obtention de financements conséquents et diversifiés et à l'acquisition d'une image publique.

S'agissant de l'avenir, les enjeux et la trajectoire d'évolution dans le secteur seraient bien identifiés par le management : « *L'avenir est très clair, nous devons surmonter la phase d'emprise actuelle. C'est une totale capacité d'adaptation. Des défis sans fin, des matériaux*

aux techniques jusqu'à l'achèvement. À partir de fournisseurs qui n'avaient pas encore travaillé d'une certaine manière, nous innovons désormais indirectement auprès ces autres entreprises. L'application de la technologie spatiale sur Terre est aussi un des buts ». Dans ces mots du CEO, nous retrouvons ce que Denis et ses collègues (2020) appellent le *Space Meccano* : la miniaturisation des composants, le besoin de nouveaux fournisseurs spécialisés, l'intégration verticale et des nouvelles techniques de fabrication.

CONCLUSION

La gestion des ressources dans l'espace est une question complexe et essentielle à l'essor de l'économie spatiale. Cette contribution essaie de mettre en lumière, à travers l'analyse du cas de l'entreprise MIPRONS, l'efficacité et l'efficience d'un système innovant, qui minimise l'impact polluant des carburants, et d'éclairer certains enjeux du secteur spatial. Elle étudie également les opportunités et les défis de financement-des start-up innovantes et le rôle de ces dernières dans secteur spatial italien. Deux résultats majeurs peuvent être mis en évidence.

En premier lieu, ce travail enrichit la compréhension des modèles de gestion intégrée des ressources dans des environnements contraints, tels que celui de l'économie spatiale. L'application des principes de l'économie circulaire et de la gestion stratégique des ressources souligne que les innovations dans le secteur spatial ne se limitent pas à des avancées technologiques isolées. Elles englobent également des cadres managériaux qui privilégient la durabilité et l'efficience. L'étude des systèmes fermés, ainsi que leur adaptation aux missions lunaires et martiennes, illustre les possibilités de généralisation des modèles de gestion intégrée à des environnements nouveaux et extrêmes.

En second lieu, la recherche sur MIPRONS indique une nouvelle trajectoire pour les start-ups technologiques opérant dans le secteur spatial. Contrairement à de nombreux travaux

qui se focalisent sur les grandes agences spatiales, le travail mené met en exergue l'importance des start-ups et des PME dans la redéfinition de la chaîne de valeur spatiale. Ces entités apportent non seulement des innovations technologiques, mais elles redéfinissent également les règles de financement et de partenariat dans un secteur historiquement dominé par les acteurs publics mais qui s'ouvre petit à petit aux acteurs privés.

Par ailleurs, l'analyse entreprise propose une réflexion sur la gouvernance multilatérale des ressources spatiales, notamment en Italie, un pays considéré comme un contributeur important de la politique spatiale européenne.

Les défis économiques, éthiques et politiques, liés à l'exploitation des ressources, tels que l'eau lunaire ou martienne, nécessitent également des cadres internationaux robustes. À cet égard, l'approche de MIPRONS, fondée sur l'autosuffisance et la collaboration internationale, offre un modèle fécond pour d'autres initiatives dans le domaine. Le cas de MIPRONS souligne en effet l'importance de la flexibilité technologique et de l'intégration des systèmes pour relever les défis spécifiques des missions spatiales d'une part ; et met en avant les difficultés auxquelles sont confrontées les start-ups innovantes, notamment en termes d'accès au marché, de financement et de réglementation même quand elles s'internationalisent et qu'elles exercent un fort lobbying, d'autre part. MIPRONS incarne également une approche fondée sur des innovations à plusieurs niveaux, technologiques et managériales, et combinant économie circulaire, gestion stratégique des ressources et technologie.

Certaines questions restent cependant ouvertes, notamment les effets à long terme de l'exploitation des ressources spatiales sur les écosystèmes célestes, les mécanismes de partage équitable des bénéfices et la viabilité économique des modèles circulaires dans les contextes spatiaux. Ces questions pourraient constituer des voies de recherche futures.

BIBLIOGRAPHIE

- Assemblea Camera (AC), (2024). *Dossier sullo spazio e le attività spaziali*. AC, numero 6924.
- Assemblea Camera (AC), (2021). *Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. AC, doc. fin. pub., 28/1.
- ASI (Associazione Spaziale Italiana) (2023). *Relazione annuale sulla Performance 2023*. ASI.
- Audretsch, D., Colombelli, A., Grilli, L., Minola, T. & Rasmussen, E. (2020). Innovative start-ups and policy initiatives, *Research Policy*, 49(10), 104027.
- Autio, E., Kenney, M., Mustar, P., Siegel, D. & Wright, M. (2014). Entrepreneurial innovation: The importance of context. *Research policy*, 43(7), 1097-1108.
- Bandera, C., & Thomas, E. (2018). The role of innovation ecosystems and social capital in startup survival. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 66(4), 542-551.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage, *Journal of management*, 17(1), 99-120.
- Bauer, D., Junge, S., & Reif, T. (2024). May the resources be with you: a systematic review and framework of startup funding options. *Management Review Quarterly*, 74(3), 1365-1396.
- Biswas, A. K. (2008). Integrated water resources management: is it working?, *International Journal of Water Resources Development*, 24(1), 5-22.
- Bradley, S. W., Kim, P. H., Klein, P. G., McMullen, J. S., & Wennberg, K. (2021). Policy for innovative entrepreneurship: Institutions, interventions, and societal challenges. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 15(2), 167-184.
- Brinkert, K., Zhuang, C., Escriba-Gelonch, M., & Hessel, V. (2023). The potential of catalysis for closing the loop in human space exploration; *Catalysis Today*, 423, 114242.
- Capizzi, V., Carta, N., Cavezzali, E., & Rigoni, U. (2024). I Business Angels nell'ecosistema delle startup: dinamiche di investimento e interazioni con altre fonti. *BANCARIA*, 5, 25-45.
- Carter, D.L. Tobias, B., & Orozco N.Y., (2013). *Status of ISS Water Management and Recovery*, AIAA 2013-3509, 43rd International Conference on Environmental Systems.
- Chen, T.L., Kim, H., Pan, S.Y., Tseng, P.C., Lin, Y. P., & Chiang, P.C. (2020). Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: challenges and perspectives, *Science Total Environment*, 716, 136998.
- Collins, J., & Araghi, K. R. (2023). Lunar Water Extraction via Lunar Auger Dryer Isru (LADI). In *ASCEND 2023* (p. 4758).
- Croce, A., Tenca, F., & Ughetto, E. (2017). How business angel groups work: rejection criteria in investment evaluation. *International Small Business Journal*, 35(4), 405-426.

- Di Ciaccio, S., Cramarossa, A., & Fatica, M. (2018), New space: a glance at Italy, *New Space*, 6 (4), 254-261.
- Denis, G., Alary, D., Pasco, X., Pisot, N., Texier, D. & Toulza, S. (2020). From new space to big space: how commercial space dream is becoming a reality, *Acta Astronautica*, 166, 431-443.
- Denis, G. & Pasco, X. (2015). The challenge of future space systems and services in Europe: industrial competitiveness without a level playing field. *New Space*, 3(1), 44-58.
- DE Sousa Jabbour, A. B. L., Luiz, J. V. R., Luiz, o. R., Jabbour, C. J. C., Ndubisi, N. O., de Oliveira, J. H. C., & Junior, F. H. (2019). Circular economy business models and operations management. *Journal of cleaner production*, 235, 1525-1539.
- Di Tullio, P., La Torre, M., Rea, M. A., Guthrie, J., & Dumay, J. (2024), Beyond the planetary boundaries: exploring pluralistic accountability in the new space age. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 37(5), 1283-1311.
- Elliott, J. (2005). *Using narrative in social research: Qualitative and quantitative approaches*. SAGE.
- ESA, (2020). ESA and the SDGs. https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Space_for_Earth/ESA_and_the_Sustainable_Development_Goals.
- EURAXESS (2023). *Why using TRLs*. www.euraxess.ec.europa.eu
- European Commission, (2019). *The EU Green Deal*. https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climateaction_en.
- Fettermann, D.C., Cavalcante, C.G., Almeida, T.D., Tortorella, G.L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management?, *Journal Industry Production Engineering*, 35 (4), 255-268.
- Forcina, A., & Falcone, D., (2021). The role of Industry 4.0 enabling technologies for safety management: a systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 180,436–445.
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Cambridge University Press.
- Frossard, E., Crain, G., de Azcárate Bordóns, I. G., Hirschvogel, C., Oberson, A., Paille, C. & Udert, K. M. (2024). Recycling nutrients from organic waste for growing higher plants in the Micro Ecological Life Support System Alternative (MELiSSA) loop during long-term space missions. *Life Sciences in Space Research*, 40, 176-185.
- Garcia-Del-Real, J., Alcaráz, M. (2024). Unlocking the future of space resource management through satellite remote sensing and AI integration, *Resources Policy*, 91.
- Giaretta, E. & Chesini, G. (2021). The determinants of debt financing: The case of fintech start-ups. *Journal of Innovation & Knowledge*, 6(4), 268-279.

- Grilli, L., Jensen P. H, Murtinu, S. (2013). The Imprinting of Founders' Human Capital on Entrepreneurial Venture Growth: Evidence from New Technology-Based Firms, *Melbourne Institute Working Paper Series wp2013n14*.
- Gross, C., Al-Samir, M., Bishop, J. L. (2024). Prospecting in-situ resources for future crewed missions to Mars, *Acta Astronautica*, 223, 15-24.
- Harmansa, N. E., Herdrich, G., Fasoulas, S., & Gotzig, U. (2019). Development of a water electrolysis propulsion system for small satellites. *Space Propulsion Conference*, 14, 18.05.
- Hollstein, B. (2011). Qualitative approaches. *The SAGE handbook of social network analysis*, 404-416.
- Kopacz, J. R., Herschitz, R., & Roney, J. (2020). Small satellites an overview and assessment. *Acta Astronautica*, 170, 93-105.
- I3P (2023). *Here comes Galaxia, the new national technology transfer hub for aerospace startups*. <https://www.i3p.it/en/news/galaxia-new-national-technology-transfer-hub-for-aerospace-startups>
- Jakhu, R. S., Chen, K. W., Goswami, B. (2020). Threats to peaceful purposes of outer space: politics and law, *Astropolitics*, 18(1), 22-50.
- Jovičević-Klug, P. & Rohwerder, M. (2023). Sustainable new Technology for the improvement of metallic materials for future energy applications. *Coatings*, 13(11), 1822.
- Kim, D. (2019). The democratization of space and the increasing effects of commercial satellite imagery on foreign policy, *New Perspectives in Foreign Policy*, 18, 35-38.
- Kurpjuweit, S. & Wagner, S. M. (2020). Startup supplier programs: a new model for managing corporate-startup partnerships. *California Management Review*, 62(3), 64-85.
- Lerner, J. & Nanda, R. (2020). Venture capital's role in financing innovation: What we know and how much we still need to learn. *Journal of Economic Perspectives*, 34(3), 237-261.
- Liddle, J.D., Holt, A.P., Jason, & S.J. (2020). Space science with CubeSats and nanosatellites. *Nature Astronomy*, 4, 1026–1030.
- Lorenzini, F. (2021). *Aluminium and water propulsion for CubeSats*. Doctoral dissertation, Politecnico di Milano.
- Mangla, S.K., Kusi-Sarpong, S., Luthra, S., Bai, C., Jakhar, S.K. & Khan, S.A. (2020). Operational excellence for improving sustainable supply chain performance, *Resource Conservative Recycling*, 162, 105–125.
- Marelli, P. (2023). Aerospazio, Urso: “L’Italia fattura circa 4,5 miliardi l’anno con 300 aziende”. <https://www.spaceconomy360.it/industria-spaziale/aerospazio-urso-litalia-fattura-circa-45-miliardi-lanno-con-300-aziende/>

- Marelli, P. (2023). Le 20 startup “spaziali” del 2024: c’è anche l’italiana Rea Space. <https://www.spaceconomy360.it/industria-spaziale/le-20-startup-spaziali-del-2024-ce-anche-litaliana-rea-space/>
- Metzger, P. T. (2023), Economics of in-space industry and competitiveness of lunar-derived rocket propellant, *Acta Astronautica*, 207, 425-444.
- Miprons, (2024). *Water, the gateway to a space propulsion revolution*. Investment document.
- Montani, D., Gervasio, D. & Pulcini, A. (2020). Startup company valuation: The state of art and future trends. *International Business Research*, 13(9), 31-45.
- Naldi, L., Criaco, G. & Patel, P. C. (2020). Related and unrelated industry variety and the internationalization of start-ups. *Research Policy*, 49(10), 104050.
- NASA. (2021a). *Water recycling on ISS: Technological challenges and solutions*. NASA Technical Reports.
- NASA (2021b). *VIPER mission overview*. NASA Reports.
- Paladini, S., Saha, K., & Pierron, X. (2021). Sustainable space for a sustainable Earth? Circular economy insights from the space sector, *Journal of Environmental Management*, 289, 112511.
- Palwe, S. (2024). Space Propulsion Systems Market Research Report Information By Type; By ; By End-User, *Market Forecast Source*, 8446.
- Pickett, M. T., Roberson, L. B., Calabria, J. L., Bullard, T. J., Turner, G., & Yeh, D. H. (2020). Regenerative water purification for space applications: Needs, challenges, and technologies towards 'closing the loop'. *Life sciences in space research*, 24, 64-82.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Owens, A. & DE WECK, O. (2016). Systems Analysis of In-Space Manufacturing Applications for the International Space Station and the Evolvable Mars Campaign. In *AIAA SPACE 2016* (p. 5394).
- PRIMO VENTURES (2023). *ESG Report*. <https://public-storage.s3.cubbit.eu/ESG%20Report%20Primo%20Ventures%202023.pdf>.
- Ross, M. & Vedda, J. A. (2022). The policy and science of rocket emissions. *Center for Space Policy and Strategy, The Aerospace Corporation*, 2-10.
- ROVEY, J. L., LYNE, C. T., MUNDAHL, A. J., RASMONT, N., GLASCOCK, M. S., WAINWRIGHT, M. J., & BERG, S. P. (2020). Review of multimode space propulsion. *Progress in Aerospace Sciences*, 118, 100627.
- SAMAD, S. (2020). Achieving innovative firm performance through human capital and the effect of social capital. *Management & Marketing*, 15(2), 326-344.

SHAW, M., HUMBERT, M., BROOKS, G., RHAMDHANI, A., DUFFY, A., & POWNCEBY, M. (2022). Mineral processing and metal extraction on the lunar surface-challenges and opportunities, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(7), 865-891.

Szocik, K. (2021). Humanity should colonise space in order to survive but not with embryo space colonisation, *International Journal of Astrobiology*, 20 (4), 319-322.

Tamponnet, C., & Savage, C. (1994). Closed ecological systems. *Journal of Biological Education*, 28 (3), 167-174.

THE SPACE FOUNDATION (2020). Global Space Economy Grows in 2019 to \$423.8 Billion, the Space Report 2020 Q2 Analysis Shows.

Qiao, L., Xu, L., Head, J.W. & *al.*, (2024). Geological evidence for extensive basin ejecta as plains terrains in the Moon's South Polar Region, *Nature*, 15, 5783.

Vittori, D., Natalicchio, A., Panniello, U., Messeni Petruzzelli, A., & Cupertino, F. (2022). Business Model Innovation between the embryonic and growth stages of industry lifecycle, *Technovation*, 117, 102592.

Wang, D., & Schøtt, T. (2022). Coupling between financing and innovation in a startup: Embedded in networks with investors and researchers, *International Entrepreneurship and Management Journal*, 18(1), 327-347.

Weinzierl, M. (2018). Space, the Final Economic Frontier, *Journal of Economic Perspectives*, 32 (2): 173–92.

Zhang, J. L., Li, Y. Z., & Zhang, Y. (2024). A concise review of resource requirements for future space exploration, *Advances in Space Research*, 73(10), 5363-5382.

Zheng, N., Ding, C., Su, Y., & Orosei, R. (2024). Water Ice Resources on the Shallow Subsurface of Mars: Indications to Rover-Mounted Radar Observation, *Remote Sensing*, 16(5), 824.