

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale e della Produzione – Classe LM-31 (DM270)

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Percorso: Gestione dell'Innovazione e Imprenditorialità



TESI DI LAUREA DI II LIVELLO

Space Economy e Sostenibilità: Analisi dei Progetti NASA

Relatore:

Prof. Federico CAVIGGIOLI

Candidato:

Calogero FARRUGGIO

Anno Accademico 2023/2024

Dedica

INDICE

ABSTRACT	7
LISTA DELLE TABELLE	8
LISTA DELLE FIGURE	9
INTRODUZIONE	12
1. SPACE ECONOMY	14
1.1. Storia della Space Economy	15
1.2. Sviluppi nel Settore Spaziale	17
1.3. Principali Stakeholders	19
1.4. Attuali Trend del Settore Spaziale	21
1.4.1. Crescita del settore	22
1.4.2. Privatizzazione e Investimenti nello Spazio	24
1.4.3. Tecnologie e Applicazioni Spaziali	27
2. SOSTENIBILTA' E INNOVAZIONE NELLO SPAZIO	29
2.1. Sostenibilità Spaziale	29
2.1.1. Storia e Contesto della Sostenibilità nello Spazio	30
2.1.2. Impatti della Sostenibilità Spaziale	32
2.1.3. Sviluppi e Iniziative.....	33
2.1.4. Implicazioni e Prospettive Future	36
2.2. Project Management nei Progetti Spaziali.....	38
2.2.1. Collaborazione tra Agenzia e Università.....	39
2.3. Il Ruolo della NASA.....	41
2.3.1. Iniziative della NASA	43
2.4. Importanza dei Dati dei Progetti Spaziali.....	45
2.5. Obiettivi della Ricerca.....	46
3. METODO DI RICERCA DATI NASA	47
3.1. Raccolta Dati Campione.....	47
3.2. Costruzione Database.....	48
3.3. Introduzione all'Analisi	50
4. ANALISI PROGETTI NASA	51
4.1. Analisi Temporale dei Progetti NASA.....	52
4.2. Analisi dei Target Destination	57
4.3. Analisi per Area Tecnologica	59
4.4. Analisi del Livello di Maturità Tecnologica (TRL) e relazioni tra variabili	60

4.4.1.	Analisi relazione variabili: TRL – Tempo	65
4.4.2.	Analisi relazione variabili: TRL – Target Destination	69
4.5.	Analisi per Organizzazione Lead & Supporting	71
4.5.1.	Reti di Collaborazione L&S.....	74
4.5.2.	Analisi relazione variabili: L&S – Data	76
4.5.3.	Analisi relazione variabili: L&S – Durata.....	78
4.5.4.	Analisi relazione variabili: L&S – Target Destination	80
4.5.5.	Analisi relazione variabili: L&S – TRL.....	81
5.	CONCLUSIONE.....	84
5.1.	Conclusioni sull’analisi	85
5.2.	Indagine sulle Università	89
	BIBLIOGRAFIA.....	91
	SITOGRAFIA	92
	RINGRAZIAMENTI	95

ABSTRACT

Nel dinamico e in evoluzione settore della Space Economy, questa tesi esplora gli sviluppi futuri sostenibili concentrando l'attenzione sui progetti della NASA. L'analisi inizia con una panoramica generale della space economy e della sua evoluzione, evidenziando il ruolo della privatizzazione nell'avanzamento del settore e nell'apertura di nuovi mercati. Successivamente, si approfondisce il tema della sostenibilità ambientale nello spazio, descrivendo la gestione dei progetti spaziali della NASA e l'importanza dei dati per studi empirici. È stato creato un database utilizzando i dati estratti dai progetti NASA, seguito da analisi mirate a individuare tendenze e a fornire prospettive sugli sviluppi futuri della sostenibilità spaziale.

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 1. <i>Statistiche Descrittive della Durata dei Progetti</i>	54
Tabella 2. <i>Statistiche Descrittive del Technology Readiness Level (TRL)</i>	60
Tabella 3. <i>Numero di progetti per stato di completamento</i>	62
Tabella 4. <i>Numero e Percentuale di progetti per TRL Start (divisi per conclusi, sospesi e in corso)</i>	62
Tabella 5. <i>Numero e Percentuale di progetti per TRL Estimated Ended (divisi per conclusi, sospesi e in corso)</i>	63
Tabella 6. <i>Numero e Percentuale di progetti per Salto di TRL (divisi per conclusi e totali)</i>	64
Tabella 7. <i>Conteggi delle Organizzazioni per Tipologia</i>	71
Tabella 8. <i>Numero di Progetti delle Lead Organization</i>	71
Tabella 9. <i>Numero di Progetti delle Supporting Organization</i>	72
Tabella 10. <i>Classifica delle Organizzazioni Lead e Supporting più Frequenti</i>	73
Tabella 11. <i>Numero di Organizzazioni per Tipologia e Ruolo</i>	73
Tabella 12. <i>Collaborazioni tra Diverse Tipologie di Organizzazioni</i>	74
Tabella 13. <i>Collaborazioni tra Organizzazioni</i>	74
Tabella 14. <i>Collaborazioni Totali per Organizzazione: Lead & Supporting</i>	75
Tabella 15. <i>Collaborazioni per Organizzazioni Partner (Supporting)</i>	76
Tabella 16. <i>Organizzazioni più frequentemente coinvolte in ciascun anno</i>	78

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1. Prospettiva del Rapporto Space Economy dell'ESA (Fonte: Euroconsult, Space Economy Report 2022, presa da Varma, J., 2023)	21
Figura 2. Espansione della Space Economy in miliardi di dollari dal 2023 al 2035 (Fonte: McKinsey & Company, adattato da Baccini F., 2024)	22
Figura 3. Valore del Mercato Spaziale Globale nel 2022 per regione, in miliardi di dollari (Fonte: Euroconsult, Space Economy Report – 9th Edition – 2022, adattata da I-Com, (2023))	23
Figura 4. Investimenti Pubblici nello Spazio nel 2022 nel settore civile e militare in % (Fonte: Euroconsult, Government Space Programs 2022, presa da Varma, J., (2023))	24
Figura 5. Provenienza degli Investimenti nelle Startup della Space Economy nel 2021 (Fonte: Bryce Tech, adattata da Maltauro, L. (2023))	25
Figura 6. Investimenti globali in startup della Space Economy: Distribuzione Geografica (2021). (Fonte: Osservatorio Space Economy, Politecnico di Milano, presa da ESG360, (2023))	26
Figura 7. Valore del Mercato Spaziale Globale nel 2022 per applicazione, in miliardi di dollari (Fonte: Euroconsult, Space Economy Report – 9th Edition – 2022, adattata da I-Com, (2023))	27
Figura 8. Evoluzione dei tassi di lancio e impatti sui cambiamenti climatici (A.1, B.1, C.1): (A) Scenario di bassa crescita; (B) scenario di crescita moderata; (C) scenario di crescita elevata (Fonte: Miraux L., Wilson A.R., Dominguez Calabuig G.J., (2022))	34
Figura 9. Detriti Spaziali generati dalla distruzione di un Satellite orbitanti intorno alla Terra (Fonte: Fotia F., (2024))	35
Figura 10. Modello NASA per lo sviluppo e la formazione del personale di Project Management (Fonte: Hoban F. T., Hoffman E. J., (1992))	42
Figura 11. Distribuzione dei Progetti per Anno Inizio	52
Figura 12. Distribuzione dei Progetti per Anno Fine	52
Figura 13. Distribuzione della Durata Media per Anno Inizio	55
Figura 14. Rappresentazione delle Durate Medie dei Progetti in Anni	55
Figura 15. Relazione tra il numero di partner coinvolti nei progetti e la durata media in mesi di tali progetti	56

Figura 16. Distribuzione del Numero di Target Destination per Progetto	57
Figura 17. Distribuzione Percentuale dei Target Destination	58
Figura 18. Distribuzione delle Aree Tecnologiche	59
Figura 19. Distribuzione TRL Start	61
Figura 20. Distribuzione dei Progetti in Base alla Differenza tra TRL Estimated Ended e TRL Start	63
Figura 21. Distribuzione dei Progetti in Base alla Differenza tra TRL Estimated Ended e TRL Start	65
Figura 22. Distribuzione delle Durate Medie dei Progetti per TRL Start	66
Figura 23. Distribuzione delle Durate dei Progetti in Base al TRL Start	67
Figura 24. Distribuzione Durata Media per Salto TRL	68
Figura 25. Media dei TRL per Target Destination e Categoria di TRL (Start/Estimated Ended, normale/singolo)	69
Figura 26. Salto dei TRL Medio per Target Destination e Categoria di TRL	70
Figura 27. Numero di Progetti per Tipologia di Organizzazione Lead negli Anni di Inizio Progetto	76
Figura 28. Numero di Progetti per Tipologia di Organizzazione Supporting negli Anni di Inizio Progetto	77
Figura 29. Numero di Progetti per Tipologia di Organizzazione negli Anni di Inizio	77
Figura 30. Distribuzione della durata dei progetti, espressa in mesi, per le diverse categorie di organizzazione: Academy, NASA center, Research Center e Industry	79
Figura 31. Distribuzione della Durata dei Progetti (in mesi) per le Organizzazioni Lead e Supporting più frequenti per ciascuna categoria: Academy, NASA Center, Research Center, Industry	79
Figura 32. Distribuzione delle diverse Tipologie di Organizzazioni (Academy, NASA Center, Research Center, Industry) rispetto ai vari Target Destination (Earth, Moon and Cislunar, Mars, Others Inside the Solar System)	80
Figura 33. Distribuzione del TRL Start per ogni Tipologia di Organizzazione Lead	81
Figura 34. Distribuzione del TRL Estimated Ended per ogni Tipologia di Organizzazione Lead	82

Figura 35. *Medie dei Livelli di Technology Readiness (TRL) per le due Fasi del Progetto (Start, Estimated Ended) e per ciascuna Tipologia di Organizzazione82*

Figura 36. *Salto Medio dei Livelli di Technology Readiness (TRL) per ciascuna Tipologia di Organizzazione83*

INTRODUZIONE

La Space Economy ha subito una trasformazione radicale negli ultimi decenni, passando da un settore dominato dalle agenzie governative a un ecosistema diversificato con attori privati e organizzazioni internazionali. Questo ha portato a una crescita esponenziale delle attività spaziali, con impatti significativi in termini di innovazione tecnologica, impatto economico e sostenibilità ambientale. In questo contesto, la NASA riveste un ruolo centrale non solo come pioniere delle esplorazioni spaziali, ma anche come modello di gestione dei progetti spaziali orientati alla sostenibilità.

La presente tesi esamina la sostenibilità nella space economy, concentrando l'analisi sui progetti della NASA. L'obiettivo principale è condurre studi quantitativi ed empirici basati sui dati dei progetti NASA, per fornire una base solida a future ricerche e politiche sostenibili nel settore spaziale.

Nel primo capitolo, si introduce la space economy, analizzando l'evoluzione e l'importanza crescente del settore. Si prosegue la trattazione con gli sviluppi recenti, i principali stakeholder coinvolti e i trend attuali, evidenziando l'espansione economica, tecnologica e scientifica dello spazio, nonché le opportunità e le sfide legate alla privatizzazione e agli investimenti nel settore, fornendo il contesto necessario per comprendere l'importanza della sostenibilità nel settore spaziale.

Il secondo capitolo si concentra sulla **sostenibilità spaziale**, con un particolare riferimento ai progetti della NASA. Si tratterà del project management nei progetti spaziali e delle collaborazioni tra agenzia e università esaminando i contributi della letteratura esistente. Si farà un focus sulla NASA e del suo ruolo all'interno del settore. Successivamente, si discuterà dell'importanza dei dati dei progetti NASA, evidenziando i gap di conoscenza mancanti. Si conclude illustrando gli obiettivi principali dell'elaborato, con particolare enfasi sull'utilizzo dei dati dei progetti NASA per condurre studi empirici sugli sviluppi della sostenibilità ambientale nello spazio.

Per il raggiungimento di tale obiettivo è stato creato un database contenente una serie di dati estrapolati dai progetti spaziali NASA. Il terzo capitolo descrive la metodologia di ricerca utilizzata per raccogliere questi dati e la procedura di creazione del database.

Il quarto capitolo, presenta un'analisi dettagliata del database creato. Vengono esaminati i dati temporali (date, numero di progetti, durata), i Technology Readiness Levels (TRL) dei progetti, le destinazioni target e, in particolare, le organizzazioni coinvolte e le partnership tra di esse. Il fine è fornire una visione approfondita delle dinamiche e delle tendenze legate alla sostenibilità nei progetti spaziali della NASA.

Infine, il quinto capitolo conclude la tesi riassumendo i risultati delle analisi e discutendo le implicazioni per il futuro della sostenibilità nella space economy. Le conclusioni offrono spunti per ulteriori ricerche e suggerimenti per migliorare le pratiche di sostenibilità nei progetti spaziali.

1. SPACE ECONOMY

La **Space Economy**, o economia spaziale, rappresenta un settore in continua evoluzione, che comprende sia attori pubblici che privati impiegati nelle attività legate allo sviluppo, all'utilizzo e alla commercializzazione dello spazio. Attualmente, costituisce uno dei pilastri fondamentali dell'economia del futuro con una forte crescita prevista nei prossimi anni.

L'**Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE)**, che promuove politiche col fine di migliorare il benessere economico e sociale nel mondo, definisce la space economy come l'insieme delle attività e delle risorse spaziali che generano valore e benefici per l'umanità attraverso l'esplorazione, la comprensione, la gestione e l'utilizzo dello spazio (Cavallo A., Paravano A., 2021). Inoltre, a livello internazionale, l'OCSE ha suddiviso la space economy in tre diverse sezioni:

- **Upstream:** riguarda il cosiddetto "business verso lo spazio", ovvero rappresenta tutte le attività relative alla progettazione, costruzione, lancio e gestione delle infrastrutture spaziali. In poche parole, copre tutto ciò che è necessario per mandare un oggetto nello spazio.
- **Midstream:** è una fase intermedia tra le altre due e riguarda le operazioni di trasmissione, gestione e controllo delle risorse spaziali una volta che sono in orbita. Queste attività si concentrano sulla manutenzione delle infrastrutture spaziali e sull'ottimizzazione delle loro prestazioni per garantire la corretta trasmissione dei dati.
- **Downstream:** si riferisce a tutte le applicazioni che vengono sviluppate a terra partendo dall'elaborazione, analisi e utilizzo dei dati raccolti dalle infrastrutture spaziali. In particolare, si occupa di prendere i dati grezzi provenienti dai satelliti e trasformarli in informazioni utili per le varie applicazioni terrestri.

1.1. Storia della Space Economy

La storia della space economy inizia con la “**Old Space Economy**” nel 1957, con il lancio dello Sputnik 1 da parte dell’Unione Sovietica. Dopo la Seconda guerra mondiale, sia gli Stati Uniti che l’URSS svilupparono le loro industrie spaziali utilizzando tecnologie avanzate. La competizione tra le due superpotenze raggiunse un apice nel 1969, quando gli Stati Uniti superarono l’URSS con l’atterraggio sulla Luna della missione Apollo 11. Questo periodo fu particolarmente importante, poiché iniziarono ad essere effettuati ingenti investimenti nel settore spaziale. Negli anni ’80, questa competizione si trasformò in collaborazione tra le due, arrivando alla fine degli anni ’90 con la costruzione della **Stazione Spaziale Internazionale (ISS)**.

Dal 1957 al 1999, la space economy si concentrò soprattutto sulle missioni di esplorazione scientifica, sulle stazioni spaziali e sui satelliti. A partire dagli anni 2000, si è assistito a un periodo caratterizzato da un crescente coinvolgimento degli attori privati e delle startup all’interno del settore spaziale, dando il via a quella che è definita “**New Space Economy**”. Questa nuova fase rappresenta una svolta nel settore, poiché estende i campi d’interesse a svariate nuove applicazioni.

Tradizionalmente, lo spazio è stato dominato da **agenzie governative** come la **NASA** e l’**ESA**, le quali detenevano un ruolo predominante nell’esplorazione spaziale e nelle missioni spaziali. La New Space Economy segna una svolta significativa, poiché è guidata principalmente dal mercato anziché dai governi, portando a un decentramento del controllo spaziale. In questo nuovo periodo, le **aziende private** giocano un ruolo sempre più centrale, sviluppando tecnologie innovative e nuovi modelli di business e rendendo lo spazio sempre più accessibile.

L’industria spaziale si sta dunque “**democratizzando**”, aprendo nuove opportunità non solo per i grandi attori internazionali, ma anche per **startup** e **piccole imprese**. In aggiunta, quest’evoluzione offre importanti opportunità per lo sviluppo di nuove tecnologie, la creazione di nuovi mercati e il progresso nella ricerca scientifica.

Due fattori principali hanno contribuito all’evoluzione della space economy. Il primo è stata la **riduzione dei costi** di accesso allo spazio che ha reso l’esplorazione spaziale più

accessibile dal punto di vista economico. La NASA ha agevolato l'ingresso agli imprenditori nel settore, portando a notevoli risparmi. Allo stesso tempo, le imprese private hanno sviluppato tecnologie di lancio più convenienti, incoraggiando il settore privato ad una maggior partecipazione. Il secondo fattore riguarda i **progressi nell'intelligenza artificiale**, che hanno reso possibili nuove attività basate sui dati satellitari, creando nuove opportunità commerciali. Per queste e molte altre ragioni, lo spazio rappresenta uno dei settori più promettenti per lo sviluppo dell'economia mondiale nei prossimi decenni.

1.2. Sviluppi nel Settore Spaziale

Negli ultimi anni, lo spazio si è affermato sempre più come una risorsa fondamentale per il progresso economico, tecnologico e scientifico a livello mondiale. Le attività spaziali costituiscono un'importante fonte di innovazione, oltre ad influenzare una vasta gamma di settori che impattano direttamente la vita quotidiana.

La space economy comprende la **produzione** e il **lancio di satelliti**, impiegati per diverse applicazioni, tra cui comunicazioni, navigazione, meteorologia e osservazione della Terra. Comprende anche l'**analisi dei dati** raccolti dallo spazio, che fornisce informazioni per settori come l'agricoltura, la gestione delle risorse naturali e la prevenzione dei disastri naturali. Inoltre, include l'**esplorazione dello spazio** profondo, con missioni su Marte e altri corpi celesti, oltre a iniziative emergenti come il turismo spaziale e la costruzione di infrastrutture spaziali commerciali.

Dal punto di vista **Economico** la space economy genera miliardi di euro ogni anno attraverso la produzione di hardware, il lancio di satelliti e la fornitura di servizi basati sui dati spaziali, rappresentando, pertanto, uno dei più efficaci fattori di crescita economica. Le tecnologie sviluppate per l'uso nello spazio spesso trovano applicazioni sulla Terra e stimolano la crescita in settori come l'elettronica, i materiali avanzati e le telecomunicazioni. L'analisi dei dati spaziali, insieme a nuove tecnologie come l'*intelligenza artificiale* e il *machine learning*, sta dando vita a nuovi modelli di business e all'ampliamento del mercato dell'osservazione della Terra. Per di più, l'industria spaziale genera nuovi posti di lavoro altamente qualificati, incoraggiando l'occupazione e la formazione di competenze avanzate.

Per quanto riguarda il progresso **Tecnologico**, le missioni spaziali hanno portato a innovazioni rivoluzionarie, ampliando le conoscenze scientifiche e ingegneristiche. Ad esempio, i satelliti di comunicazione hanno rivoluzionato il modo in cui si trasmettono e si ricevono informazioni, consentendo la connessione globale istantanea. I satelliti di osservazione della Terra forniscono dati di fondamentale importanza per la gestione delle risorse naturali, il monitoraggio dei cambiamenti climatici e la risposta ai disastri naturali.

Le tecnologie GPS, inizialmente sviluppate per scopi militari e spaziali, sono diventate ora indispensabili per la navigazione quotidiana e le applicazioni logistiche.

L'esplorazione spaziale ha portato ad importanti progressi anche dal punto di vista **Scientifico**, in particolare, nella comprensione dell'universo e della Terra. Le missioni spaziali sono risultate utili nel raccogliere informazioni preziose sulle origini del sistema solare e sulle condizioni necessarie per la vita, consentendo agli scienziati di fare passi significativi nella comprensione dei fenomeni naturali e nell'affrontare problemi mondiali come il cambiamento climatico e la conservazione delle risorse naturali.

La space economy ha effetti anche nel campo **Militare**, agendo su settori critici come la sicurezza nazionale. L'impiego di satelliti spia e di sorveglianza fornisce ai governi informazioni importanti per le operazioni militari e la difesa, consentendo la raccolta di dati in tempo reale su minacce potenziali ed eventi a livello mondiale. Oltretutto, i sistemi di navigazione satellitare garantiscono precisione e sicurezza, risultando fondamentali per le operazioni militari e il coordinamento delle forze armate.

1.3. Principali Stakeholders

La space economy coinvolge un ampio numero di attori, ciascuno dei quali svolge un ruolo importante nella crescita e nello sviluppo del settore. Tra i principali stakeholder ci sono le agenzie governative, le aziende private, le università e i centri di ricerca. Attualmente, nel mondo sono presenti circa 130 agenzie governative, 150 centri di ricerca e sviluppo e più di 10.000 aziende (Maltauro L., 2023), ma ci si aspetta un aumento di questo numero nei prossimi anni.

Le **agenzie spaziali nazionali**, come la **NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) negli Stati Uniti e l'**ESA** (*Agenzia Spaziale Europea*) in Europa, sono state pionieri nello sviluppo delle tecnologie spaziali. Queste organizzazioni sono responsabili di missioni di esplorazione, ricerca scientifica e sviluppo di nuove tecnologie. Grazie ai finanziamenti pubblici e alle collaborazioni internazionali, le agenzie governative hanno fornito e forniscono tutt'ora le risorse e le infrastrutture necessarie per progetti spaziali su larga scala. Per di più, regolamentano l'accesso allo spazio e promuovono standard di sicurezza e sostenibilità. Oltre alle due precedentemente nominate, le più importanti sono: **Roscosmos** (*Agenzia Spaziale Federale Russa*), Russia; **CNSA** (*China National Space Administration*), Cina; **ISRO** (*Indian Space Research Organisation*), India; **JAXA** (*Japan Aerospace Exploration Agency*), Giappone; **CSA** (*Canadian Space Agency*), Canada; **UKSA** (*UK Space Agency*), Regno Unito; **ASI** (*Agenzia Spaziale Italiana*), Italia; **CNES** (*Centre National d'Études Spatiales*), Francia (Maltauro L., 2023).

Con l'avvento della New Space Economy, numerose **aziende private** stanno entrando nel settore acquisendo un ruolo sempre più centrale. Società come **SpaceX**, **Blue Origin** e **OneWeb** stanno trasformando radicalmente il settore con nuovi modelli di business e innovazioni disruptive. Queste società si concentrano per lo più sullo sviluppo e sul lancio di satelliti, sulla fornitura di servizi di trasporto spaziale e sulla realizzazione di infrastrutture, oltre a spingere verso nuovi mercati, esplorando nuove opportunità commerciali. Con l'ingresso di queste imprese nel settore, il mercato sta diventando sempre più competitivo, aumentando il flusso di capitale e accelerando lo sviluppo tecnologico, oltre a ridurre i costi di accesso e rendere lo spazio più sostenibile.

Le **istituzioni accademiche** e i **centri di ricerca** svolgono un ruolo fondamentale nella space economy, impegnandosi nella ricerca sia di base che applicata, le quali contribuiscono allo sviluppo di innovazioni. Spesso, le università collaborano con le agenzie spaziali e le imprese private, offrendo supporto nella partecipazione a missioni spaziali e nello sviluppo di nuove tecnologie. In aggiunta, giocano un ruolo chiave nella formazione della futura generazione di professionisti nel settore spaziale.

Numerose agenzie spaziali, come l'ESA che rappresenta numerosi paesi europei, creano delle partnership andando a formare quelle che vengono definite **collaborazioni internazionali**. Queste condividono conoscenze e risorse al fine di limitare i rischi e abbassare i costi legati ai progetti spaziali, aumentando così le possibilità di successo e di innovazione. Le cooperazioni internazionali lavorano insieme per affrontare sfide globali come il monitoraggio del cambiamento climatico, la gestione delle risorse naturali e la prevenzione dei disastri naturali. Progetti congiunti come la **Stazione Spaziale Internazionale (ISS)** sono un esempio tangibile dei vantaggi derivanti dalla cooperazione.

Un ruolo sempre più rilevante è svolto da investitori, come **venture capital** e **business angels**, i quali spesso forniscono il capitale necessario per avviare e far crescere nuove iniziative spaziali. Questi finanziatori, ambiziosi e fiduciosi nelle potenzialità del settore, considerano lo spazio come un'opportunità di investimento a lungo termine, sostenendo startup e progetti innovativi.

Anche le **organizzazioni non profit** e le **ONG** partecipano attivamente al settore spaziale, spesso con l'obiettivo di sfruttare le tecnologie spaziali a beneficio della società. Degli esempi di tali contributi sono la gestione delle risorse naturali, il monitoraggio ambientale e la risposta ai disastri naturali.

1.4. Attuali Trend del Settore Spaziale

Le tecnologie sviluppate per lo spazio rendono la space economy una grande opportunità per molte imprese in diversi settori. Infatti, l'integrazione di queste innovazioni con le più avanzate tecnologie digitali rappresenta il trend tecnologico e di business che spinge le aziende a innovarsi e ad accrescere la propria competitività sul mercato.

Come precedentemente detto, il settore spaziale è in forte crescita. L'ultimo report di *Euroconsult* afferma che il valore a livello mondiale della space economy nel 2022 era di circa **424 miliardi** di dollari crescendo di circa **9%** rispetto al 2021 (circa 390 miliardi). A questi si aggiungono **40 miliardi** che riguardano le attività governative non contrattualizzate, per un valore totale di **464 miliardi** di dollari (I-Com, 2023), pari allo **0,35% del PIL mondiale** (Figura 1). La crescita è destinata a proseguire nei prossimi anni grazie all'aumento della domanda da parte delle imprese pubbliche e private.

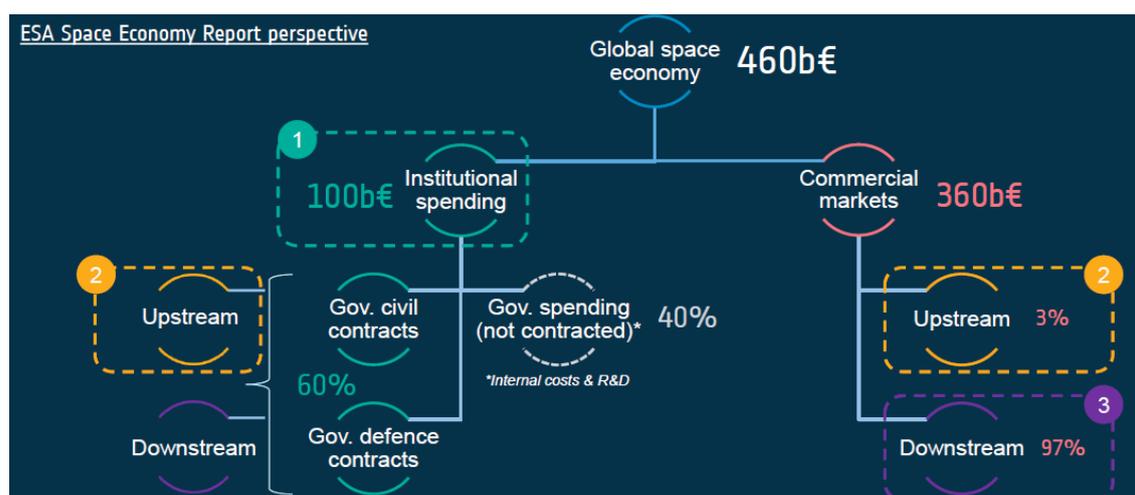


Figura 1. Prospettiva del Rapporto Space Economy dell'ESA (Fonte: Euroconsult, Space Economy Report 2022, presa da Varma, J., 2023)

Questa rivoluzione è paragonabile a quella vissuta circa vent'anni fa con l'avvento di Internet e del digitale nel mercato. Alcuni segmenti, in particolare, vedranno una forte espansione, come le **comunicazioni satellitari**, l'**osservazione della Terra** e il mercato dell'**in-orbit servicing** con un aumento previsto del **15%** rispetto all'attuale valore (La Stampa, 2024). Pertanto, le aziende che riusciranno a individuare e sfruttare tempestivamente queste nuove opportunità di business godranno di un importante vantaggio competitivo.

1.4.1. Crescita del settore

Attualmente, risulta molto difficile calcolare con precisione il valore del settore spaziale, in quanto le stime variano in base alle attività considerate. Questo dipende dal mercato dell'**industria aerospaziale**, che comprende satelliti, lanciatori e servizi come trasmissioni televisive, GPS, materie prime spaziali, oltre ai **servizi derivati** dall'utilizzo dei dati spaziali. *McKinsey & Company* ha addirittura stimato che il valore della space economy nel 2023 fosse di **630 miliardi** di dollari, di cui 330 miliardi attribuiti al reparto produttivo e 300 miliardi ai servizi forniti (Baccini F., 2024). La stessa azienda ha previsto un aumento del mercato del **9% annuo**, portandolo a raggiungere una cifra di **1790 miliardi** di dollari entro il 2035 (*Figura 2*).

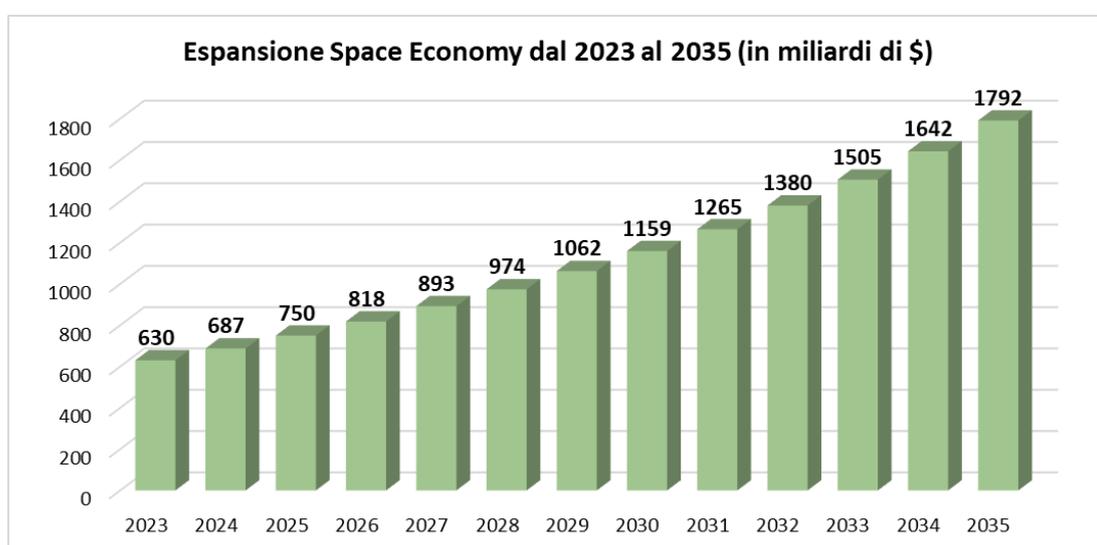


Figura 2. Espansione della Space Economy in miliardi di dollari dal 2023 al 2035 (Fonte: McKinsey & Company, adattato da Baccini F., 2024)

Si tratta di cifre impressionanti, soprattutto considerando che la crescita prevista fino al 2030 sarebbe del **+84%**, arrivando nel 2035 ad essere del **+184%** rispetto al 2023.

Il settore **downstream** costituisce in media il **70% del fatturato totale** del settore (Cosmi R., 2021), rappresentando la parte del settore con il maggior potenziale di crescita del valore totale. Si stima possa arrivare a cifre **dai 1000 ai 2700 miliardi** di dollari entro il 2040. Da questi numeri, emerge chiaramente il perché la space economy rappresenti una risorsa indispensabile per il futuro e un'enorme possibilità di espansione e investimento.

La distribuzione geografica del valore della space economy vede al primo posto il **Nord America** con **131 miliardi** di dollari, pari al 30,9% del totale. Seguono l'**Asia** con **102 miliardi** (24,8%) ed **Europa** con **94 miliardi** (22,7%) (I-Com, 2023). **Russia e Cina**, sebbene siano attualmente molto al di sotto di queste cifre, stanno incrementando notevolmente i loro investimenti nel settore negli ultimi anni (Figura 3).



Figura 3. Valore del Mercato Spaziale Globale nel 2022 per regione, in miliardi di dollari (Fonte: Euroconsult, Space Economy Report – 9th Edition – 2022, adattata da I-Com, (2023))

L'industria europea vale attualmente circa **370 miliardi di euro** l'anno, con una crescita prevista del **4%**, e si pensa che si possano superare i **500 miliardi** entro il 2030 (Cosmi R., 2021). Inoltre, impiega all'incirca 230 mila dipendenti e genera ricavi per quasi 60 miliardi di euro.

A differenza dell'**Europa**, che vede la space economy principalmente come un settore per lo sviluppo commerciale e tecnologico, **Russia, Cina e Stati Uniti** considerano il settore spaziale essenziale anche per la **difesa nazionale** e l'**ambito militare**, investendo miliardi di euro a riguardo. Gli investimenti comprendono la realizzazione di sistemi di sicurezza e monitoraggio avanzati supportati da satelliti di alta tecnologia. In particolare, la Russia sta sviluppando sistemi spaziali sia offensivi che difensivi, con un focus sulle tecnologie per la raccolta di informazioni e operazioni di prossimità, oltre a sviluppare armi antisatellite.

Nel 2022, a livello mondiale sono stati investiti circa **99 miliardi di euro** nel settore civile e militare con un aumento del **+9%** rispetto all'anno precedente. Gli **Stati Uniti** presentano una fetta sostanziale di questi investimenti rappresentando il **60% del totale** (Varma, J.,

2023). C'è da dire, però, che i budget spaziali di Cina e Russia sono sottostimati a causa della mancanza di dati disponibili (Figura 4).

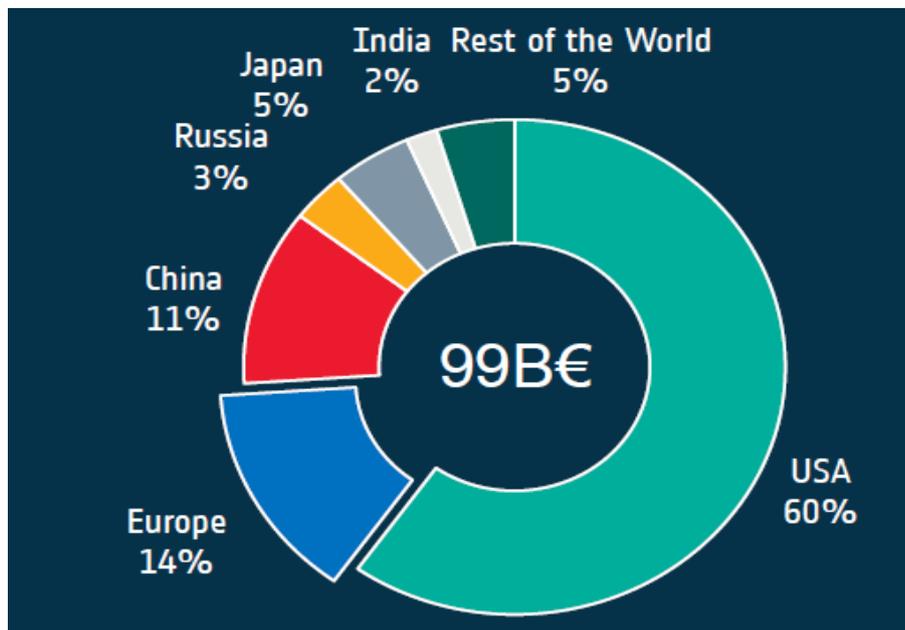


Figura 4. Investimenti Pubblici nello Spazio nel 2022 nel settore civile e militare in % (Fonte: Euroconsult, Government Space Programs 2022, presa da Varma, J., 2023)

1.4.2. Privatizzazione e Investimenti nello Spazio

Con l'inizio della New Space Economy negli anni 2000, le agenzie governative, che storicamente ricoprivano un ruolo principale, hanno assistito all'ingresso sempre più frequente di aziende private nel settore spaziale. Si sta attraversando un periodo caratterizzato da un **cambiamento di paradigma** in cui tecnologie innovative, nuovi modelli di business e applicazioni emergenti stanno rivoluzionando il modo di vedere lo spazio.

Una delle prime aziende ad entrare nel settore è stata **Blue Origin**, fondata nel 2000 da Jeff Bezos, seguita poi da **SpaceX** di Elon Musk nel 2002, la quale è diventata oggi **leader** del settore. L'ingresso di attori privati ha cambiato radicalmente il settore, trasformandolo in un mercato di massa capace di ridurre i costi e di aumentare drasticamente il numero di lanci ogni anno. La **privatizzazione** ha portato a un miglioramento dell'efficienza e dell'innovazione, abbattendo le barriere d'accesso allo spazio e promuovendo la nascita di startup e nuove imprese.

Una delle tendenze più significative è lo sviluppo di startup e di iniziative imprenditoriali che vedono nello spazio nuove opportunità commerciali; in questo scenario, stanno emergendo nuove modalità di finanziamento e di investitori specializzati, come **venture capital** e **business angels**.

Negli anni, gli investimenti nelle startup sono cresciuti costantemente, raggiungendo un nuovo record di **15 miliardi di dollari** nel 2021, superando così i 7,7 miliardi dell'anno precedente (Maltauro L., 2023). In *Figura 5* è mostrata la distribuzione degli investimenti, suddivisa per provenienza.

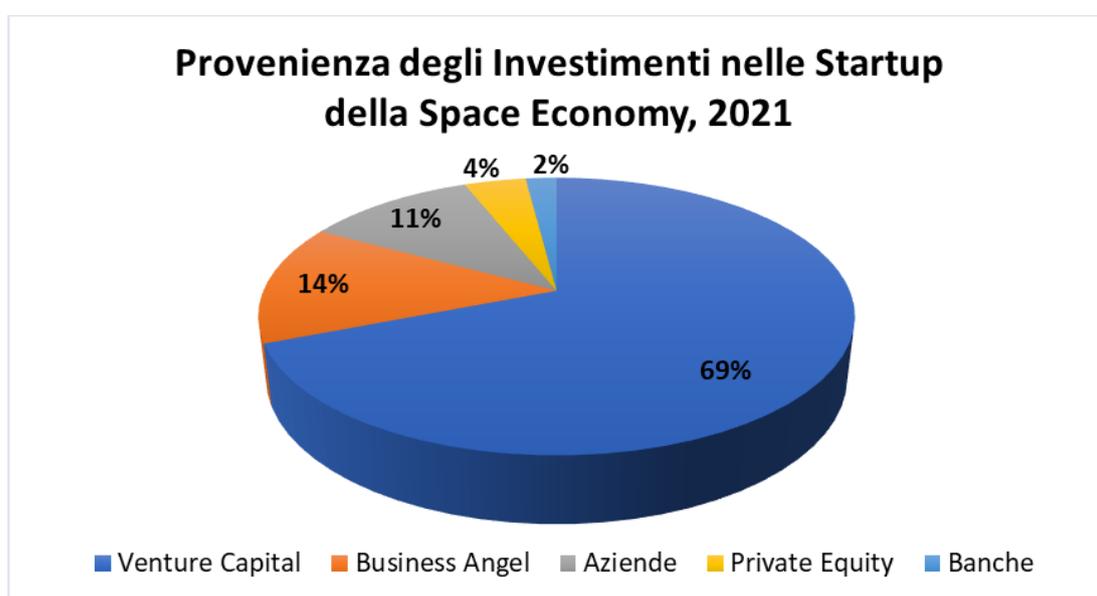


Figura 5. Provenienza degli Investimenti nelle Startup della Space Economy nel 2021 (Fonte: Bryce Tech, adattata da Maltauro, L. (2023))

La crescita è proseguita nel 2022 con circa **13,8 miliardi** di dollari; di questi, 1,6 miliardi sono stati destinati ad investimenti **early stage** in startup. Soltanto negli ultimi dieci anni sono stati investiti circa **264 miliardi** di dollari in **1.727 società** operanti nel settore (Maltauro L., 2023).

Nel corso del 2022, gli investimenti nelle startup si sono distribuiti geograficamente con il **Nord America** in testa, registrando un totale di **10,27 miliardi** di dollari (equivalente al 73,8% del totale), seguito dall'**Europa** con **2,45 miliardi** (pari al 17,6%) e dall'**Asia** con **0,71 miliardi** (5,12%) (ESG360, 2023), come evidenziato nella *Figura 6*.

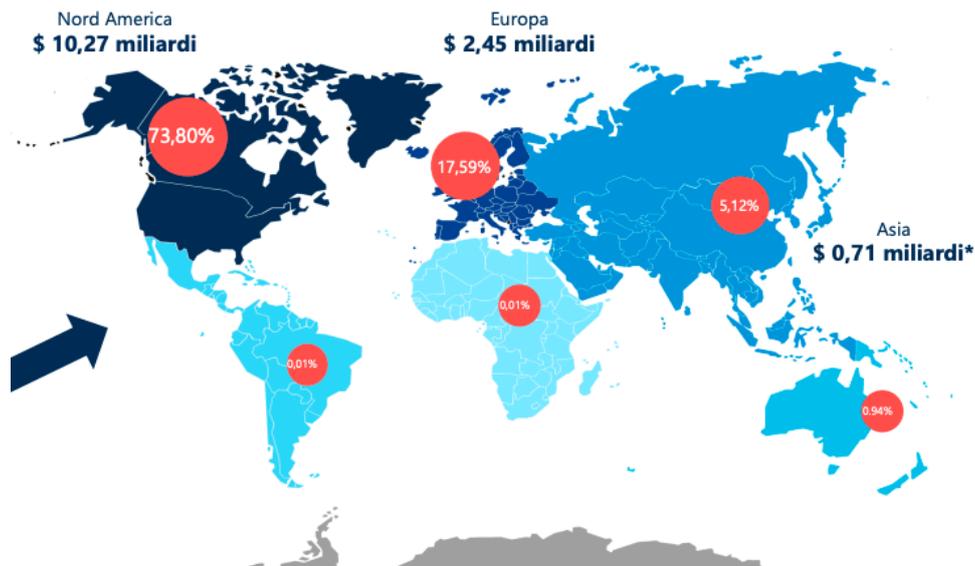


Figura 6. Investimenti globali in startup della Space Economy: Distribuzione Geografica (2021) (Fonte: Osservatorio Space Economy, Politecnico di Milano, presa da ESG360, (2023))

Sebbene la space economy offra opportunità significative, presenta anche diversi rischi legati al **capitale** e alla **sicurezza**. Tra questi rischi vi sono ritorni sugli investimenti a lungo termine, alta probabilità di fallimenti nei lanci, reclutamento lento di personale specializzato e regolamentazione ancora in fase di sviluppo.

Negli ultimi anni sono stati mandati in orbita migliaia di satelliti, incluso l'invio di satelliti privati. Il tutto desta preoccupazione sia per il pericolo di eventuali **impatti** sia per il rischio di incrementare il numero di **detriti spaziali**, che rappresentano una minaccia per la sicurezza delle missioni spaziali. In aggiunta, un elevato numero di satelliti facilita lo svilupparsi del problema legato agli **attacchi informatici**.

Il settore spaziale presenta un **elevato costo di investimento** che è accompagnato dal rischio di un **ritorno economico insufficiente**. Questo può indurre a un utilizzo dello spazio principalmente a fini militari. Per affrontare questa sfida, le imprese devono adattare costantemente la loro offerta alle esigenze del mercato, promuovendo la **competitività** e l'**innovazione** tramite collaborazioni aperte e filiere integrate. Per di più, per preservare e migliorare la competitività nel settore spaziale, è fondamentale promuovere l'innovazione tramite iniziative di ricerca e sviluppo, trasferimento tecnologico e supporto alle startup, oltre a incentivare ulteriori investimenti sia pubblici che privati.

1.4.3. Tecnologie e Applicazioni Spaziali

I sistemi di **navigazione** e **comunicazione satellitare** costituiscono le principali fonti di creazione del valore, contribuendo a **oltre il 90%** del valore complessivo del mercato. In particolare, la navigazione occupa il 54% del mercato, con un valore di **229 miliardi** di dollari; la comunicazione ha un valore di **158 miliardi**, rappresentando il 37,7%; l'**osservazione della Terra** (4%) e le **altre attività commerciali** (4%) (I-Com, 2023), come la rimozione dei detriti, costituiscono una fetta molto più piccola (*Figura 7*).

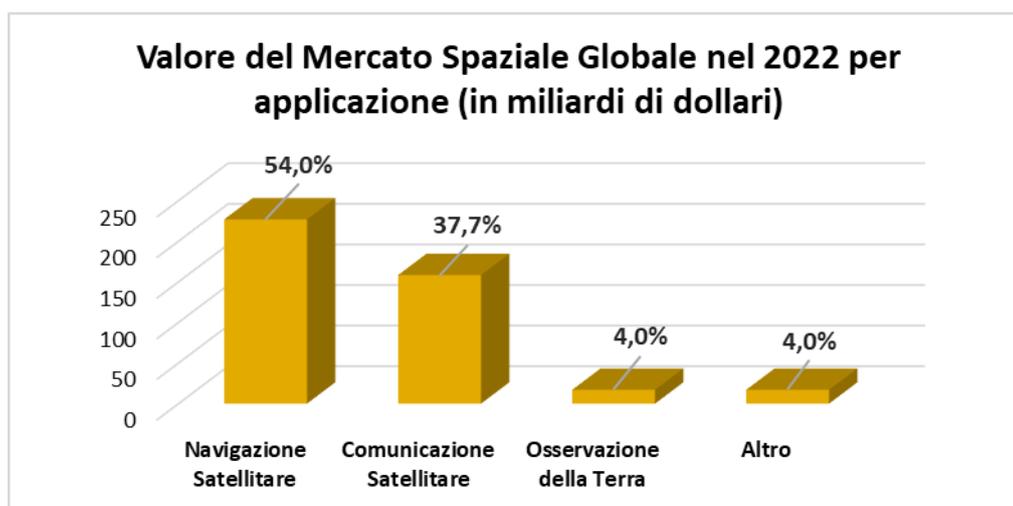


Figura 7. Valore del Mercato Spaziale Globale nel 2022 per applicazione, in miliardi di dollari (Fonte: Euroconsult, Space Economy Report – 9th Edition – 2022, adattata da I-Com, (2023))

Un mercato in forte crescita è quello di **Internet via satellite**; attualmente è valutato intorno ai **4 miliardi** di dollari, con un tasso di crescita annuo del **33,7%**, che potrebbe portarlo a raggiungere quota **17 miliardi** entro i prossimi cinque anni (Space Economy 360, 2023). Grazie all'uso di infrastrutture spaziali come i satelliti, questa tecnologia offre una connettività ad alta velocità e bassa latenza, permettendo di supportare le comunicazioni e le attività critiche nei settori come le telecomunicazioni, i media, la logistica, ecc.

Le applicazioni della space economy sono molteplici e coinvolgono sia le tradizionali **industrie spaziali** che i fornitori di **servizi digitali** basati su tecnologie spaziali, abilitando nuove soluzioni e servizi innovativi.

Nell'industria spaziale, una delle principali evoluzioni è la **maggior accessibilità allo spazio**. La maggior accessibilità è stata possibile grazie all'adozione di nuove modalità di costruzione dei veicoli e dei satelliti, nonché alle nuove procedure di lancio che hanno permesso di abbassare i costi legati a tali operazioni. Inoltre, si sono **semplificati i processi pre-lancio**, riuscendo con un solo lancio a spedire più satelliti con orbite e obiettivi diversi riducendo così i costi per singolo lancio.

L'**esplorazione dello spazio** rappresenta un settore ancora in fase sperimentale, con attenzione particolare allo sfruttamento di risorse spaziali (*Space Mining*) e al turismo spaziale. In particolare, l'**esplorazione di Marte** costituisce uno dei principali obiettivi, si pensa addirittura a missioni umane come il progetto Mars 2020 della NASA e alle iniziative di SpaceX. Oltre alla ricerca scientifica, si stanno studiando lo sfruttamento delle risorse extraterrestri e la possibilità di future colonizzazioni sul pianeta rosso. Il **turismo spaziale** sta offrendo inoltre grosse opportunità economiche e d'investimento, con aziende come Virgin Galactic e SpaceX che danno la possibilità a cittadini privati di effettuare viaggi orbitali.

I servizi basati sullo spazio impiegano tecnologie digitali come l'**intelligenza artificiale** e l'**analisi dei dati** per elaborare le informazioni raccolte dai **satelliti**. Queste tecnologie sono fondamentali poiché consentono il monitoraggio e l'analisi in tempo reale e continuo delle informazioni provenienti dallo spazio, offrendo versatilità per molteplici applicazioni in diversi settori come: l'**agricoltura**, le reti di distribuzione **energetica**, la **logistica** e i **trasporti**, e le compagnie **assicurative**.

2. SOSTENIBILTA' E INNOVAZIONE NELLO SPAZIO

Il presente capitolo ha l'obiettivo di delineare gli scopi principali della tesi e di definire gli obiettivi che saranno successivamente sviluppati nell'analisi. Dopo aver tracciato lo sviluppo storico della space economy e i trend attuali, è essenziale focalizzarsi sulla sostenibilità ambientale, con particolare riferimento ai progetti della NASA. Questo capitolo esplorerà la letteratura rilevante, identificherà i gap di conoscenza e anticiperà le dimensioni di analisi che verranno approfondite nei capitoli successivi.

2.1. *Sostenibilità Spaziale*

La space economy ricopre un ruolo importante per molti settori e in molte applicazioni, suscitando, in questi anni, interesse e investimenti in tutto il mondo. Tuttavia, accanto alle opportunità che il settore offre, sono associati anche alcuni **impatti ambientali** da tenere in considerazione.

La **sostenibilità** è oggi uno dei temi più discussi e dibattuti tra le nazioni, e il settore spaziale ha le risorse necessarie per dare un forte contributo nel risolvere molti problemi causati a riguardo. Le attività spaziali hanno il potere di influenzare in modo positivo la protezione dell'ambiente e il monitoraggio dei **cambiamenti climatici**. Oltre a questo, è necessario che le innovazioni tecnologiche sviluppino **soluzioni sostenibili** al fine di preservare l'ecosistema. Quindi, si possono sfruttare le potenzialità del settore per dare un forte contributo alla sostenibilità; ed infatti le **Nazioni Unite** hanno riconosciuto la space economy e le tecnologie satellitari come driver per l'implementazione dei **17 Sustainable Development Goals**.

2.1.1. Storia e Contesto della Sostenibilità nello Spazio

Il concetto di sostenibilità spaziale è stato sviluppato per garantire un uso responsabile dello spazio a vantaggio di tutti. Questo concetto si basa sull'**Outer Space Treaty (OST)**, che contiene disposizioni generali per la protezione dell'ambiente spaziale, come il divieto di armi nello spazio (art. IV) e la responsabilità degli Stati per le loro attività spaziali (artt. VI e VII). L'OST, istituito nel 1967, è uno dei principali accordi internazionali che regolano le attività degli Stati nello spazio extra-atmosferico. Sebbene l'OST non menzioni esplicitamente la "**sostenibilità**", affronta le preoccupazioni ambientali attraverso vari articoli. Tuttavia, la sua formulazione generica e l'assenza di un regime specifico di responsabilità per i danni ambientali ne limitano l'efficacia pratica.

Le crescenti preoccupazioni per le questioni sociali e ambientali negli ultimi anni, come il cambiamento climatico, la povertà e la disuguaglianza sociale, hanno intensificato la necessità di sviluppare politiche, quadri normativi e pratiche che promuovano principi di responsabilità ambientale e sociale. Questo ha portato all'emergere del concetto di sviluppo sostenibile, discusso per la prima volta negli anni '80 e ufficialmente integrato nell'agenda internazionale nel 1987 con la pubblicazione del rapporto "**Our Common Future**" della Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, nota anche come **Commissione Brundtland**. La Commissione Brundtland definì lo sviluppo sostenibile come:

«Soddisfare i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri»¹.

Il principio chiave è l'integrazione olistica delle preoccupazioni ambientali, sociali ed economiche in tutti gli aspetti del processo decisionale.

Durante la seconda **Conferenza Internazionale Manfred Lachs** sulla Governance Spaziale Globale, 122 esperti provenienti da 22 paesi hanno adottato la **Dichiarazione di Montreal** il 31 maggio 2014. Hanno riconosciuto che il sistema di governance spaziale degli anni '60 e '70 non è stato adeguatamente aggiornato. I partecipanti hanno manifestato la volontà

¹ World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.

di esaminare gli effetti a lungo termine delle operazioni spaziali e di convocare una conferenza per istituire un regime di governance globale, mirato a un uso pacifico e sostenibile dello spazio, tenendo conto della crescita dell'economia spaziale e delle minacce alla sostenibilità.

Tuttavia, la letteratura presenta significative lacune. Molte ricerche si focalizzano su aspetti specifici della sostenibilità senza adottare una visione olistica che integri diversi fattori ambientali, economici e sociali. Inoltre, mancano studi empirici che quantifichino l'efficacia delle iniziative di sostenibilità implementate dalle principali agenzie spaziali, come la NASA.

La nozione di sostenibilità nello spazio è influenzata da diverse fonti giuridiche, sia istituzionali che non istituzionali, che rispecchiano l'interesse pubblico e privato nelle attività spaziali. Nel 2007, l'**United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (UNCOPUOS)** ha avviato un processo per colmare le lacune legislative e definire chiaramente la sostenibilità spaziale. A partire dal 2010, la comunità internazionale ha proposto di includere la "**Sostenibilità a lungo termine delle attività nello spazio extra-atmosferico**" nell'agenda dell'UNCOPUOS, culminando con l'adozione, nel 2019, delle **Linee guida per la sostenibilità a lungo termine delle attività spaziali (LTS)**. Queste linee guida definiscono la sostenibilità come la capacità di sostenere le attività spaziali a lungo termine, garantendo benefici equi per tutti i paesi e preservando l'ambiente spaziale. Benché non vincolanti, le LTS offrono un quadro globale per promuovere pratiche sostenibili nello spazio, affrontando temi cruciali come la mitigazione dei detriti spaziali e la cooperazione internazionale. Questo approccio ha facilitato la collaborazione tra attori spaziali statali e privati nell'instaurare standard comuni e promuovere un uso sostenibile dello spazio. In particolare, gli Stati Uniti si concentrano su sicurezza, efficienza operativa e riduzione dei detriti spaziali, mentre il Giappone promuove la consapevolezza ambientale spaziale e nuove opportunità industriali.

Parallelamente, le iniziative "**bottom-up**" degli operatori spaziali, come l'**Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC)** e il **Codice di condotta internazionale per le attività nello spazio extra-atmosferico dell'Unione Europea (ICoC)**, integrano norme e pratiche per migliorare la sicurezza e la sostenibilità delle operazioni spaziali. Questi

approcci pratici comprendono linee guida volontarie e regolamenti operativi che contribuiscono concretamente alla definizione della sostenibilità spaziale, adattandosi alle esigenze operative e tecnologiche dei partecipanti del settore.

Mentre le iniziative volontarie e la consapevolezza crescente sulla sostenibilità spaziale sono in corso, il settore richiede un coordinamento più efficace e un impegno globale per stabilire un regime internazionale vincolante che possa gestire in modo completo e sostenibile le attività nello spazio.

2.1.2. Impatti della Sostenibilità Spaziale

La sostenibilità nella space economy sta diventando sempre più importante, con conseguenze rilevanti per l'ambiente, l'economia e la società. Sebbene le attività spaziali abbiano portato **vantaggi concreti**, esse hanno anche sollevato preoccupazioni riguardo all'impatto ambientale. La sostenibilità spaziale implica la possibilità di proseguire le operazioni nello spazio senza causare danni **irreversibili** all'ambiente spaziale e senza compromettere le future missioni.

Un ruolo molto importante, riferito al monitoraggio del pianeta, riguarda quello dei **satelliti** che orbitano intorno alla Terra. Questi forniscono dati su una vasta gamma di fenomeni inclusi la **deforestazione**, l'**inquinamento atmosferico**, lo **scioglimento dei ghiacciai**, l'aumento del **livello degli oceani**. Le informazioni ottenute tramite i satelliti sono utili ai governi e alle organizzazioni, permettendo loro di sviluppare politiche ambientali che consentano una presa di decisione rapida e ricercata.

I satelliti offrono anche la possibilità di osservare la Terra dallo spazio riuscendo a tenere sotto controllo la **concentrazione di gas serra**, la **temperatura della superficie terrestre** e le varie dinamiche atmosferiche. Le informazioni ricavate danno, quindi, la possibilità alle organizzazioni di sviluppare **strategie di mitigazione** e **adattamento** per affrontare i cambiamenti climatici.

Le tecnologie spaziali monitorano l'**utilizzo dell'acqua**, del **suolo** e delle **foreste**, offrendo vantaggi attraverso la prevenzione del loro uso inappropriato. Per di più, contribuiscono ad aiutare anche il **settore agricolo**, fornendo dati dettagliati ed aggiornati su tutti gli elementi necessari alla coltivazione, e contribuendo così al miglioramento e all'affidabilità dei **prodotti alimentari**.

Altri contributi che può offrire la sostenibilità spaziale sono rappresentati dalle tecnologie, attualmente impiegate nello spazio, che spesso trovano **applicazione sulla Terra**, come ad esempio le tecnologie del riciclo dell'acqua e dell'aria. Allo stesso modo, possono essere sfruttate le innovazioni del **settore Energy** per favorire nuove opportunità di crescita sostenibile nello spazio.

2.1.3. Sviluppi e Iniziative

I progressi tecnologici e i notevoli ritorni economici promessi dall'esplorazione spaziale portano con sé sfide significative, tra cui limitazioni di bilancio, problemi tecnici, impatti ambientali e cambiamenti sociali che influenzano il sostegno politico e pubblico. Il sostegno pubblico, in particolare, dipende fortemente dall'allocazione dei fondi pubblici per le attività spaziali, anche se il coinvolgimento diretto dei civili nel processo politico inizialmente è limitato.

Le agenzie spaziali affrontano questi ostacoli cercando di sviluppare standard progettati per ridurre i costi e migliorare l'efficienza operativa per eseguire i compiti assegnati in modo tempestivo ed economico. Tuttavia, queste soluzioni affrontano solo parzialmente i problemi di sostenibilità legati alle attività spaziali.

L'esplorazione spaziale, secondo la NASA, può generare benefici sostenibili sia tangibili che intangibili per l'umanità. I **benefici tangibili** includono innovazioni tecnologiche trasferibili al mercato e progressi scientifici che stimolano lo sviluppo economico e industriale. I **benefici intangibili** includono l'arricchimento culturale, l'ispirazione e la cooperazione internazionale.

La sostenibilità nelle politiche spaziali riguarda la **conservazione dell'ambiente terrestre** e

la **gestione responsabile delle risorse spaziali**, non necessariamente legata allo sviluppo sociale o alla crescita economica. Questo implica la necessità di ridurre l'inquinamento e i detriti nello spazio e di minimizzare i rifiuti lasciati dalle missioni spaziali.

Tuttavia, nonostante il discorso sulla sostenibilità spaziale, la comunità scientifica spaziale sembra dedicare scarsa attenzione alla protezione degli ambienti spaziali incontaminati, concentrandosi invece sulle attività con impatti significativi su questi ambienti.

Negli ultimi anni, si è assistito a un aumento esponenziale del numero di satelliti in orbita intorno alla Terra, ma ciò ha generato un enorme problema. Solo nel 2020 sono stati lanciati in tutto il mondo **1.283 satelliti** in bassa orbita (Sciarma C., 2022), e le stime indicano che entro il 2030 potrebbero essere lanciati **da 60.000 a 100.000** nuovi satelliti (Figura 8).

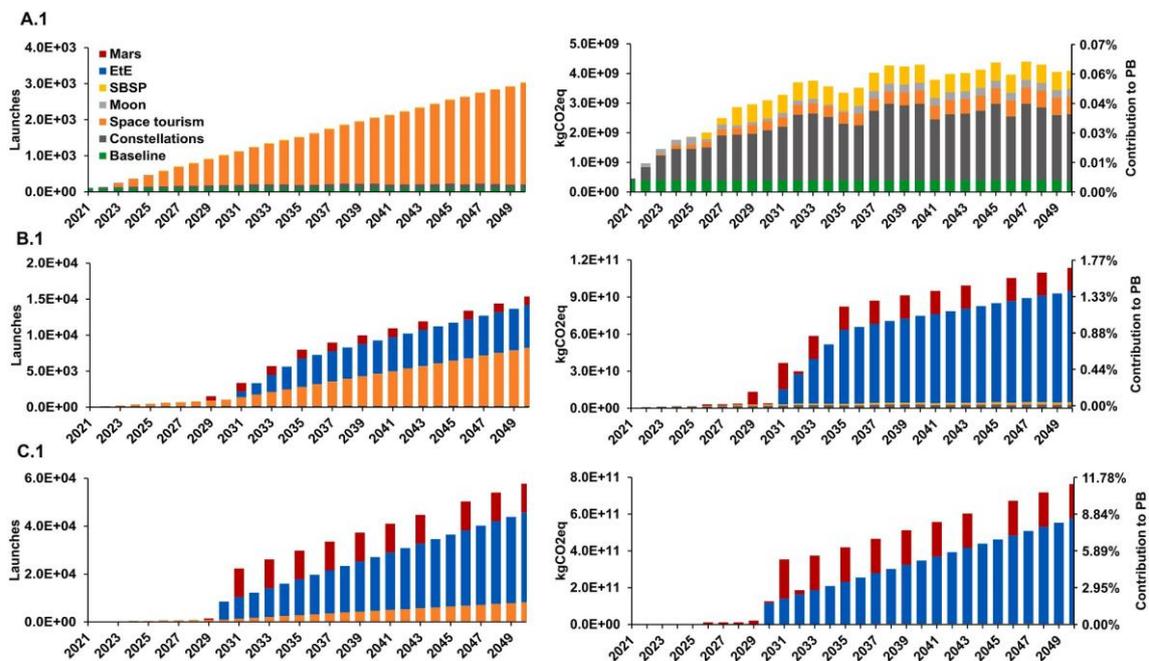


Figura 8. Evoluzione dei tassi di lancio e impatti sui cambiamenti climatici (A.1, B.1, C.1): (A) Scenario di bassa crescita; (B) scenario di crescita moderata; (C) scenario di crescita elevata. (Fonte: Miraux L., Wilson A.R., Dominguez Calabuig G.J., (2022))

Le orbite terrestri si stanno affollando rapidamente (fenomeno che prende il nome di **Space Traffic Management**), con una conseguente diffusione di **detriti spaziali** e **satelliti non funzionanti** (Figura 9). Infatti, le stime indicano che più di **un milione di detriti** grandi almeno 1cm² stanno, attualmente, orbitando attorno alla Terra (Quotidiano Nazionale,

2024). Questa situazione può comportare molte problematiche come, ad esempio, le **collisioni tra satelliti e la gestione dei detriti spaziali**.



Figura 9. Detriti Spaziali generati dalla distruzione di un Satellite orbitanti intorno alla Terra (Fonte: Fotia F., (2024))

L'aumento dei detriti spaziali costituisce uno dei più importanti problemi affrontati dalle agenzie governative a livello internazionale. Il fenomeno della **riduzione dei detriti**, insieme alla **riduzione delle emissioni** in fase di lancio e allo sviluppo di **tecnologie eco-sostenibili**, costituiscono gli aspetti principali considerati dalle imprese in fase di progettazione e costruzione delle tecnologie spaziali al fine di mantenere l'ambiente il più sostenibile possibile. Per affrontare la problematica legata alla gestione dei detriti spaziali, attualmente, si stanno mettendo in atto numerosi studi e tecnologie per consentire il monitoraggio e la rimozione di tali detriti.

Il problema dei detriti si fa ancora più grande se si considera che, prima o poi, a causa dell'attrazione gravitazionale, questi frammenti potrebbero **precipitare sul pianeta**, rischiando di causare danni. Per affrontare questa sfida, le autorità governative hanno adottato misure per **monitorare la caduta** di questi oggetti, facendoli precipitare in mezzo agli **oceani**, al fine di ridurre al minimo i potenziali danni sulla Terra. Tuttavia, questo comporta ad un aumento dell'inquinamento degli oceani, trasformandoli in una sorta di **discarica spaziale**. Inoltre, si sta prendendo in considerazione la possibilità di smaltire la **Stazione Spaziale Internazionale** seguendo questa procedura nei prossimi

anni; evento già avvenuto qualche anno fa, quando è stata fatta rientrare nell'atmosfera la **Stazione Spaziale Russa Mir** sopra il "**Point Nemo**" nel 2001.

Le agenzie spaziali internazionali, come la **NASA** e l'**ESA**, stanno sviluppando strategie avanzate per affrontare i rischi derivanti dai detriti spaziali. Queste strategie includono il potenziamento delle tecnologie di monitoraggio per tracciare i detriti, l'attuazione di rigorose linee guida per la gestione della fine vita dei satelliti e lo sviluppo di missioni per la rimozione attiva dei detriti. Ad esempio, il programma **Active Debris Removal (ADR)** della NASA mira a sviluppare veicoli in grado di agganciare e rimuovere i detriti spaziali.

Oltre alla gestione dei detriti spaziali, la sostenibilità nello spazio implica l'utilizzo di **tecnologie ecocompatibili** e l'attuazione di pratiche volte a minimizzare l'impatto ambientale delle missioni spaziali. Iniziative attuali si concentrano sull'impiego di **materiali riciclabili** e sull'adozione di **fonti di energia rinnovabile**, come quella solare. Inoltre, la ricerca sulla **chiusura del ciclo di vita** dei materiali, inclusi il riciclo dei rifiuti e la produzione di risorse in situ, sta progredendo. Queste tecnologie non solo contribuiscono alla riduzione dei rifiuti, ma possono anche sostenere missioni a lungo termine, come quelle dedicate all'esplorazione di Marte.

2.1.4. Implicazioni e Prospettive Future

Per far fronte al grande problema della sostenibilità ambientale nella Space Economy è necessario l'intervento di tutti gli attori coinvolti in modo univoco al fine di portare gli sforzi a delle soluzioni concrete. Una svolta concreta è stato l'**Accordo di Parigi sul cambiamento climatico** che impegna le nazioni di tutto il mondo a combattere il cambiamento climatico.

La cooperazione internazionale è essenziale per affrontare le sfide della sostenibilità spaziale. L'**Ufficio delle Nazioni Unite per gli Affari dello Spazio Extra-atmosferico (UNOOSA)** sta promuovendo linee guida e best practice per l'uso sostenibile dello spazio, incoraggiando le nazioni a collaborare nella gestione dei detriti e nella protezione dell'ambiente spaziale. Questa sfida multidimensionale richiede tecnologie innovative,

politiche rigorose e collaborazione internazionale per garantire che lo spazio rimanga sicuro e accessibile per le future generazioni di esploratori.

La **condivisione transfrontaliera delle informazioni** tra scienziati della Terra e dello spazio è fondamentale per il successo dei programmi spaziali, necessitando della partecipazione ampia di stakeholder globali. Tuttavia, gli investimenti privati sono limitati dalla mancanza di un regime legale definito per i diritti di proprietà nello spazio, ostacolando il potenziale di crescita dell'esplorazione spaziale.

La sostenibilità spaziale implica **minimizzare l'inquinamento** e migliorare il benessere terrestre tramite progressi tecnologici, ma i budget limitati degli attori spaziali spesso trascurano questi obiettivi. La privatizzazione dello spazio è essenziale per la sostenibilità finanziaria delle esplorazioni spaziali, ma richiede un **quadro legale internazionale** chiaro per gestire le rivendicazioni di proprietà e promuovere l'uso economico dello spazio.

In conclusione, per migliorare la sostenibilità spaziale è necessario un approccio integrato che consideri le implicazioni ambientali e sociali delle attività spaziali, rafforzando la cooperazione internazionale e adeguando i trattati esistenti per sostenere l'esplorazione e la gestione responsabile dello spazio.

2.2. Project Management nei Progetti Spaziali

Nel campo del **Project Management spaziale**, l'adozione delle migliori pratiche di gestione dei progetti è fondamentale per affrontare le sfide uniche e complesse che caratterizzano le missioni nello spazio. Questo approccio richiede una gestione sistematica e disciplinata che integri tecniche avanzate di **pianificazione, controllo e monitoraggio**. È essenziale garantire che i progetti spaziali siano completati entro i **tempi** previsti, rispettando il **budget** e mantenendo elevati standard di **qualità**.

Le sfide uniche che i project manager devono affrontare includono l'incertezza sulla portata complessiva del progetto e la mancanza di esperienza nel gestire progetti di questa complessità. Queste sfide sono particolarmente evidenti nella fase di definizione dei requisiti di sistema e nella gestione dei carichi utili necessari per le missioni spaziali.

La sostenibilità è un aspetto centrale nella gestione dei progetti spaziali, coinvolgendo strategie per ridurre l'impatto ambientale e promuovere l'efficienza nelle risorse utilizzate. L'uso di **materiali riciclabili**, l'adozione di **tecnologie verdi** e la pianificazione per la **riduzione dei rifiuti** sono strategie fondamentali per migliorare l'efficienza complessiva delle missioni spaziali.

Metodologie come il metodo **Waterfall, Agile e Scrum** vengono utilizzate per gestire le diverse fasi dei progetti spaziali, adattandosi alle specifiche esigenze di progettazione, sviluppo hardware e software. L'uso di strumenti come il **diagramma di Gantt** e tecniche avanzate di gestione del rischio come **SWOT e FMEA** sono fondamentali per identificare e mitigare i rischi durante l'implementazione di missioni spaziali complesse.

Un esempio notevole di successo nel Project Management spaziale è rappresentato dal **programma Artemis** della NASA, che mira a riportare l'uomo sulla Luna entro il prossimo decennio. Questo programma integra metodologie tradizionali e agili per gestire le varie componenti del progetto, garantendo una rigorosa pianificazione, gestione del rischio e coordinazione tra i partner internazionali.

Nonostante i progressi, la ricerca sulla sostenibilità nel Project Management spaziale rimane limitata, con pochi studi che esplorano come le pratiche di gestione possano

ottimizzare l'impatto ambientale delle missioni spaziali. Un maggiore focus su questo aspetto potrebbe migliorare significativamente l'efficacia complessiva dei progetti spaziali per le generazioni future.

2.2.1. Collaborazione tra Agenzia e Università

Le collaborazioni tra agenzie spaziali e università sono fondamentali per l'avanzamento della ricerca e dello sviluppo tecnologico nel settore spaziale. Queste **partnership** permettono di combinare risorse, competenze e infrastrutture per affrontare sfide complesse e promuovere l'innovazione. Agenzie come NASA ed ESA lavorano regolarmente con università per sviluppare nuove tecnologie, condurre ricerche pionieristiche e formare la prossima generazione di scienziati e ingegneri.

Un modello comune di collaborazione è rappresentato dai **consorzi di ricerca**, dove le agenzie spaziali e le università collaborano su progetti specifici. Ad esempio, il **NASA University Leadership Initiative (ULI)** finanzia progetti di ricerca collaborativi tra NASA e diverse università, mirati allo sviluppo di tecnologie avanzate per l'aviazione e l'esplorazione spaziale.

Queste partnership offrono numerosi benefici. Consentono alle università di accedere a risorse finanziarie e tecniche altrimenti inaccessibili e offrono agli studenti e ai ricercatori l'opportunità di lavorare su progetti reali, acquisendo esperienza pratica in un ambiente di ricerca avanzato. Questo non solo migliora la formazione degli studenti, ma contribuisce anche a creare una forza lavoro altamente qualificata, pronta per affrontare le sfide del settore spaziale.

Numerosi progetti di successo sono nati da queste collaborazioni. Un esempio significativo è il **progetto CubeSat**, un'iniziativa internazionale che coinvolge molte università e agenzie spaziali. I CubeSat sono piccoli satelliti costruiti con componenti commerciali a basso costo, progettati e sviluppati da studenti universitari sotto la supervisione di esperti. Questo progetto ha contribuito alla formazione pratica degli studenti e ha permesso il lancio di numerosi satelliti per scopi scientifici e tecnologici.

Un altro esempio emblematico è la collaborazione tra NASA e il **Jet Propulsion Laboratory (JPL)** del *California Institute of Technology (Caltech)*. Questa partnership ha portato allo sviluppo di missioni rivoluzionarie come **Mars Rover** e **Voyager**, combinando le risorse e le competenze delle due istituzioni per affrontare le sfide dell'esplorazione spaziale.

Nonostante i successi, permangono barriere significative alla collaborazione efficace. La letteratura ha identificato problemi come la mancanza di coordinamento, la disparità di risorse e le difficoltà nel trasferimento delle tecnologie dal laboratorio al campo operativo. Inoltre, mancano studi che quantifichino l'impatto complessivo di queste collaborazioni sulla sostenibilità dei progetti spaziali, rappresentando un'area di ricerca potenzialmente fruttuosa.

2.3. Il Ruolo della NASA

La **NASA**, l'agenzia spaziale statunitense, è uno degli attori più influenti e innovativi nel campo dell'esplorazione spaziale. Sin dalla sua fondazione nel **1958**, ha guidato alcune delle missioni più iconiche e rivoluzionarie nella storia dell'umanità, contribuendo significativamente all'avanzamento scientifico e tecnologico. Il ruolo della NASA nella space economy è fondamentale non solo per gli Stati Uniti, ma per l'intera comunità internazionale, grazie alle sue numerose collaborazioni e partnership globali.

La NASA è rinomata per la sua abilità nella gestione di complessi sistemi spaziali e aeronautici, con successi notevoli come il **programma Apollo**. Negli anni '70, affrontò la sfida di ridurre i costi delle missioni spaziali e migliorare la gestione dei progetti. Nel 1975, furono organizzati seminari per identificare i fattori che influenzavano i costi e per creare una memoria aziendale delle lezioni apprese. Nel 1976, fu lanciato il **Project Management Shared Experience Program (PMSEP)**, il primo programma di formazione a livello di agenzia per i project manager della NASA. Anche se inizialmente sospeso nel 1980, il programma fu ripreso nel 1984 per rispondere alla crescente domanda di formazione.

Dopo l'**incidente del Challenger**, un rapporto raccomandò la ripresa dei programmi formali di formazione per i Program e i Project manager. La NASA sviluppò quindi un piano dettagliato per soddisfare le esigenze di formazione, coinvolgendo esperti interni ed esterni e conducendo studi di fattibilità. Il risultato fu il lancio **dell'Iniziativa per la Gestione di Programmi/Progetti (PPMI)**, che creò vari programmi di formazione e risorse didattiche, inclusi corsi su *Project Management*, *Advanced Project Management* e *Systems Engineering*, nonché un centro di conoscenza aziendale e studi di ricerca e consulenza (*Figura 10*).

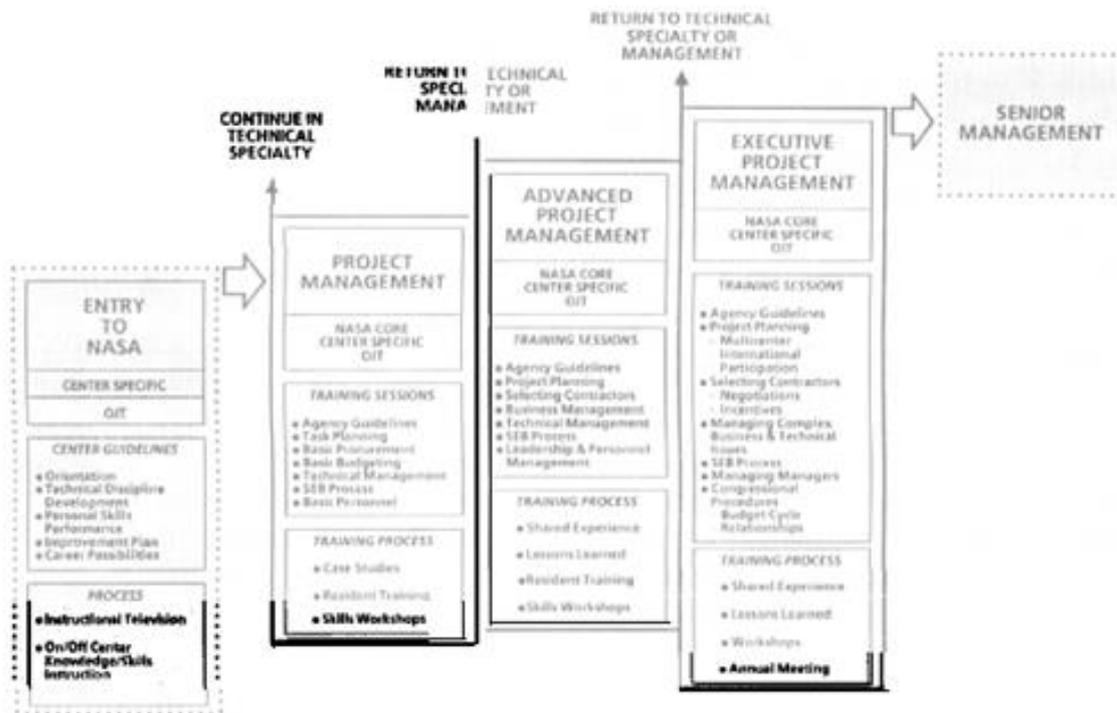


Figura 10. Modello NASA per lo sviluppo e la formazione del personale di Project Management (Fonte: Hoban F. T., Hoffman E. J., (1992))

Il **piano strategico della NASA** è un documento aggiornato periodicamente per riflettere gli obiettivi e le priorità dell'agenzia. Questi includono il mantenimento di una leadership globale nella sostenibilità spaziale, il supporto per un accesso equo allo spazio e l'ottimizzazione delle missioni e delle operazioni per promuovere la sostenibilità. Recentemente, la NASA ha introdotto la prima parte della sua strategia per la sostenibilità spaziale, segnando un passo importante nel rafforzare i suoi sforzi per proteggere l'ambiente spaziale. **Pam Melroy**, vicedirettrice della NASA, ha sottolineato l'importanza critica di questa iniziativa, evidenziando il crescente problema della congestione nello spazio e la necessità di preservare le aree chiave per il beneficio dell'umanità.

Storicamente, la NASA è stata in prima linea nello sviluppo e nell'implementazione di pratiche spaziali sostenibili. L'influenza dell'agenzia si estende a livello globale, con le sue migliori pratiche, strumenti analitici e tecnologie che diventano standard tra gli operatori spaziali di tutto il mondo. La nuova strategia mira a unificare questi sforzi in tutta la NASA, garantendo una risposta mirata alle sfide più critiche in materia di sostenibilità. Come parte di questo riallineamento strategico, la NASA creerà un nuovo ruolo direttivo specifico per la sostenibilità spaziale, coordinando le attività dell'intera agenzia.

La strategia di sostenibilità spaziale della NASA si focalizza su:

1. **Sviluppo di un quadro di riferimento** per valutare la sostenibilità spaziale, identificando metriche e modelli necessari.
2. **Riduzione delle incertezze** sui detriti orbitali e sulle operazioni spaziali per minimizzare i rischi.
3. **Sviluppo e trasferimento di tecnologia** per ridurre le barriere alla sostenibilità spaziale.
4. **Aggiornamento delle politiche** per fornire incentivi alla sostenibilità.
5. **Miglioramento del coordinamento e della collaborazione** con partner esterni, sia a livello nazionale che internazionale.
6. **Rafforzamento dell'organizzazione interna** per supportare la sostenibilità spaziale.

La NASA continuerà a fornire leadership scientifica e tecnologica, sostenere l'accesso equo allo spazio e garantire che le sue operazioni siano sostenibili. Ha identificato sfide chiave, come la mancanza di un quadro unico per la sostenibilità, l'insufficienza di metriche e modelli attuali, e la necessità di una risposta coordinata e multilaterale. Inoltre, è impegnata a sviluppare strategie e obiettivi specifici per affrontare queste sfide e promuovere un ambiente spaziale sostenibile a lungo termine.

2.3.1. Iniziative della NASA

Come detto in precedenza, uno dei progetti chiave della NASA è il **programma Artemis**, che ha l'obiettivo di riportare gli esseri umani sulla Luna entro la metà di questo decennio e di stabilire una presenza sostenibile. Questo programma rappresenta non solo un ritorno all'esplorazione umana della Luna, ma anche un trampolino di lancio per future missioni su Marte. Artemis prevede la costruzione del **Lunar Gateway**, una stazione spaziale orbitante attorno alla Luna, che servirà come piattaforma per missioni di esplorazione e ricerca scientifica. La realizzazione di Artemis coinvolge una complessa rete di collaborazioni internazionali e partnership con il settore privato, dimostrando l'importanza della cooperazione globale nell'esplorazione spaziale.

Un altro progetto emblematico della NASA è il **Mars Rover Program**, che ha portato all'atterraggio di veicoli robotici avanzati come **Curiosity** e **Perseverance** sulla superficie di Marte. Questi rover esplorano il pianeta rosso in cerca di segni di vita passata e raccolgono dati preziosi sulla geologia e sull'atmosfera marziana. Il successo di queste missioni non solo ha ampliato le conoscenze di Marte, ma ha anche testato nuove tecnologie che saranno molto importanti per le future missioni con equipaggio umano.

La NASA è anche in prima linea nello sviluppo di nuove tecnologie spaziali attraverso progetti come il **James Webb Space Telescope (JWST)**. Questo telescopio spaziale di nuova generazione è progettato per osservare l'universo con una precisione senza precedenti, permettendo di studiare la formazione delle stelle e delle galassie, nonché la caratterizzazione di esopianeti potenzialmente abitabili. Il JWST è frutto di una collaborazione internazionale tra la NASA, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e l'Agenzia Spaziale Canadese (CSA), evidenziando ancora una volta l'importanza delle partnership globali.

Oltre ai suoi progetti di esplorazione, la NASA contribuisce in modo significativo alla gestione dei detriti spaziali. Attraverso il programma **Orbital Debris Program Office**, la NASA monitora e analizza i detriti spaziali in orbita terrestre per mitigare i rischi associati alle collisioni con satelliti operativi e stazioni spaziali. Questo lavoro è fondamentale per garantire che lo spazio rimanga un ambiente sicuro per il futuro.

2.4. Importanza dei Dati dei Progetti Spaziali

La NASA ha avviato numerosi progetti mirati alla sostenibilità, come la riduzione dei detriti spaziali e lo sviluppo di tecnologie eco-compatibili. I **dati raccolti** da questi progetti forniscono un'opportunità unica per analizzare le pratiche di sostenibilità e identificare aree di miglioramento. Per affrontare le sfide della sostenibilità nella space economy, è essenziale comprendere meglio i progetti e le pratiche attuate dalle principali agenzie spaziali, come la NASA. Questi progetti rappresentano passi significativi verso una space economy più sostenibile, ma richiedono una valutazione continua per misurarne l'efficacia e l'impatto a lungo termine.

I dati raccolti dalla NASA sono fondamentali per la ricerca sulla sostenibilità nella space economy. La disponibilità di questi dati offre l'opportunità di condurre **studi empirici** che possano identificare le pratiche di sostenibilità più efficaci e fornire raccomandazioni basate su evidenze per futuri progetti spaziali. Nonostante i progressi fatti, esistono ancora importanti **gap di conoscenza** nella letteratura sulla sostenibilità dei progetti spaziali. La maggior parte delle ricerche attuali si basa su studi qualitativi o modelli teorici, mentre mancano studi empirici e quantitativi che analizzino i dati reali provenienti dai progetti spaziali. In particolare, ci sono poche analisi che valutino l'efficacia delle pratiche di sostenibilità implementate e l'impatto complessivo di queste iniziative sull'ambiente.

Colmare questi gap di conoscenza è essenziale per il futuro della space economy e per la sostenibilità ambientale. Questo elaborato, focalizzato sui **progetti sostenibili della NASA**, contribuirà a questa area di studio fornendo un'**analisi quantitativa** basata su **dati empirici**. Questo non solo aiuterà a comprendere meglio l'efficacia delle pratiche di sostenibilità attuali, ma fornirà anche raccomandazioni pratiche per migliorare la gestione dei progetti spaziali e promuovere l'innovazione sostenibile.

La scelta di focalizzarsi sulla NASA è motivata dal ruolo centrale che l'agenzia svolge nella space economy globale. La NASA è riconosciuta come leader nell'innovazione spaziale e ha una lunga storia di progetti. Analizzare i suoi progetti sostenibili offre un'opportunità unica per studiare le migliori pratiche e le tecnologie più avanzate nel campo della sostenibilità spaziale.

2.5. Obiettivi della Ricerca

La presente tesi si propone di esplorare diversi **obiettivi** riguardanti lo sviluppo futuro della space economy focalizzandosi sulla sostenibilità ambientale. Uno dei principali scopi è approfondire l'analisi dei progetti della NASA per identificare le caratteristiche chiave che influenzano la sostenibilità spaziale in termini quantitativi. Si investiga il contributo di tali progetti alla sostenibilità e le dinamiche che ne influenzano l'impatto.

Un obiettivo fondamentale è valutare l'evoluzione dell'importanza della sostenibilità nei progetti della NASA nel **tempo**, esaminando il numero di progetti sviluppati e le tecnologie impiegate per affrontare le sfide ambientali.

Inoltre, si esplorano le dinamiche di Project Management adottate dalla NASA per testare e sviluppare nuove tecnologie, analizzando come tali pratiche influenzino i **livelli di maturità tecnologica** dei progetti.

Un ulteriore obiettivo è l'esame dei fattori che influenzano la scelta delle **destinazioni** per i progetti NASA, come la Luna e Marte, e la valutazione del loro potenziale in termini di risorse, oltre a considerare come missioni interconnesse tra diverse destinazioni possano facilitare il trasferimento di tecnologie e conoscenze.

Infine, si analizza il ruolo delle diverse **organizzazioni** nei progetti della NASA, con un'attenzione particolare al crescente coinvolgimento delle università e al loro contributo alla ricerca e all'innovazione nel contesto spaziale. Si esplora come le collaborazioni tra la NASA e le università abbiano influenzato lo sviluppo di tecnologie sostenibili e pratiche innovative.

Per rispondere a questi obiettivi di ricerca, è stato costruito un database basato sui dati dei progetti NASA, il quale è stato analizzato per condurre un'analisi quantitativa dell'efficacia delle pratiche di sostenibilità.

3. METODO DI RICERCA DATI NASA

Il presente capitolo ha lo scopo di illustrare la **metodologia** impiegata per la **ricerca** e la **raccolta dei dati** utilizzati per creare il database. Questo è stato creato a partire da una raccolta di progetti pubblicati e documentati dalla NASA, con particolare attenzione ai temi legati alla **sostenibilità spaziale**. I dati sono stati estratti da questi progetti per rispondere agli obiettivi di ricerca discussi nel capitolo precedente, al fine di esplorare le dinamiche spaziali legate alla sostenibilità.

Inizialmente, sarà descritta la **metodologia di ricerca** e **di raccolta dei dati** utilizzati per l'analisi, al fine di presentare una chiara comprensione del processo di creazione del database analizzato. Nei paragrafi che seguono, si discutono le fonti dei dati, il contenuto informativo di tali dati e la loro importanza per lo studio, nonché le modalità di creazione del database. Successivamente, nel prossimo capitolo, saranno esposti **i risultati dell'analisi dei dati** raccolti.

3.1. *Raccolta Dati Campione*

I dati utilizzati sono derivati dai progetti disponibili sulla piattaforma online **NASA TechPort**, la quale fornisce un accesso pubblico alle iniziative e alle tecnologie sviluppate dall'agenzia spaziale statunitense. Questi progetti rivestono un ruolo molto importante nel modellare il futuro dell'economia spaziale, assicurando che lo spazio rimanga un ambiente sicuro, accessibile e sostenibile. L'attenzione è rivolta sulla **valutazione delle prospettive future dei progetti di sostenibilità spaziale**. Il periodo temporale considerato si estende dal 2001 al 2023.

Su *NASA TechPort* sono catalogati oltre 18.400 progetti NASA, ciascuno accompagnato da una descrizione dettagliata e da una vasta gamma di dati pertinenti. Per concentrare la ricerca sui progetti legati alla sostenibilità ambientale nella Space Economy, il database è stato filtrato utilizzando il termine "**Sustainability**". Questo ha ridotto il numero di progetti in esame a circa 800. Da questo insieme, è stato estratto un campione casuale di **418 progetti**, dai quali sono stati raccolti i dati necessari per l'analisi.

3.2. *Costruzione Database*

Il campione è stato rappresentato in formato **Excel**, dove saranno eseguite anche le analisi successive. Ogni riga del documento rappresenta un progetto diverso, mentre le colonne contengono una serie gamma di informazioni dettagliate. Queste comprendono i dati personali e i contatti del principal investigator, il titolo e l'URL del progetto, le date di inizio e fine del progetto, le aree tecnologiche coinvolte, le organizzazioni leader e di supporto, il numero di partner, i livelli di maturità tecnologica (TRL) e la destinazione del progetto.

Di seguito sono elencati i campi correlati a ciascuna colonna:

- **Principal Investigator:** le prime due colonne si riferiscono ai dati anagrafici (nome e cognome) del principal investigator, ovvero, il responsabile principale di ogni progetto che svolge un ruolo chiave nell'organizzazione, nel coordinamento e nella supervisione del lavoro;
- **E-mail:** in questa colonna è inserita l'e-mail personale, aziendale o universitaria del principal investigator in questione;
- **Company e-mail:** nel caso in cui non fosse disponibile il contatto e-mail personale, è stata ricercata l'e-mail dell'azienda rappresentata dal principal investigator;
- **Linkedin:** oltre all'indirizzo e-mail, è stato inserito, qualora presente, il profilo LinkedIn del principal investigator;
- **Titolo del progetto:** ogni riga del dataset corrisponde a un progetto e include un titolo identificativo per ciascuno, facilitando il riferimento e l'individuazione specifica dei singoli progetti;
- **URL progetto:** rappresenta il collegamento diretto al progetto NASA specifico al quale si fa riferimento;
- **Data Inizio/Fine Progetto:** sono due colonne che indicano rispettivamente le date di inizio e di fine del progetto. È da notare che nel caso in cui il progetto sia ancora in corso, la data di fine può rappresentare una previsione futura;
- **Area Tecnologica:** indica l'area di competenza al quale il progetto è collegato, con particolare riferimento all'area principale di interesse;

- **Lead Organization:** centro NASA, azienda, università o centro di ricerca a capo del progetto, queste sono disposte in quattro colonne in base al tipo di organizzazione di appartenenza;
- **Supporting Organization:** centro NASA, azienda, università o centro di ricerca che fornisce assistenza, risorse o competenze a sostegno della Lead Organization, anche queste disposte in quattro colonne in base all'organizzazione;
- **Numero di Partner:** rappresenta il conteggio delle organizzazioni di supporto che collaborano con l'organizzazione principale (esclusa) nello sviluppo del progetto;
- **Technology Readiness Level (TRL):** indica il grado di maturità e prontezza della tecnologia, variando da TRL 1: Ricerca Concettuale a TRL 9: Tecnologia Pronta per l'Uso. Questo è suddiviso in tre colonne: Start, Current ed Estimated Ended, che rappresentano rispettivamente il TRL di avvio, il TRL attuale e il TRL stimato al termine del progetto;
- **Target Destination:** si riferisce al luogo e/o all'obiettivo finale che il progetto mira a raggiungere. I principali sono specificati in quattro colonne: *“Earth”*, *“Moon and Cislunar”*, *“Mars”*, *“Others Inside the Solar System”*;
- **Target Destination (Quantità):** rappresenta il numero di Target Destination a cui il progetto fa riferimento (da 0 a 4);

Molti di questi dati erano già disponibili sul sito NASA TechPort, come la data del progetto e i target destination. Altri dati sono stati aggiunti solo se presenti, mentre altri ancora sono stati ricercati specificamente, come i contatti del principal investigator.

3.3. Introduzione all'Analisi

Dopo aver completato la costruzione del database, si è passati alla sua analisi. Quest'ultima sarà incentrata su determinate colonne del dataset, in particolare: data di inizio/fine, area tecnologica, Lead e Supporting Organization, TRL e destinazione target. L'obiettivo è analizzare gli **andamenti**, le **relazioni** e gli **incroci** tra questi parametri.

Il database presenta alcune **limitazioni** dovute alla mancanza di dati in alcuni progetti. Come precedentemente indicato, tutti i progetti presentano informazioni riguardanti la data di inizio/fine e le destinazioni target. Tuttavia, per quanto riguarda le organizzazioni, il dato è presente in **414** dei 418 progetti (costituendo il **99%** dei progetti). Per le aree tecnologiche, i dati sono disponibili in **381** progetti, rappresentando il **91,15%** del totale. Inoltre, per i livelli di maturità tecnologica (TRL), le informazioni per tutte le colonne sono presenti in **306** progetti, corrispondenti al **73,21%** del totale. Pertanto, alcune analisi future potrebbero essere limitate dalla mancanza di questi dati.

4. ANALISI PROGETTI NASA

Il presente capitolo ha lo scopo di descrivere le **analisi** effettuate sui dati raccolti nel database, come descritto nel capitolo precedente, al fine di rispondere agli obiettivi di ricerca. L'obiettivo principale è esaminare in profondità i dati contenuti nel database per identificare trend, pattern e relazioni significative tra le varie variabili analizzate, e fornire una migliore comprensione del panorama dei **progetti NASA** nell'ambito dell'economia spaziale sostenibile.

Di seguito, una sintesi degli obiettivi specifici delle analisi:

1. Identificare i **trend temporali** nei progetti NASA, evidenziando periodi di maggiore attività e tendenze emergenti nel settore spaziale sostenibile.
2. Valutare l'efficacia dei progetti, analizzando le **durate** per valutare l'efficienza e identificare eventuali trend e tempi di completamento ottimali.
3. Esplorare le **destinazioni target** dei progetti per comprendere meglio gli obiettivi della NASA nell'economia spaziale sostenibile.
4. Esaminare le **aree tecnologiche** dei progetti NASA per comprendere lo stato dell'arte e l'evoluzione delle tecnologie sostenibili nel settore spaziale.
5. Valutare il **livello di maturità tecnologica**, focalizzandosi sull'avanzamento delle tecnologie sostenibili nei progetti NASA.
6. Analizzare le **organizzazioni** coinvolte per comprendere le dinamiche delle partnership e identificare i principali attori nel promuovere l'innovazione nel settore spaziale.

4.1. Analisi Temporale dei Progetti NASA

L'analisi ha inizio con uno studio completo sulle **date di inizio e di fine dei progetti**, approfondendo i **mesi** e le **durate** associate. Successivamente, si esaminerà la relazione tra il **numero di partner** coinvolti nei progetti e la **durata media** in mesi di tali progetti. In questo primo grafico (*Figura 11*) si può osservare l'andamento del **numero di progetti per anno di inizio** a partire dal 2001 fino al 2023.

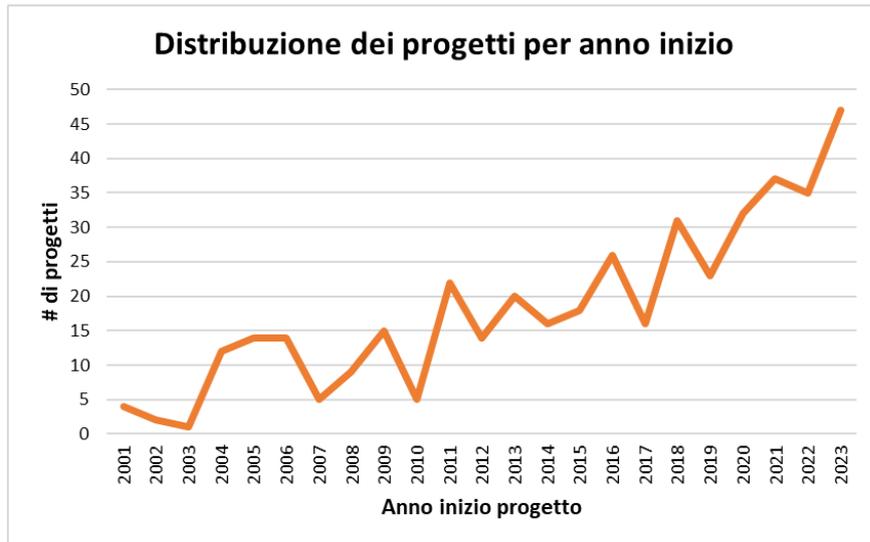


Figura 11. Distribuzione dei Progetti per Anno Inizio

È evidente che nel corso degli anni il numero di progetti avviati è in costante aumento. Questo trend riflette i notevoli progressi tecnologici che si sono verificati nel tempo, che hanno portato ad un incremento degli investimenti nel settore a partire dagli anni 2000.

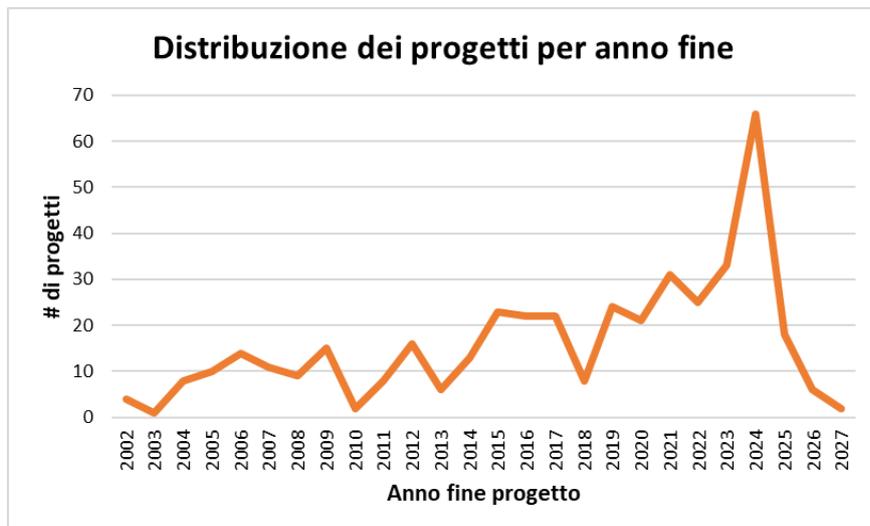


Figura 12. Distribuzione dei Progetti per Anno Fine

Si analizza anche il **numero di progetti per anno di fine** (*Figura 12*), dove anche qui è presente un trend ascendente. La differenza di linearità tra anno inizio e anno fine potrebbe essere attribuita al fatto che l'analisi dei dati si interrompe nel 2023, e quindi molti progetti, che concluderanno negli anni successivi, devono ancora essere avviati; pertanto, ci si aspetta un ulteriore aumento negli anni a venire. È interessante notare un picco nel 2024, molto probabilmente causato da eventi significativi nel settore come sviluppi tecnologici e pressioni normative esterne. In generale, si può dimostrare, dal crescente numero di progetti, come il tema legato alla sostenibilità sta acquisendo maggiore importanza e che negli anni si stanno adottando sempre più iniziative spaziali volte a risolvere i problemi ambientali.

Per approfondire l'analisi delle date, sono stati esaminati i **mesi** in cui vengono avviati e terminati i progetti. Emerge che Gennaio, Ottobre e Agosto sono i mesi in cui iniziano la maggior parte dei progetti, mentre Settembre e Luglio sono i mesi in cui terminano. Si può dedurre l'intento di mantenere una certa stagionalità e ciclicità nelle fasi di progettazione e avvio dei progetti.

L'analisi delle **durate** inizia con la creazione di **statistiche descrittive**, che si focalizzano principalmente su due aspetti principali: la **tendenza centrale** (o **posizione**), che indica la posizione predominante dei dati, e la **variazione** (o **dispersione**), che valuta quanto i dati si discostino dalla media. Le statistiche descrittive esaminate includono diverse misure relative alle durate dei progetti:

- **Moda**: rappresenta la durata temporale più frequente tra tutti i progetti considerati.
- **Mediana**: indica la durata temporale che si colloca esattamente nel mezzo dell'insieme delle durate dei progetti, quando ordinate in modo crescente o decrescente.
- **Primo quartile**: rappresenta il valore al di sotto del quale si colloca il 25% delle durate osservate dei progetti.
- **Terzo quartile**: rappresenta il valore al di sotto del quale si trova il 75% delle durate osservate dei progetti.

- **Media aritmetica:** ottenuta sommando tutte le durate dei progetti e dividendo per il numero totale di osservazioni.

Per quanto riguarda le misure di dispersione, sono state utilizzate le seguenti:

- **Varianza:** indica quanto le durate dei progetti si discostano dalla media aritmetica, misurando la distanza media dei dati dalla tendenza centrale.
- **Deviazione standard:** rappresenta la radice quadrata della varianza e fornisce una misura più intuitiva della dispersione dei dati rispetto alla media.

Queste misure di dispersione sono fondamentali per comprendere la variabilità delle durate dei progetti.

	DURATA PROGETTO (in gg)	DURATA PROGETTO (in mesi)	DURATA PROGETTO (in anni)
MEDIA	623	20,8	1,7
MODA	181	6,0	0,5
MIN	122	4,1	0,3
PRIMO QUARTILE	184	6,1	0,5
MEDIANA	365	12,2	1,0
TERZO QUARTILE	913	30,4	2,5
MAX	4719	157,3	13,1
DEV. ST.	530	17,7	1,5
VARIANZA	280577	311,8	2,2

Tabella 1. Statistiche Descrittive della Durata dei Progetti

Nella *Tabella 1*, le tre colonne sono suddivise in base alla durata espressa in giorni, mesi o anni. La **durata media** è di 623 giorni, equivalenti a circa **21 mesi** e quasi 2 anni; mentre il valore **moda** è di **6 mesi**, notevolmente inferiore alla media. Inoltre, osservando il **terzo quartile**, si nota che il 75% dei progetti ha una **durata inferiore o uguale a 2,5 anni**. Il progetto più breve ha una durata di soli 4 mesi, mentre il più lungo si estende per 13 anni. Tuttavia, quest'ultimo, insieme a un progetto di 8 anni, rappresentano due casi unici, poiché la restante parte dei progetti ha una durata inferiore ai 6 anni.

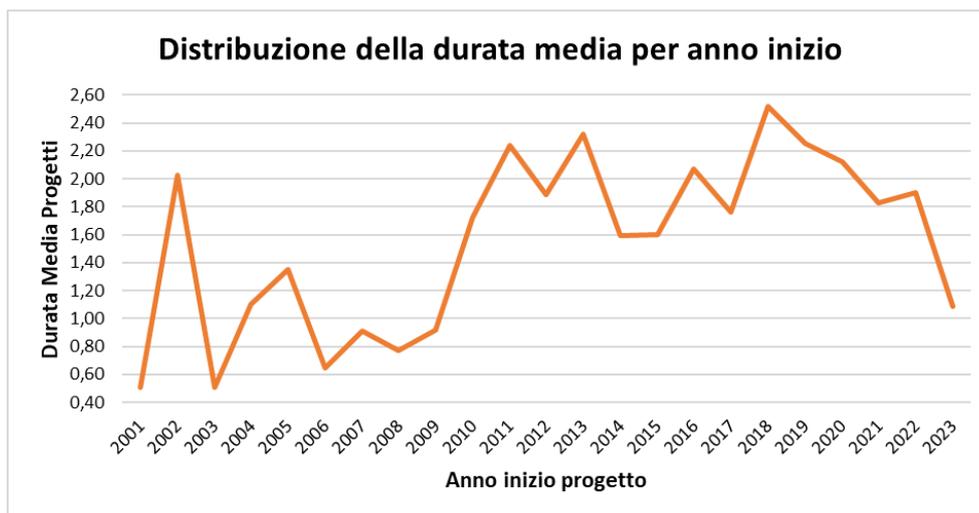


Figura 13. Distribuzione della Durata Media per Anno Inizio

La **durata media** negli anni mostra un aumento (Figura 13), suggerendo una possibile crescita nella complessità dei progetti e/o che vi siano sfide maggiori da affrontare. Tuttavia, questo aumento non è così significativo da consentire conclusioni immediate. Ogni progetto è un caso a sé e dipende da molteplici variabili che possono influenzarne la durata. Di conseguenza è difficile trarre conclusioni definitive su un aumento di efficienza o sull'adozione di nuove tecnologie che ne potrebbero accelerare lo sviluppo. Ad esempio, nel 2011 si osserva la presenza di un progetto **outlier** con una durata di addirittura 13 anni, tuttavia la durata media rimane sostanzialmente in linea con gli altri anni. Questo si verifica poiché vi sono numerosi progetti con durate comprese tra 1 e 2 anni, che abbassano significativamente la durata media complessiva.

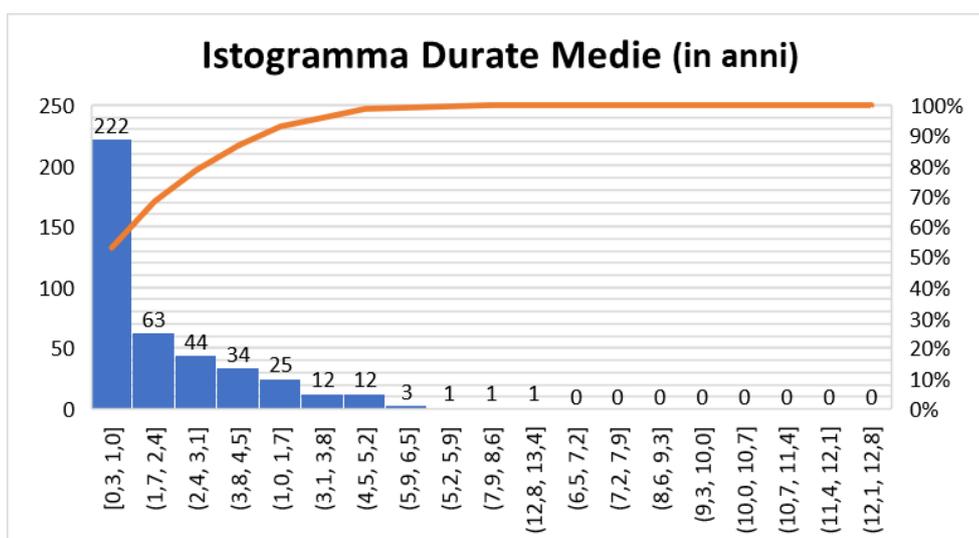


Figura 14. Rappresentazione delle Durate Medie dei Progetti in Anni

A conferma dell'ipotesi, l'istogramma in *Figura 14* mostra che in **222 progetti**, rappresentanti oltre il **53% dei progetti**, le durate si collocano tra **0,3 e 1 anno**. Questo fa sì che le durate medie rimangano basse e più o meno costanti nonostante la presenza di valori molto alti e/o outlier.

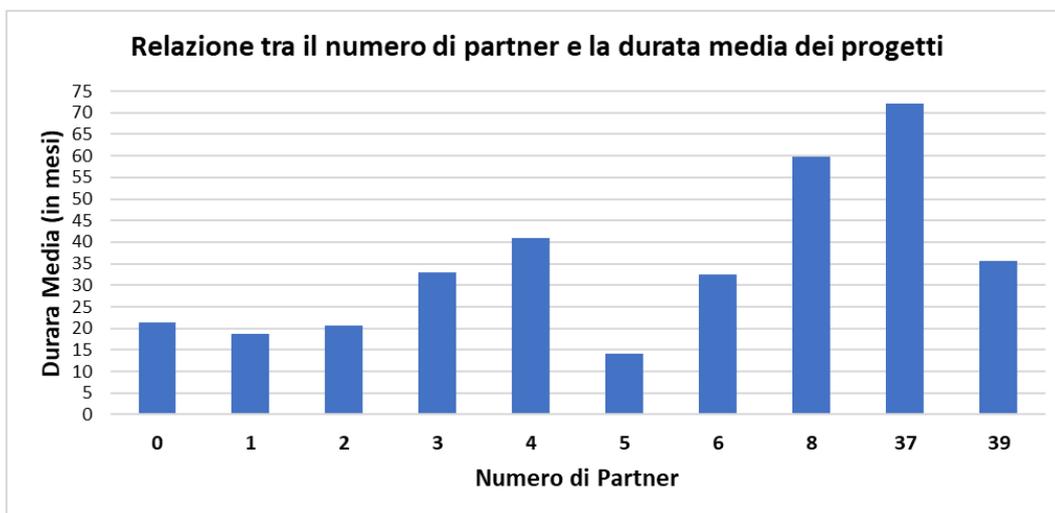


Figura 15. Relazione tra il numero di partner coinvolti nei progetti e la durata media in mesi di tali progetti

Per ogni progetto, è stato calcolato il **numero di partner** (Supporting Organization), e utilizzando questo dato sono state rappresentate graficamente le durate medie in mesi (*Figura 15*). L'analisi ha considerato i 414 progetti che contenevano le informazioni sulle organizzazioni, i quali rappresentano il 99% dei progetti totali. Circa il **63%** dei progetti presenta un solo partner, formando quindi una coppia Lead-Supporting che collabora insieme; mentre ben 68 progetti (**16%**) non hanno nessun partner. Un buon numero di progetti ha 2 partner, il **13%** dei progetti; si osservano inoltre due casi isolati con un numero insolitamente alto di partner, 37 e 39 (due progetti che rappresentano lo **0,5%**); infine il restante **7,5%** è caratterizzato da un numero di partner compreso tra 3 e 8.

Guardando il grafico, si nota un trend crescente che suggerisce un allungamento della durata media dei progetti all'aumentare del numero di organizzazioni partner. Tuttavia, questa interpretazione risulta molto azzardata dal momento che su 414 progetti, ben 386 (**circa 93,2%**) hanno da 0 a 2 partner, rendendo difficile trarre conclusioni affidabili.

4.2. Analisi dei Target Destination

Successivamente, l'analisi continua esaminando la distribuzione dei **Target Destination** all'interno dei progetti. Questi target rappresentano il **luogo** o l'**obiettivo finale** dei progetti, risultando particolarmente importanti quando si tratta di iniziative spaziali, poiché contribuiscono a definire il focus e lo scopo del progetto stesso.

Nel database sono identificati quattro tipi di destinazione: **“Earth”**, **“Moon and Cislunar”**, **“Mars”** e **“Others Inside the Solar System”** (in alcuni casi sono stati abbreviati rispettivamente in **“E”**, **“MC”**, **“MA”** e **“O”**). Si esamineranno le distribuzioni dei "Target Destination" nei progetti al fine di individuare quali destinazioni e/o combinazioni di esse risultino essere più ambite.

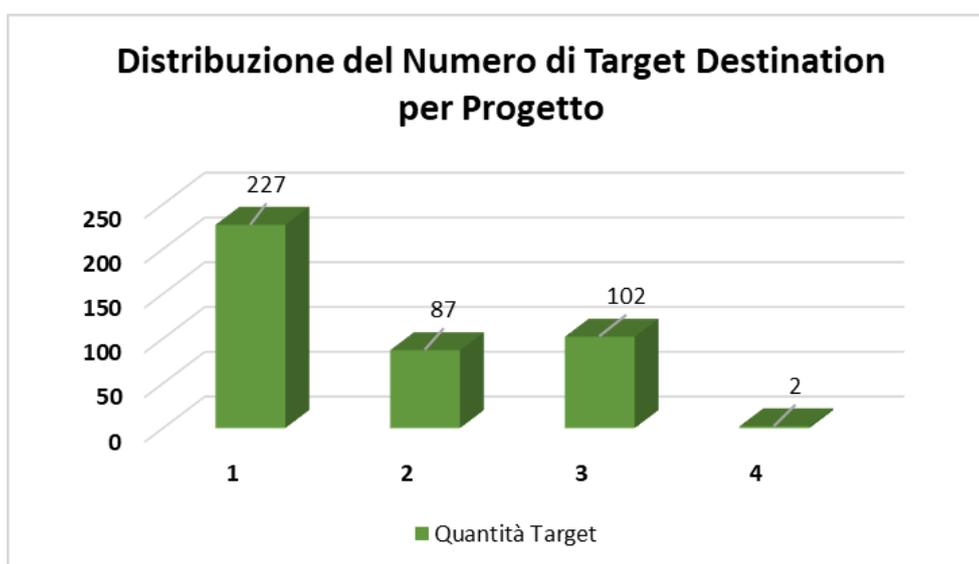


Figura 16. Distribuzione del Numero di Target Destination per Progetto

I target sono indipendenti l'uno dall'altro, tuttavia ciò non esclude la possibilità che due o più di essi possano essere inclusi nello stesso progetto. Infatti, come evidenziato nella *Figura 16*, si osserva il numero di progetti in cui è presente uno, due, tre o tutti e quattro i target. La maggioranza dei progetti (il **54,3%**) presenta **un solo target**, mentre la metà rimanente include **due o tre target**, con soli due casi in cui sono presenti **tutti e quattro**.

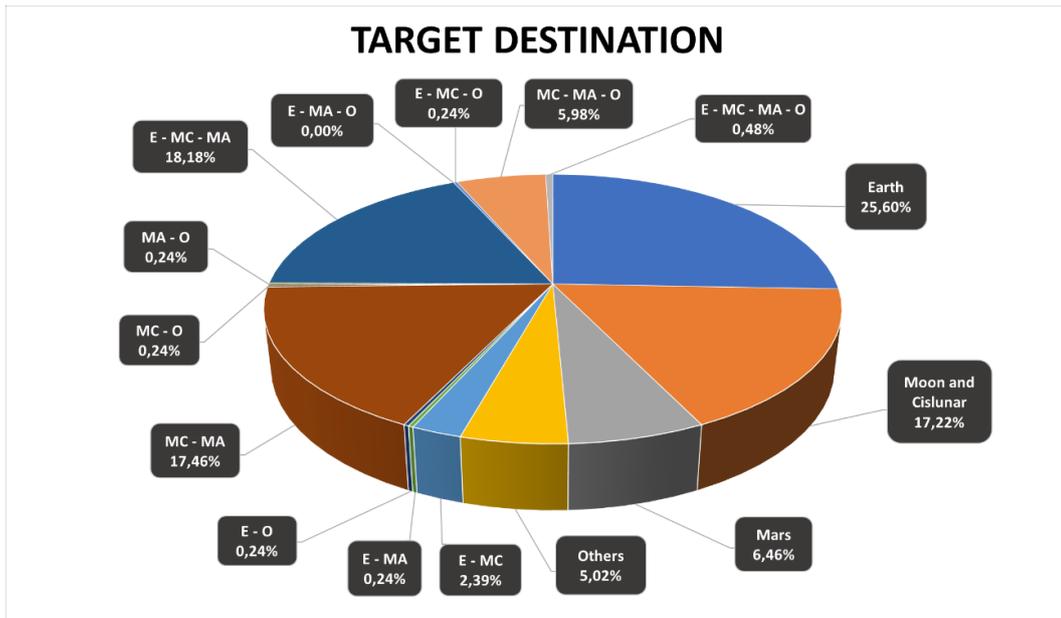


Figura 17. Distribuzione Percentuale dei Target Destination

Nel grafico a torta (*Figura 17*), sono illustrate tutte le combinazioni dei target destination insieme alle relative percentuali. La fetta più grande corrisponde al target "Earth", rappresentando il **25,60%** (107 progetti), seguita dalla combinazione "E-MC-MA" con il **18,18%** (76 progetti), "MC-MA" con il **17,46%** (73 progetti) e "Moon and Cislunar" con il **17,22%** (72 progetti). Nessun progetto presenta la combinazione "E-MA-O".

Nell'analisi sono mostrate le percentuali dei vari target e delle loro combinazioni singolarmente in modo indipendente uno dall'altro, e risulta che il target "Earth" è il più frequente. Tuttavia, considerando il numero di volte in cui un target appare sia da solo che in combinazione, "Moon and Cislunar" risulta il target maggiormente utilizzato con il **62,2%** dei progetti (cioè, in 260 su 418 progetti), seguito da "Mars" con il **49,1%** (205 progetti), "Earth" con il **47,4%** (198 progetti) e infine "Others Inside the Solar System" con il **12,5%** (52 progetti). Ciò mette in evidenza il fatto che il target Terra risulta spesso utilizzato da solo e quindi indipendente dagli altri target; mentre Luna e Marte creano, invece, spesso delle combinazioni tra loro (**42,1%** ovvero 176 progetti) o con altri target.

4.3. Analisi per Area Tecnologica

Di seguito, si esamina la distribuzione delle **Are Tecnologiche** all'interno del database. L'obiettivo principale è individuare le principali aree tecnologiche coinvolte nei progetti col fine di comprendere meglio lo scenario tecnologico dei progetti. Per ciascun progetto sono state considerate le aree tecnologiche al livello più dettagliato delle **categorie** o **sottocategorie**. Questo perché molte di esse appartengono alla stessa categoria, ma presentano sottocategorie diverse. Di conseguenza, sono state analizzate separatamente, tenendo conto che su un totale di **128 aree identificate**, vi sono solo **17 categorie** diverse.

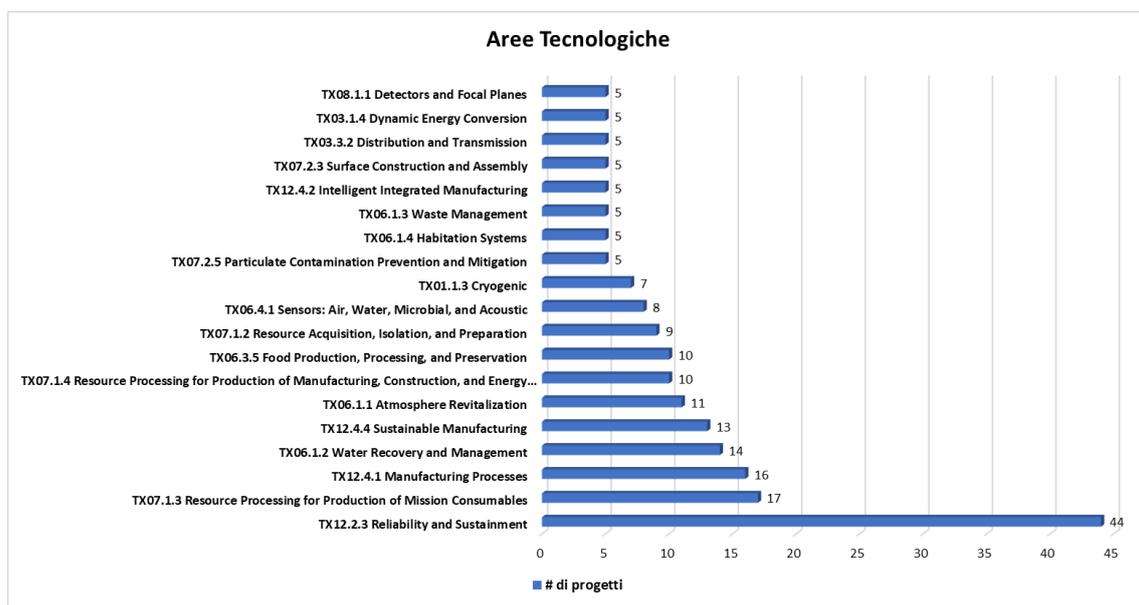


Figura 18. Distribuzione delle Aree Tecnologiche

Su 381 progetti, che rappresentano il **91,15%** del totale, è disponibile il dato sulle aree tecnologiche. L'analisi di questi progetti ha identificato **128 aree diverse**, evidenziando la ripetizione di alcune di queste più volte nel database, nonostante circa la metà di esse sia presente una sola volta.

Il grafico mostra le aree tecnologiche più frequenti all'interno del database (*Figura 18*), includendo soltanto quelle che compaiono almeno 5 volte per semplicità. Si nota in modo evidente che l'area "**TX12.2.3 Reliability and Sustainment**" (Affidabilità e Sostenibilità) sia la più numerosa, comparando ben **44 volte**. Le aree più rilevanti appartengono alle categorie della **produzione** e della **sostenibilità ambientale**, due temi di fondamentale importanza per questo studio.

4.4. Analisi del Livello di Maturità Tecnologica (TRL) e relazioni tra variabili

Nell'analisi dei progetti e delle loro caratteristiche, uno dei parametri fondamentali considerati è il **Technology Readiness Level (TRL)**, il quale rappresenta un indicatore della fase di sviluppo tecnologico di un progetto in un determinato momento. Questo paragrafo focalizza l'attenzione sull'**analisi dei TRL** all'interno del database, partendo con le **statistiche descrittive** per valutare la distribuzione e la variabilità dei TRL. Successivamente, si esplora la relazione tra il **TRL di avvio** e quello **stimato al termine** del progetto, insieme a un'analisi dei progetti già **conclusi**, quelli **sospesi** e quelli ancora **in corso**. Inoltre, attraverso **analisi incrociate**, si esaminano le relazioni tra il TRL e altri fattori come durata e destinazione target, al fine di ottenere una visione completa delle dinamiche relative alla maturità tecnologica dei progetti.

I dati sono divisi in tre fasi di TRL: *Start*, *Current* ed *Estimated Ended*. Il **TRL Start** indica il livello di maturità tecnologica iniziale del progetto; il **TRL Current** rappresenta il livello attuale, mentre il **TRL Estimated Ended** indica il livello obiettivo previsto alla conclusione del progetto. Nel dataset sono inclusi sia progetti ancora in corso, dove il TRL Estimated Ended rappresenta una previsione futura, sia progetti già completati. Questi ultimi sono suddivisi in due categorie: quelli che hanno raggiunto il livello di maturità tecnologica previsto (quando il TRL Current coincide con il TRL Estimated Ended) e quelli che si sono fermati prima di raggiungere tale livello (quando il TRL Current è diverso dal TRL Estimated Ended). Come già detto nel capitolo precedente, il database presenta dei limiti poiché i dati per tutte e tre le fasi sono disponibili soltanto per **306 progetti**, i quali rappresentano il **73,20%** dei progetti totali.

	TRL (Start)	TRL (Current)	TRL (Estimated Ended)
MEDIA	2,72	3,72	4,45
MODA	2,00	3,00	3,00
MIN	1,00	1,00	2,00
PRIMO QUARTILE	2,00	3,00	3,00
MEDIANA	2,00	3,00	4,00
TERZO QUARTILE	3,00	5,00	5,00
MAX	7,00	9,00	9,00
DEVIAZIONE STANDARD	1,132	1,513	1,414
VARIANZA	1,282	2,288	2,000

Tabella 2. Statistiche Descrittive del Technology Readiness Level (TRL)

La **moda** indica dei valori bassi: per il TRL Start, la moda è 2, mentre per il Current ed Estimated Ended è 3 (*Tabella 2*). Questo evidenzia che i valori più frequenti sono bassi in tutte e tre le fasi. L'analisi della **media** mostra un aumento rispetto alla moda, con valori complessivi di partenza di 2,72 e termine di 4,45. Le **statistiche di dispersione** mostrano valori leggermente inferiori per lo Start, indicando una stabilità iniziale, e valori leggermente superiori per il Current ed Estimated Ended, con una variazione più ampia da 1-2 a 9. Il Current, in particolare, riflette maggiore incertezza, poiché influenzato da diversi fattori come il tempo trascorso dall'inizio, lo stato di completamento del progetto e il tasso di crescita della tecnologia.

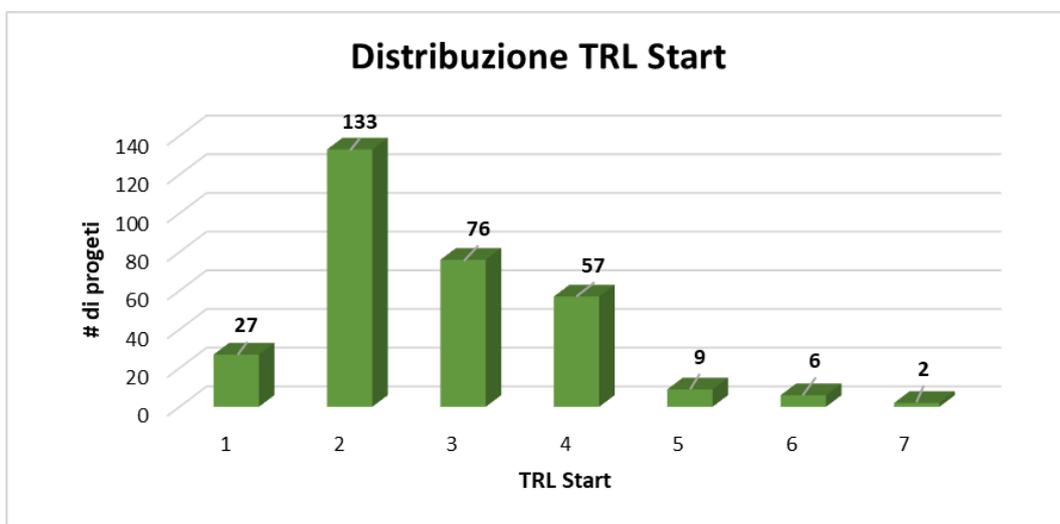


Figura 19. Distribuzione TRL Start

Il dato relativo al TRL Start è stato identificato in **310** progetti, ovvero nel **74,16%** del totale, aggiungendo, soltanto per questa analisi, 4 progetti in più rispetto alle altre analisi sul TRL. La *Figura 19* illustra la **distribuzione dei livelli TRL all'inizio** del progetto; si osserva che la maggioranza dei progetti inizia con un livello TRL medio-basso, con il livello 2 che rappresenta quasi il **43% del totale** dei progetti. Seguono il livello 3 con il **24,5%**, il livello 4 con l'**18,4%** e il livello 1 con l'**8,7%**. I progetti che partono con livelli TRL più alti, come 5, 6 e 7, sono significativamente minori in numero e costituiscono insieme il restante **5,4%**.

Vi sono tre scenari distinti per i progetti: conclusi, sospesi e in corso. I **progetti conclusi** sono quelli che hanno una data di fine precedente al 2023, inclusa, e il TRL Current corrisponde al TRL Estimated Ended. I **progetti sospesi** sono simili a quelli conclusi, ma il

TRL Current non coincide con quello Estimated Ended. I **progetti in corso** sono quelli con una data di fine successiva al 2024, inclusa.

Stato del Progetto	Numero di Progetti
Conclusi	179
Sospesi	39
In corso	88

Tabella 3. Numero di progetti per stato di completamento

I progetti con data di fine successiva al 2024 sono 92, ma solo **88** di essi saranno considerati per le successive analisi poiché facenti parte dei **306** che presentano i dati sul TRL per le diverse fasi. Un altro gruppo comprende i progetti con data di fine antecedente al 2023, con un totale di 218 progetti. Tra questi, **179** sono progetti completati, mentre i restanti **39** rappresentano i progetti sospesi. Questi ultimi mostrano una differenza nel range tra 1 e 4, indicando un'interruzione anticipata o il mancato raggiungimento degli obiettivi prefissati (*Tabella 3*).

Una volta definiti i diversi stati dei progetti, si è proseguito con un'analisi dettagliata del numero di progetti e delle percentuali sul totale del TRL Start ed Estimated Ended, suddividendo i dati per le diverse fasi.

TRL Start	CONCLUSI		SOSPESI		IN CORSO	
1	12	7%	8	21%	4	5%
2	78	44%	14	36%	40	45%
3	42	23%	8	21%	26	30%
4	38	21%	6	15%	13	15%
5	6	3%	1	3%	2	2%
6	2	1%	1	3%	3	3%
7	1	1%	1	3%		0%
TOTALE	179	100%	39	100%	88	100%

Tabella 4. Numero e Percentuale di progetti per TRL Start (divisi per conclusi, sospesi e in corso)

Per quanto riguarda il TRL di Start, i progetti conclusi presentano maggior varietà, prevalentemente con un TRL uguale a 2, ma con una buona percentuale di avvio pari a 3 e a 4. I progetti sospesi aumentano in percentuale nei TRL di inizio pari a 1, abbassando le percentuali dei TRL più elevati. I progetti in corso mostrano un andamento pressoché

simile a quelli conclusi, indicando una certa **standardizzazione** generale per gli andamenti dei TRL Start.

TRL Estimated Ended	CONCLUSI		SOSPESI		IN CORSO	
2	5	3%	2	5%		0%
3	54	30%	11	28%	23	26%
4	47	26%	11	28%	24	27%
5	34	19%	5	13%	17	19%
6	27	15%	6	15%	17	19%
7	8	4%	3	8%	5	6%
8	3	2%		0%		0%
9	1	1%	1	3%	2	2%
TOTALE	179	100%	39	100%	88	100%

Tabella 5. Numero e Percentuale di progetti per TRL Estimated Ended (divisi per conclusi, sospesi e in corso)

Andando a guardare gli andamenti del TRL Estimated Ended, si osserva che, dati i pochi progetti con TRL Start pari a 1, risultano pochissimi quelli che terminano con TRL pari a 2. Tuttavia, è importante evidenziare che i progetti in corso non presentano valori uguali a 2, mentre sono presenti un discreto numero di progetti conclusi e sospesi. Ciò mette in evidenza che i progetti iniziano con l'obiettivo di avanzare attraverso più livelli, ma se partono da livelli più bassi è molto difficile progredire, e alcuni di essi che vengono sospesi in modo prematuro. Nei progetti in corso, si ha una tendenza generale a puntare a TRL più alti. Inoltre, si può affermare che i progetti in corso, essendo più recenti, hanno degli obiettivi più elevati di TRL (percentuale più bassa per TRL pari 3 e più alta per 5 e 6), indicando che negli anni si è cercato di sviluppare progetti con livelli di maturità tecnologica sempre più alti, suggerendo significativi progressi nella tecnologia.

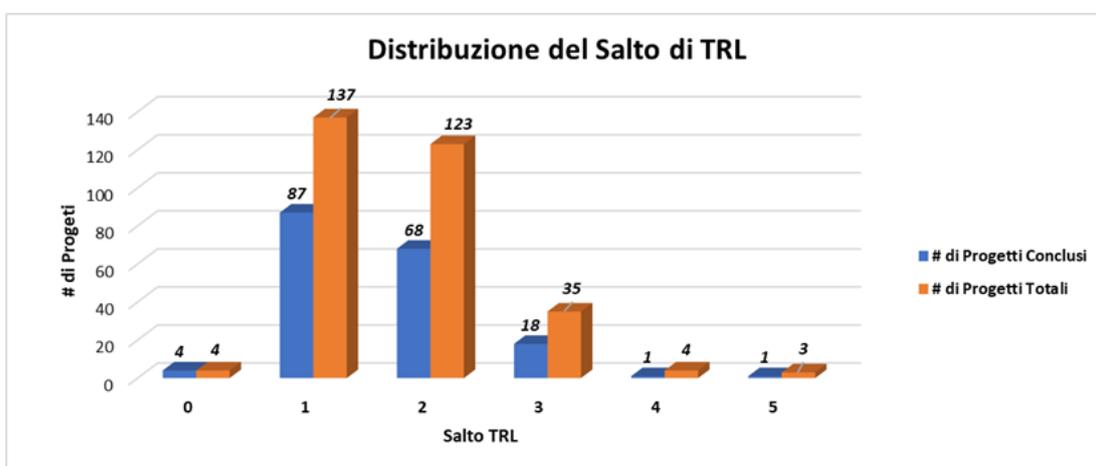


Figura 20. Distribuzione dei Progetti in Base alla Differenza tra TRL Estimated Ended e TRL Start

La *Figura 20* mostra la distribuzione dei progetti in base al "**Salto TRL**", cioè la differenza tra il TRL Estimated Ended e quello di Start. Sono stati identificati salti che vanno **da 0 a 5 livelli**, evidenziati in due conteggi distinti nel grafico: il primo rappresenta solo i progetti conclusi, mentre il secondo rappresenta l'insieme dei progetti conclusi, sospesi e in corso.

Salto TRL	# di Progetti Conclusi	%	# di Progetti Totali	%
0	4	2,2%	4	1,3%
1	87	48,6%	137	44,8%
2	68	38,0%	123	40,2%
3	18	10,1%	35	11,4%
4	1	0,6%	4	1,3%
5	1	0,6%	3	1,0%
TOTALE	179	100%	306	100%

Tabella 6. Numero e Percentuale di progetti per Salto di TRL (divisi per conclusi e totali)

Si osserva che la maggioranza dei progetti presenta salti TRL bassi, pari a 1 o 2 livelli (almeno **l'85% dei progetti** in entrambi i casi). Solo pochi progetti mostrano aspettative elevate nel migliorare il livello del TRL (*Tabella 6*). Questo evidenzia un incremento nella maturità tecnologica dei progetti medio-basso. Inoltre, si notano **quattro casi** in cui la **differenza è 0**; ciò accade perché alcuni progetti hanno l'obiettivo di fare ricerca per il mero scopo di acquisire conoscenza, senza necessariamente sviluppare un prodotto finale. Analizzando attentamente le due sezioni, non emergono differenze significative, se non per piccole percentuali: i salti pari a 1 sono diminuiti, mentre i più grandi sono aumentati. Si può supporre che i progetti a volte abbiano ambizioni più alte di quelle che realmente raggiungono, fermandosi prima o prolungando le durate.

I salti di TRL vengono suddivisi nelle distribuzioni basate sul TRL di Start, categorizzando ogni intervallo come segue: "**Variazione Nulla**" per differenze pari a **0**, "**Variazione Bassa**" per differenze pari a **1**, "**Variazione Media**" per differenze pari a **2** e "**Variazione Alta**" per differenze comprese **tra 3 e 5**.

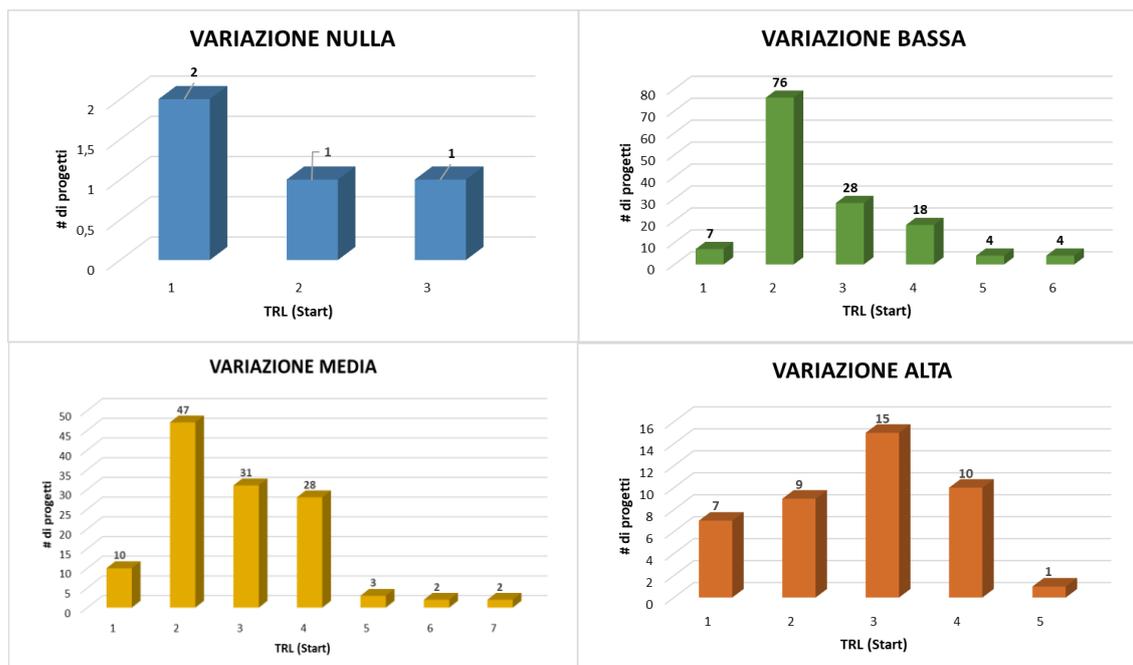


Figura 21. Distribuzione dei Progetti in Base alla Differenza tra TRL Estimated Ended e TRL Start (**Figura 21a:** Variazione nulla; **Figura 21b:** Variazione bassa; **Figura 21c:** Variazione media; **Figura 21d:** Variazione alta)

La **Figura 21** mostra l'**incrocio** tra il **TRL di Start** e il **numero di progetti** per ogni categoria di variazione. Dai risultati emerge che il **TRL di Start pari a 2** è il più comune nelle categorie di variazioni bassa e media, mentre nelle variazioni elevate, diventano più frequenti il **TRL 3** e, in misura significativa, il **TRL 4**. Questo suggerisce che i progetti con un basso TRL raramente puntano a salti significativi nel TRL; al contrario, i progetti che partono con un TRL già più alto tendono a migliorare il proprio livello più facilmente.

4.4.1. Analisi relazione variabili: TRL – Tempo

Dall'esame dell'intersezione tra le variabili temporali, rappresentate dalle date di inizio e fine dei progetti, e il Technology Readiness Level (TRL), non emergono trend significativi rispetto a quanto discusso in precedenza. Di conseguenza, tali risultati non sono stati considerati rilevanti per l'analisi e quindi non sono stati esaminati in dettaglio.

D'altra parte, richiede attenzione lo studio dell'incrocio tra la **durata dei progetti** e il **TRL**. Attraverso questa analisi, si esaminano le **durate medie** dei progetti suddivise in base al numero di TRL di avvio. In seguito, si esamina più approfonditamente la distribuzione delle durate dei progetti in relazione al TRL di inizio e al Salto TRL, valutando la

correlazione tra durata e TRL. Tutto questo con il fine di fornire una visione dettagliata della relazione tra il tempo di sviluppo e il livello di preparazione tecnologica dei progetti.

Si è calcolato il **coefficiente di correlazione tra la durata e il TRL di Start:**

$$\rho_{Durata-TRL\ Start} = 0,1248$$

Questo mostra una **debole correlazione** tra le variabili, suggerendo che le variazioni della durata non sono molto influenzate dal TRL.

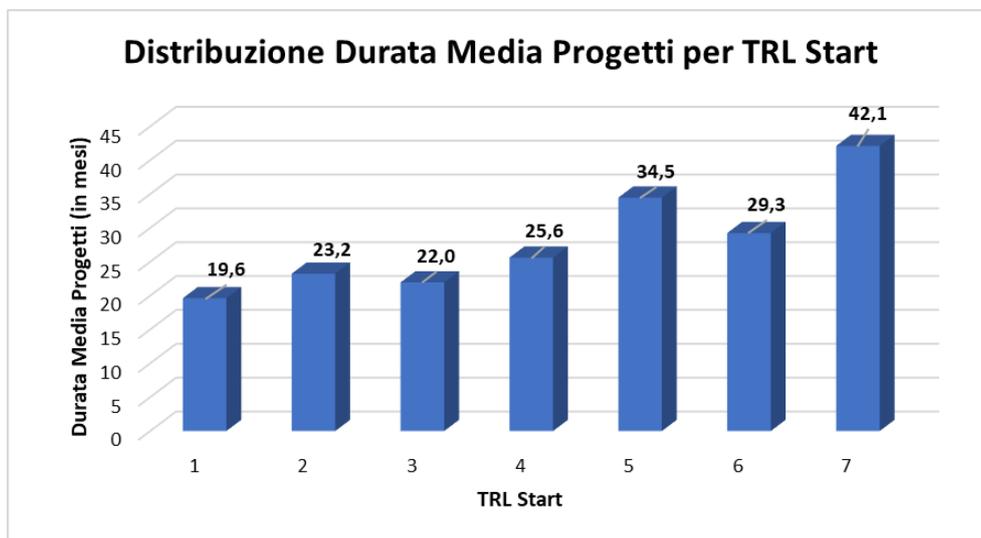


Figura 22. Distribuzione delle Durate Medie dei Progetti per TRL Start

Nonostante il coefficiente di correlazione mostri una bassa correlazione tra la durata e il TRL, l'analisi viene comunque approfondita mediante la rappresentazione grafica della **distribuzione della durata rispetto al TRL** (Figura 22). Con l'aumentare dei TRL iniziali, si registra un aumento delle durate medie dei progetti, suggerendo un possibile **aumento della complessità** dei progetti. Tuttavia, la deviazione standard diminuisce, indicando una **maggiore stabilità** nelle durate. Questo fenomeno è influenzato dalla minore presenza di progetti all'aumentare del TRL di Start. È importante notare che questa analisi è approssimativa poiché non tiene conto di molte variabili fondamentali, alcune delle quali saranno esaminate in modo più dettagliato nel successivo grafico.

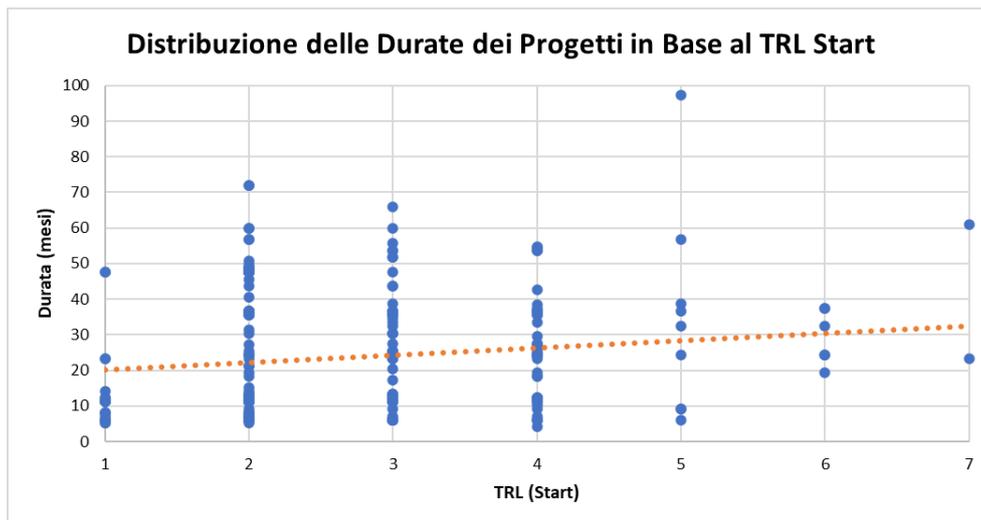


Figura 23. Distribuzione delle Durate dei Progetti in Base al TRL Start

Nel grafico a dispersione (Figura 23), viene rappresentata la distribuzione delle durate in relazione al TRL Start. Al fine di garantire una migliore leggibilità visiva, è stato omesso un valore anomalo di **157 mesi** relativo a un TRL pari a 1. La tendenza segue quanto evidenziato in precedenza, ovvero un leggero aumento delle durate all'aumentare del TRL. Tuttavia, si nota che, escludendo gli outlier, le durate più lunghe si manifestano principalmente con TRL 2 e 3; probabilmente a causa dell'elevato numero di progetti in queste due categorie, il che fa aumentare la probabilità di trovare progetti più estesi.

Si prosegue l'analisi calcolando il **coefficiente di correlazione** tra **durata** e **salto di TRL**:

$$\rho_{Durata - Salto\ TRL} = 0,1919$$

Anche in questo caso, la **correlazione** tra le due variabili è **bassa**, sebbene il valore sia leggermente più alto rispetto al precedente. Questo suggerisce che il salto di TRL ha un impatto limitato sulla durata del progetto.

Si continua calcolando le correlazioni categorizzate per variazione bassa, media e alta del salto di TRL. Diversamente dalla precedente divisione nelle categorie, qui la **variazione bassa** è rappresentata dai salti **0** e **1**, la **variazione media** da salti **2** e **3**, mentre la **variazione alta** da salti **4** e **5**. I coefficienti di correlazione tra la durata dei progetti e il salto di TRL per ciascuna categoria sono i seguenti:

- **Variazione bassa** (salti 0 e 1): $\rho = -0,059$

- **Variazione media** (salti 2 e 3): $\rho = -0,005$
- **Variazione alta** (salti 4 e 5): $\rho = 0,127$

Questi valori indicano che la relazione tra la durata del progetto e il salto di TRL è molto **debole in tutte le categorie**. In particolare:

- **Variazione bassa:** Il coefficiente di correlazione di $-0,059$ suggerisce una relazione leggermente negativa, ma molto debole, tra la durata del progetto e i salti di TRL bassi. Questo significa che non c'è una chiara tendenza per cui una maggiore durata del progetto influenzi i salti di TRL in modo significativo.
- **Variazione media:** Il coefficiente di $-0,005$ indica una relazione praticamente inesistente tra la durata del progetto e i salti di TRL medi. Anche in questo caso, la durata del progetto non sembra influenzare in modo significativo i salti di TRL.
- **Variazione alta:** Il coefficiente di $0,127$ mostra una debole correlazione positiva tra la durata del progetto e i salti di TRL alti. Sebbene ci sia una tendenza leggermente positiva, questa relazione è molto debole e non suggerisce un forte legame tra una maggiore durata del progetto e un salto di TRL maggiore.

I risultati mostrano che, indipendentemente dalla categoria di variazione, la durata del progetto ha un'influenza minima sui salti di TRL. Al fine di confermare questi risultati, sono state plottate in *Figura 24* le durate medie per i diversi salti TRL.

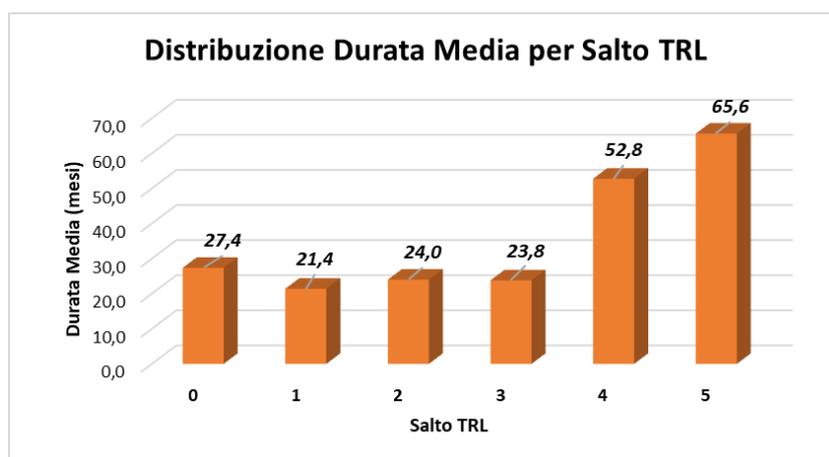


Figura 24. Distribuzione Durata Media per Salto TRL

Il grafico indica che i salti di TRL più alti (4 e 5) tendono ad avere **durate di progetto più lunghe**, mentre i salti di TRL più bassi (0-3) non mostrano una tendenza chiara rispetto

alla durata dei progetti. La durata del progetto sembra avere un'influenza più marcata sui salti di TRL più alti, suggerendo che i progetti con obiettivi tecnologici più ambiziosi richiedano circa il doppio del tempo (in media) in più rispetto ai salti più bassi. Questo suggerisce che passare da un salto di TRL da 3 a 4 implica un notevole aumento della complessità dei progetti, influenzando quindi la durata. Sarebbe opportuno considerare anche altri fattori, oltre alla durata del progetto, che non fanno parte di questa analisi ma che potrebbero influenzare i salti di TRL.

4.4.2. Analisi relazione variabili: TRL – Target Destination

Andando avanti, si esamina l'intersezione tra i **Target Destination** e il **Technology Readiness Level (TRL)**, focalizzando l'attenzione sull'analisi delle medie dei TRL (Start/Estimated Ended) e del Salto di TRL per ogni destinazione target e categoria di progetto (normale/singolo).

Sono state calcolate le medie dei TRL Start ed Estimated Ended e del salto di TRL per ogni Target Destination, suddividendole in due categorie denominate "**normale**" (a sinistra) e "**singolo**" (a destra). Nella **categoria "normale"**, i calcoli sono stati eseguiti considerando tutti i progetti che includono il target in questione, compresi quelli che lo combinano con altri target; nella categoria "**singolo**", invece, sono stati considerati solo i progetti che includono esclusivamente il target in questione.

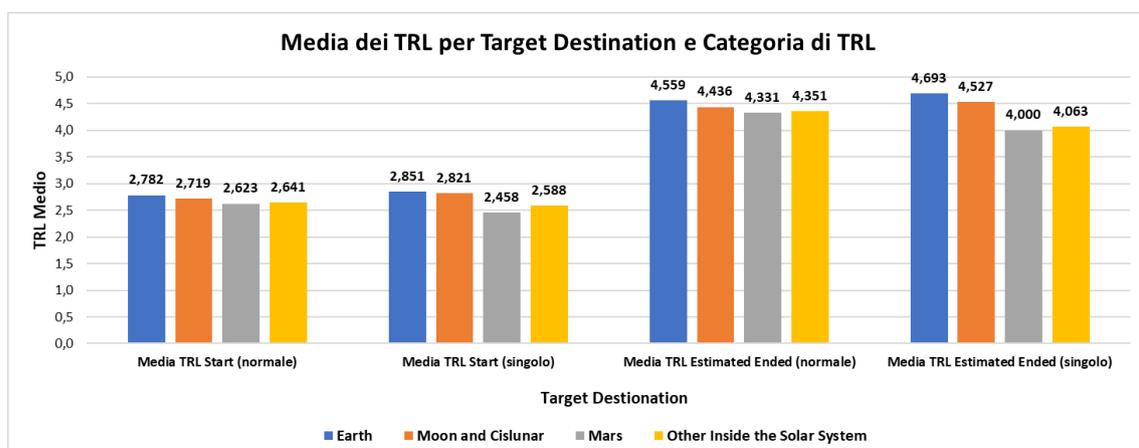


Figura 25. Media dei TRL per Target Destination e Categoria di TRL (Start/Estimated Ended, normale/singolo)

Nella *Figura 25*, si nota chiaramente una disparità tra normale e singolo. In particolare, per i target “Earth” e “Moon and Cislunar”, si osserva un **aumento della media** quando sono trattati singolarmente rispetto a quando sono in collaborazione. Al contrario, per “Mars” e “Others”, invece, la **media diminuisce**. Questa analisi suggerisce che per “Earth” e “Moon” i TRL medi sono più elevati, probabilmente perché si tratta di destinazioni più conosciute; mentre “Mars” e “Others” presentano sfide tecniche e strategiche più complesse, essendo ambienti meno conosciuti.

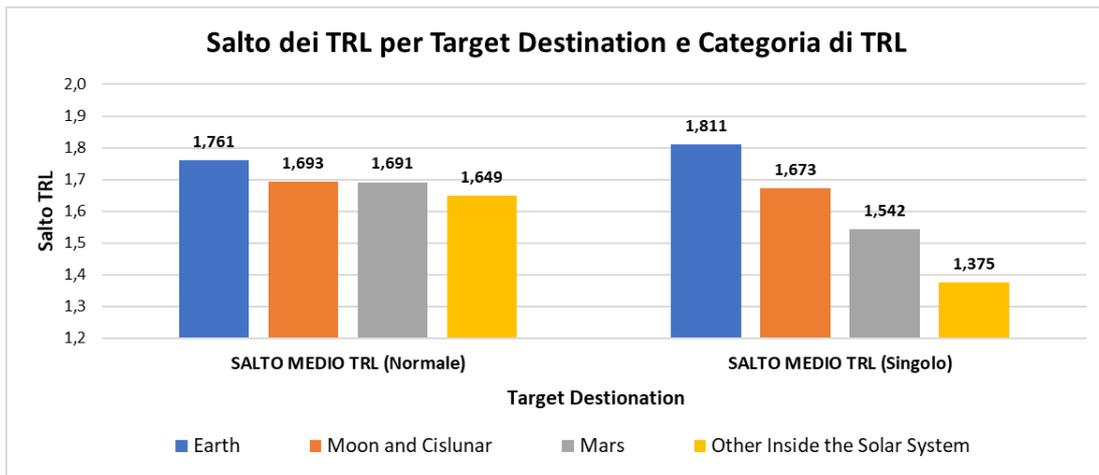


Figura 26. Salto dei TRL Medio per Target Destination e Categoria di TRL (normale/singolo)

L'analisi prosegue nella *Figura 26*, esaminando il **salto di TRL medio** per ogni **destinazione target** e per le **categorie di TRL**. Emergono chiare differenze nel modo in cui il salto varia tra TRL normali e singoli. Il target “**Earth**” mostra un **salto medio superiore** rispetto agli altri, probabilmente a causa della maggiore accessibilità delle risorse, della familiarità dell'ambiente, della disponibilità di infrastrutture e della riduzione dei costi e dei rischi che agevolano il raggiungimento di livelli TRL più alti.

4.5. Analisi per Organizzazione Lead & Supporting

Lo studio si conclude con un'analisi delle **Lead** e **Supporting Organization**, suddivise in quattro categorie: **Academy**, **NASA Center**, **Research Center** e **Industry**. Queste categorie rappresentano rispettivamente le università, i centri NASA, i centri di ricerca non NASA e le imprese private. Si analizzano diversi aspetti, tra cui il numero di organizzazioni per tipologia, le collaborazioni tra diverse tipologie e la distribuzione dei progetti in base all'organizzazione coinvolta e al ruolo svolto. L'obiettivo è comprendere le dinamiche delle collaborazioni e dei ruoli delle diverse organizzazioni nei progetti presi in esame.

PROGETTI	# LEAD	# SUPPORTING
ACADEMY	38	66
NASA CENTER	11	11
RESEARCH CENTER	2	11
INDUSTRY	101	156

Tabella 7. Conteggi delle Organizzazioni per Tipologia

Sui 418 progetti esaminati, 414 presentano il dato sulle organizzazioni. La *Tabella 7* riporta, per ciascuna tipologia di organizzazione, il **numero di organizzazioni diverse** presenti all'interno del database. Le Industry sono quelle che presentano la **maggior varietà** sia tra i Lead che tra i Supporting. Al contrario, i NASA Center partecipano con un **numero limitato di enti** ma, come vedremo, rappresentano la maggior parte delle organizzazioni coinvolte nei progetti.

	ACADEMY			INDUSTRY		
	Stanford University (Stanford)	5	8,9%	Skyre, Inc.	13	7,6%
University of Colorado Boulder	4	7,1%	Aerosol Dynamics, Inc.	8	4,7%	
The University of Texas at Austin	3	5,4%	Astrobotic Technology, Inc.	6	3,5%	
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	3	5,4%	Tethers Unlimited Inc	4	2,3%	
Rice University	3	5,4%	Opterus Research and Development, Inc.	4	2,3%	
University of Massachusetts-Lowell	2	3,6%	Proteininnovations, LLC	4	2,3%	
University of California-Davis (UC Davis)	2	3,6%	Qualtech Systems, Inc.	4	2,3%	
Cornell University	2	3,6%	Faraday Technology, Inc.	4	2,3%	
Georgia Institute of Technology-Main Campus (GA Tech)	2	3,6%	Trans Astronautica Corporation	4	2,3%	
Pennsylvania State University-Main Campus (Penn State)	2	3,6%	DSTAR Communications	3	1,7%	
Carthage College	1	1,8%	Redwire Space Technologies, Inc.	3	1,7%	
The University of Texas at Arlington (UTA)	1	1,8%	PacMar Technologies LLC	3	1,7%	
California Institute of Technology (CalTech)	1	1,8%	Creare, LLC	3	1,7%	
New Mexico Institute of Mining and Technology	1	1,8%	Lynntech, Inc.	3	1,7%	
New Jersey Institute of Technology (NJIT)	1	1,8%	Keystone Synergistic Enterprises, Inc.	2	1,2%	
TOTALE	56	100%	TOTALE	172	100%	
LEAD ORGANIZATION	NASA CENTER			RESEARCH CENTER		
	Marshall Space Flight Center (MSFC)	30	17,6%	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	14	87,5%
	Ames Research Center (ARC)	25	14,7%	Southwest Research Institute - San Antonio (SWRI)	2	12,5%
	Kennedy Space Center (KSC)	24	14,1%			
	Langley Research Center (LaRC)	23	13,5%			
	Glenn Research Center (GRC)	23	13,5%			
	Johnson Space Center (JSC)	21	12,4%			
	Goddard Space Flight Center (GSFC)	10	5,9%			
	Stennis Space Center (SSC)	9	5,3%			
	NASA Headquarters (HQ)	2	1,2%			
	Armstrong Flight Research Center (AFRC)	2	1,2%			
	Game Changing Development (GCD)	1	0,6%			
	TOTALE	170	100%	TOTALE	16	100%

Tabella 8. Numero di Progetti delle Lead Organization

Sono state selezionate e raggruppate le **organizzazioni Lead** che hanno partecipato a più progetti divisi per ogni tipologia e in seguito sono state ordinate dalla più frequente alla meno (*Tabella 8*). Per semplicità sono mostrate soltanto le prime 15 organizzazioni per Academy e Industry (in totale sono rispettivamente 38 e 101). Accanto ai diversi nomi sono riportati il numero di occorrenze e la percentuale rispetto al totale per ogni tipologia; infine, è mostrata la riga del totale con la somma dei conteggi.

SUPPORTING ORGANIZATION	ACADEMY			INDUSTRY		
	Carnegie Mellon University	5	5,6%	HeroX	6	3,1%
	Michigan Technological University (MTU)	3	3,3%	Skyre, Inc.	5	2,6%
	Worcester Polytechnic Institute	3	3,3%	Acellent Technologies, Inc.	4	2,1%
	University of Colorado Boulder	3	3,3%	Intelligent Automation, Inc.	4	2,1%
	Auburn University	2	2,2%	AeroAstro Corporation	3	1,5%
	Case Western Reserve University	2	2,2%	Cornerstone Research Group, Inc.	3	1,5%
	Embry-Riddle Aeronautical University-Daytona Beach	2	2,2%	Methuselah Foundation	3	1,5%
	Georgia Institute of Technology-Main Campus (GA Tech)	2	2,2%	NextGen Aeronautics, Inc.	3	1,5%
	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	2	2,2%	Brilliant Technology, Inc.	2	1,0%
	Mississippi State University	2	2,2%	Creare, LLC	2	1,0%
	Rice University	2	2,2%	Ensemble Government Services, LLC	2	1,0%
	The University of Southern Mississippi	2	2,2%	Georgia Institute of Technology	2	1,0%
	University of Alabama in Huntsville (UAH)	2	2,2%	Giner Electrochemical Systems, LLC	2	1,0%
	University of Arizona	2	2,2%	Intelligent Optical Systems, Inc.	2	1,0%
	University of Central Florida (UCF)	2	2,2%	Jacobs Engineering Group, Inc.	2	1,0%
	TOTALE	90	100%	TOTALE	195	100%
	NASA CENTER			RESEARCH CENTER		
	Glenn Research Center (GRC)	51	19,5%	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	13	54,2%
	Ames Research Center (ARC)	41	15,7%	National Institute of Standards and Technology (NIST)	2	8,3%
Marshall Space Flight Center (MSFC)	41	15,7%	Naval Research Laboratory (NRL)	1	4,2%	
Johnson Space Center (JSC)	35	13,4%	Space and Naval Warfare Systems Command	1	4,2%	
Langley Research Center (LaRC)	32	12,3%	Air Force Reserve Command	1	4,2%	
Kennedy Space Center (KSC)	24	9,2%	National Institute of Aerospace	1	4,2%	
Goddard Space Flight Center (GSFC)	15	5,7%	Air Force Research Laboratory (AFRL)	1	4,2%	
Stennis Space Center (SSC)	12	4,6%	Army Materiel Command	1	4,2%	
Space Technology Mission Directorate (STMD)	4	1,5%	Army Space and Missile Defense Command	1	4,2%	
Armstrong Flight Research Center (AFRC)	3	1,1%	Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)	1	4,2%	
NASA Headquarters (HQ)	3	1,1%	Pentagon	1	4,2%	
TOTALE	261	100%	TOTALE	24	100%	

Tabella 9. Numero di Progetti delle Supporting Organization

Lo stesso procedimento è stato eseguito per le **organizzazioni Supporting** (*Tabella 9*). Anche in questo caso sono state prese per Academy e Industry le prime 15 (in totale rispettivamente 66 e 156). Sommando le organizzazioni Lead e Supporting, si è ottenuto un totale di **414 Lead** e **572 Supporting**. Si deduce che ogni progetto ha esattamente un'organizzazione Lead; mentre, possono esserci uno, nessuno o più di una organizzazione Supporting, con una media di circa 1,4 per progetto. Le NASA sono quelle che partecipano più attivamente ai progetti, il che spiega perché la minore frequenza dei Research Center dal momento che svolgono gli stessi compiti. D'altra parte, Academy e Industry sono molto numerose dal momento che coinvolgono più grande varietà di attori. Questo a conferma della crescente partecipazione degli attori privati nelle attività spaziali e della costante privatizzazione che sta influenzando il settore spaziale negli ultimi anni.

TABELLA INCROCIO	LEAD	%LEAD	SUPPORTING	%SUPP	TOTALE
Glenn Research Center (GRC)	23	30%	53	70%	76
Marshall Space Flight Center (MSFC)	30	42%	41	58%	71
Ames Research Center (ARC)	25	38%	41	62%	66
Johnson Space Center (JSC)	21	38%	35	63%	56
Langley Research Center (LaRC)	23	42%	32	58%	55
Kennedy Space Center (KSC)	24	50%	24	50%	48
Jet Propulsion Laboratory (JPL)	14	52%	13	48%	27
Goddard Space Flight Center (GSFC)	10	40%	15	60%	25
Stennis Space Center (SSC)	9	43%	12	57%	21
Skyre, Inc.	13	72%	5	28%	18
Aerosol Dynamics, Inc.	8	100%	0	0%	8
University of Colorado Boulder	4	57%	3	43%	7
Astrobotic Technology, Inc.	6	100%	0	0%	6
Carnegie Mellon University	1	17%	5	83%	6
HeroX	0	0%	6	100%	6

Tabella 10. Classifica delle Organizzazioni Lead e Supporting più Frequenti

Successivamente, le organizzazioni sono state combinate in una singola tabella, che presenta una **classifica basata sul totale dei conteggi di partecipazione tra Lead e Supporting**. Si è entrato nel dettaglio, prendendo le **prime 15 organizzazioni** aggregate e spaccettando i conteggi per Ruolo per andare ad analizzare un possibile collegamento (Tabella 10). È evidente che le organizzazioni NASA Center dominano le prime 10 posizioni (ad eccezione della 7^a posizione, Research Center, e della 10^a posizione, Industry). Si vede che il rapporto è **discontinuo e non presenta una regolarità**, anzi si può notare come in alcuni casi le organizzazioni sono presenti soltanto in uno dei due ruoli specifici (“Astrobotic Technology, Inc.” solo come Lead, “HeroX” solo come Supporting).

	# LEAD	%LEAD	# SUPPORTING	%SUPP	# TOTALE	%TOTALE
Academy	56	13,40%	56	13,40%	106	25,36%
NASA Center	170	40,67%	235	56,22%	371	88,76%
Research Center	16	3,83%	18	4,31%	34	8,13%
Industry	172	41,15%	129	30,86%	293	70,10%

Tabella 11. Numero di Organizzazioni per Tipologia e Ruolo

Infine, è mostrato il **numero di progetti** in cui sono presenti le diverse **tipologie** di organizzazione (Academy, NASA Center, Research Center, Industry) divise per **ruolo** (Lead, Supporting) (Tabella 11). Nelle colonne abbiamo il numero di progetti in cui ogni tipologia è presente come Lead, Supporting e il totale costituito dalla somma dei primi due; inoltre, sono fornite altre tre colonne con le percentuali calcolate sul totale di 418 progetti. Si nota che, per quanto riguarda il ruolo non cambia molto per Academy e Research Center; tuttavia, per i NASA Center, la percentuale di **Supporting è più elevata** (circa **56%** al fronte

del **41%**), mentre per gli Industry è **più alta la presenza come Lead** (circa **41%** al fronte del **31%**). I NASA Center sono coinvolti addirittura in quasi **l'89% dei progetti**. Anche le Industry sono abbastanza numerose, partecipando al **70%** dei progetti.

4.5.1. Reti di Collaborazione L&S

Si approfondisce lo studio tra Lead e Supporting Organization, concentrando l'attenzione sulle **reti di collaborazioni** tra di esse ed analizzando le **partnership** tra varie tipologie di organizzazioni e le loro interazioni specifiche.

COLLABORAZIONI	# di coppie	# di collaborazioni	COPPIA PIU' FREQUENTE		# collaborazioni coppia più frequente
ACADEMY - ACADEMY	17	17	University of California-Davis (UC Davis)	University of Colorado Boulder	1
ACADEMY - NASA CENTER	78	88	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Marshall Space Flight Center (MSFC)	2
ACADEMY - RESEARCH CENTER	4	5	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	2
INDUSTRY - ACADEMY	35	39	Protainnovations, LLC	Carnegie Mellon University	3
NASA CENTER - NASA CENTER	26	55	Kennedy Space Center (KSC)	Marshall Space Flight Center (MSFC)	7
NASA CENTER - RESEARCH CENTER	15	17	Johnson Space Center (JSC)	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	2
INDUSTRY - NASA CENTER	244	320	Aerosol Dynamics, Inc.	Glenn Research Center (GRC)	8
RESEARCH CENTER - RESEARCH CENTER	0	0	/	/	/
INDUSTRY - RESEARCH CENTER	13	14	Charles River Analytics, Inc.	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	2
INDUSTRY - INDUSTRY	9	9	Trans Astronautica Corporation	Skyframe Research	1

Tabella 12. Collaborazioni tra Diverse Tipologie di Organizzazioni

Sono state categorizzate le diverse collaborazioni tra organizzazioni leader e di supporto, identificando le diverse coppie che hanno collaborato nei progetti. In *Tabella 12* è mostrata, per ciascuna combinazione di tipologia, la **coppia più frequente** con a sinistra l'organizzazione Lead e a destra l'organizzazione Supporting. L'incrocio più numeroso di organizzazioni che hanno collaborato insieme in uno o più progetti è stata quella tra Industry e NASA Center, con **244 coppie distinte**, seguita dall'intersezione tra Academy e NASA Center, con **78 coppie distinte**; mentre il totale di queste collaborazioni sono rispettivamente di **320** e **88**. La combinazione Research-Research è l'unica dove non si è riscontrata nessuna coppia.

COLLABORAZIONI		#	TIPOLOGIA DI APPARTENENZA
Aerosol Dynamics, Inc.	Glenn Research Center (GRC)	8	INDUSTRY - NASA CENTER
Kennedy Space Center (KSC)	Marshall Space Flight Center (MSFC)	7	NASA CENTER - NASA CENTER
Skyre, Inc.	Stennis Space Center (SSC)	7	INDUSTRY - NASA CENTER
Johnson Space Center (JSC)	Skyre, Inc.	6	NASA CENTER - INDUSTRY
Marshall Space Flight Center (MSFC)	Tethers Unlimited Inc	5	NASA CENTER - INDUSTRY
Glenn Research Center (GRC)	Johnson Space Center (JSC)	4	NASA CENTER - NASA CENTER
Glenn Research Center (GRC)	Marshall Space Flight Center (MSFC)	4	NASA CENTER - NASA CENTER
Johnson Space Center (JSC)	Kennedy Space Center (KSC)	4	NASA CENTER - NASA CENTER
Johnson Space Center (JSC)	Marshall Space Flight Center (MSFC)	4	NASA CENTER - NASA CENTER
Langley Research Center (LaRC)	Marshall Space Flight Center (MSFC)	4	NASA CENTER - NASA CENTER
Marshall Space Flight Center (MSFC)	Redwire Space Technologies, Inc.	4	NASA CENTER - INDUSTRY
Opterus Research and Development, Inc.	Langley Research Center (LaRC)	4	INDUSTRY - NASA CENTER

Tabella 13. Collaborazioni tra Organizzazioni

Sono state individuate un totale di **564 collaborazioni**, coinvolgendo **440 coppie distinte**, con circa un centinaio di coppie che si sono ripetute più volte. La coppia più frequente all'interno del database è stata quella tra "**Aerosol Dynamics, Inc.**" e il "**Glenn Research Center (GRC)**" (Industry-NASA Center), che si è verificata per ben **8 volte** (come riportato nella *Tabella 13*). Seguono la coppia tra il "**Kennedy Space Center (KSC)**" e il "**Marshall Space Flight Center (MSFC)**" (NASA-NASA) e quella tra "**Skyre, Inc.**" e lo "**Stennis Space Center (SSC)**" (NASA-Industry), entrambe avvenute **7 volte**. Al quarto posto troviamo la coppia tra il "**Johnson Space Center (JSC)**" e "**Skyre, Inc.**" (NASA-Industry), con **6 collaborazioni**, successivamente le altre.

ORGANIZZAZIONI	# DI COLLABORAZIONI EFFETUATE	TIPOLOGIA
Marshall Space Flight Center (MSFC)	150	NASA CENTER
Glenn Research Center (GRC)	80	NASA CENTER
Ames Research Center (ARC)	69	NASA CENTER
Langley Research Center (LaRC)	63	NASA CENTER
Johnson Space Center (JSC)	62	NASA CENTER
Kennedy Space Center (KSC)	51	NASA CENTER
Jet Propulsion Laboratory (JPL)	25	RESEARCH CENTER
Goddard Space Flight Center (GSFC)	24	NASA CENTER
Stennis Space Center (SSC)	22	NASA CENTER
Skyre, Inc.	20	INDUSTRY
Florida State University (FSU)	8	ACADEMY
University of California-Davis (UC Davis)	8	ACADEMY
Aerosol Dynamics, Inc.	8	INDUSTRY
Faraday Technology, Inc.	7	INDUSTRY
Astrobotic Technology, Inc.	7	INDUSTRY
Georgia Institute of Technology-Main Campus (GA Tech)	6	ACADEMY
Protoinnovations, LLC	6	INDUSTRY
HeroX	6	INDUSTRY

Tabella 14. Collaborazioni Totali per Organizzazione: Lead & Supporting

Di seguito è riportato l'elenco delle organizzazioni che hanno effettuato il **maggior numero di collaborazioni** nei vari progetti (*Tabella 14*). "**Marshall Space Flight Center (MSFC)**" risulta essere l'organizzazione con il maggior numero di collaborazioni nei progetti analizzati (**150 progetti**, di cui **49** come Supporting e **101** come Lead). Questo dato non sorprende considerando che fa parte delle organizzazioni più frequenti; tuttavia, è interessante notare che il divario rispetto al "**Glenn Research Center (GRC)**" è quasi doppio. Questo divario è attribuibile a due progetti particolari in cui Marshall è presente come Lead; tali progetti includono rispettivamente 37 e 39 organizzazioni partner. Escludendo questi due casi, il conteggio scende a 74, risultando inferiore a quello di Glenn. Un caso insolito riguarda le Academy che, nonostante in generale non siano tra le più frequenti, alcune di esse mostrano un numero significativo di collaborazioni.

ORGANIZZAZIONI	# DI COLLABORAZIONI EFFETUATE	TIPOLOGIA
Marshall Space Flight Center (MSFC)	49	SUPPORTING NASA CENTER
Glenn Research Center (GRC)	43	SUPPORTING NASA CENTER
Ames Research Center (ARC)	37	SUPPORTING NASA CENTER
Langley Research Center (LaRC)	30	SUPPORTING NASA CENTER
Kennedy Space Center (KSC)	27	SUPPORTING NASA CENTER
Johnson Space Center (JSC)	25	SUPPORTING NASA CENTER
Goddard Space Flight Center (GSFC)	16	SUPPORTING NASA CENTER
Jet Propulsion Laboratory (JPL)	15	SUPPORTING RESEARCH CENTER
Stennis Space Center (SSC)	12	SUPPORTING NASA CENTER
Skyre, Inc.	7	SUPPORTING INDUSTRY
HeroX	6	SUPPORTING INDUSTRY

Tabella 15. Collaborazioni per Organizzazioni Partner (Supporting)

In Tabella 15 si approfondisce l'analisi considerando il numero di collaborazioni effettuate come partner. Sono le organizzazioni che hanno partecipato a più progetti come Supporting Organization. La situazione rimane simile rispetto alla tabella precedente, mostrando all'incirca le stesse organizzazioni nelle posizioni più alte, quasi tutte NASA.

4.5.2. Analisi relazione variabili: L&S – Data

In questo paragrafo, si esamina l'incrocio tra Lead e Supporting Organization in relazione alla data di inizio dei progetti. L'analisi consiste nella distribuzione del numero di progetti per tipologia di organizzazione Lead e Supporting negli anni di inizio progetto, identificando le organizzazioni coinvolte con più frequenza per ogni anno e fornendo una panoramica completa delle dinamiche temporali delle collaborazioni tra Lead e Supporting Organization.

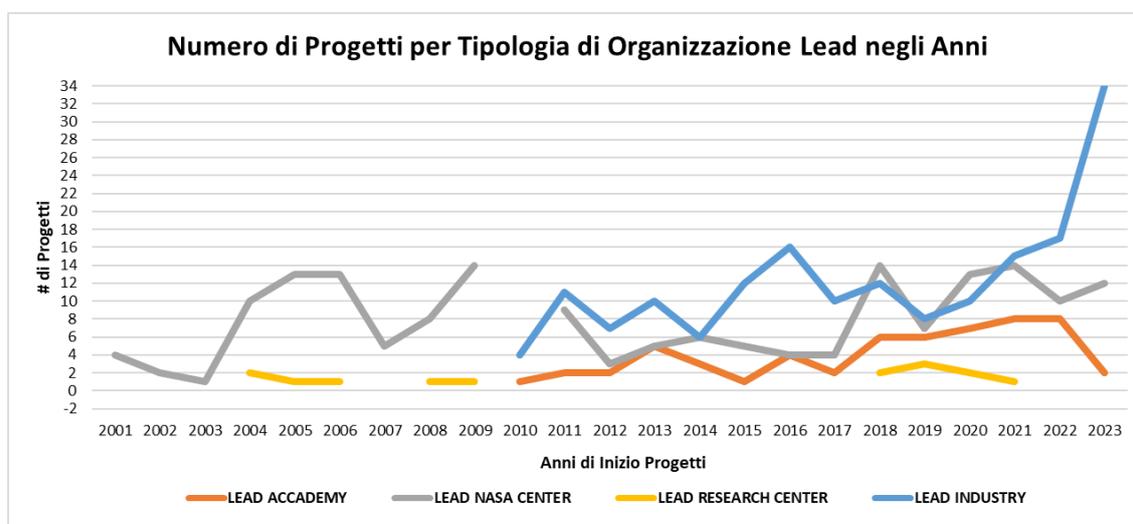


Figura 27. Numero di Progetti per Tipologia di Organizzazione Lead negli Anni di Inizio Progetto

Dalla seguente *Figura 27* si osservano gli **andamenti nel tempo** delle varie tipologie di **organizzazioni Lead**. Inizialmente, sono state soprattutto le NASA Center a guidare i progetti dal 2001 al 2009, con una limitata partecipazione dei Research Center. Le Academy hanno registrato un aumento costante a partire dal 2010, raggiungendo un picco nel 2021-22. È evidente un rapido **aumento del numero di Industry come leader**, suggerendo una crescita del loro coinvolgimento nella direzione dei progetti nel tempo.

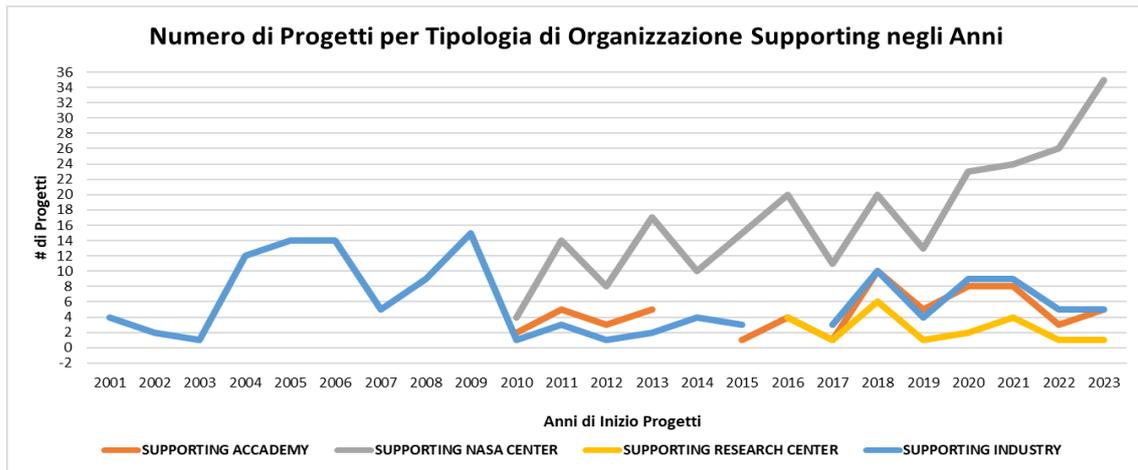


Figura 28. Numero di Progetti per Tipologia di Organizzazione Supporting negli Anni di Inizio Progetto

L'**evoluzione nel tempo** delle **organizzazioni Supporting** (in *Figura 28*) evidenzia come il numero di Industry, prevalente negli anni da 2001 a 2009, sia poi sceso. Ciò conferma quanto detto prima, cioè una crescita delle Industry come leader nel settore dei progetti spaziali. Al contrario, le NASA Center, inizialmente leader, sono diventati sempre più comuni come organizzazioni partner, evidenziando un periodo caratterizzato da un **cambiamento nei ruoli** e nelle dinamiche delle organizzazioni coinvolte nei progetti.

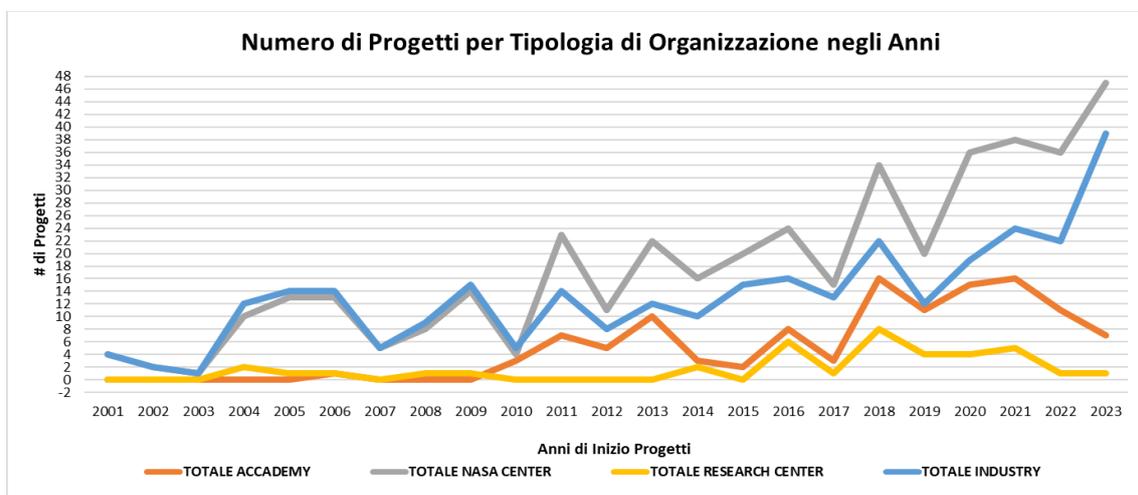


Figura 29. Numero di Progetti per Tipologia di Organizzazione negli Anni di Inizio Progetto

In *Figura 29* è mostrato l'**andamento generale** delle diverse tipologie, mettendo in evidenza come i NASA Center e le Industry abbiano aumentato la loro partecipazione nei progetti spaziali. Le Academy e le Research Center hanno anch'esse evidenziato un lieve incremento della loro partecipazione nel corso degli anni, un fenomeno attribuibile alla crescita del numero di progetti. Pertanto, si deduce che le organizzazioni NASA continuano a detenere una forte presenza nei progetti, ma si osserva un aumento crescente e sempre più attivo della partecipazione delle Industry nel settore spaziale.

ANNI	#	ORGANIZZAZIONI	ANNI	#	ORGANIZZAZIONI
2001	1	Langley Research Center (LaRC) - Ames Research Center (ARC) - Kennedy Space Center (KSC)	2013	4	Kennedy Space Center (KSC)
2002	1	Marshall Space Flight Center (MSFC)	2014	4	Langley Research Center (LaRC)
2003	1	Kennedy Space Center (KSC)	2015	7	Glenn Research Center (GRC)
2004	3	Johnson Space Center (JSC)	2016	5	Johnson Space Center (JSC)
2005	3	Langley Research Center (LaRC) - Glenn Research Center (GRC) - Ames Research Center (ARC)	2017	4	Johnson Space Center (JSC)
2006	3	Johnson Space Center (JSC) - Marshall Space Flight Center (MSFC)	2018	5	Marshall Space Flight Center (MSFC)
	2	Langley Research Center (LaRC)	2019	3	Ames Research Center (ARC) - Marshall Space Flight Center
2008	3	Ames Research Center (ARC)	2020	6	Marshall Space Flight Center (MSFC)
	3	Langley Research Center (LaRC) - Glenn Research Center (GRC)	2021	8	Glenn Research Center (GRC)
2010	2	Ames Research Center (ARC)	2022	7	Glenn Research Center (GRC)
2011	4	Ames Research Center (ARC)	2023	9	Glenn Research Center (GRC)
	2	Ames Research Center (ARC) - Marshall Space Flight Center (MSFC)			

Tabella 16. Organizzazioni più frequentemente coinvolte in ciascun anno

Per ogni anno, sono state identificate le organizzazioni che hanno **partecipato al maggior numero di progetti** (*Tabella 16*). La particolarità di questa analisi risiede nel fatto che tutte le organizzazioni elencate sono NASA Center. Dal 2001 al 2009, hanno svolto il ruolo da leader, mentre dal 2010 al 2023, fatta eccezione degli anni 2018-19, hanno operato come Supporting.

4.5.3. Analisi relazione variabili: L&S – Durata

Si esamina, in questo paragrafo, l'incrocio tra Lead e Supporting Organization e la **durata** dei progetti. In particolare, si analizza la distribuzione della durata dei progetti per le diverse categorie e i diversi ruoli, al fine di fornire una visione completa delle dinamiche di durata dei progetti in relazione alle diverse tipologie di organizzazioni coinvolte.

I **box plot** sono utilizzati per rappresentare graficamente la distribuzione di un insieme di dati numerici e per individuare la presenza di valori anomali, noti come **"outliers"**. Ciascun box plot è composto da una **"box"** che rappresenta il **50%** dei dati, con una linea al centro che indica la **mediana** dei dati. I **"whisker"** indicano la variazione massima e minima dei dati, escludendo i valori estremi, appunto gli **"outliers"**.

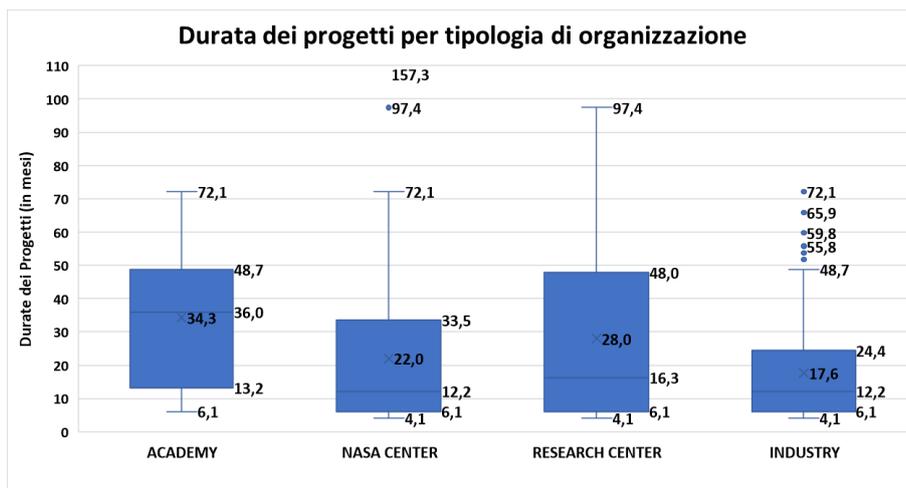


Figura 30. Distribuzione della durata dei progetti, espressa in mesi, per le diverse categorie di organizzazione: Academy, NASA center, Research Center e Industry

La **Figura 30** mostra quattro grafici box plot che illustrano le **durate dei progetti in mesi** per le quattro diverse categorie di organizzazioni. Si osserva che per le Industry le durate sono concentrate principalmente in un intervallo che va da **6 a 25 mesi**, con la presenza di numerosi valori anomali oltre i 48 mesi. Anche per i NASA Center le durate sono abbastanza concentrate, comprese tra **6 e 33 mesi**, ma con una presenza più significativa di valori anomali. I Research Center presentano una distribuzione più ampia con valori più alti; infatti, la mediana, rispetto ai due casi precedenti, si alza a circa **16 mesi**. Addirittura, per le Academy la mediana si alza a circa **36 mesi**, ma la particolarità in questo caso sta nel non presentare outliers rilevanti.

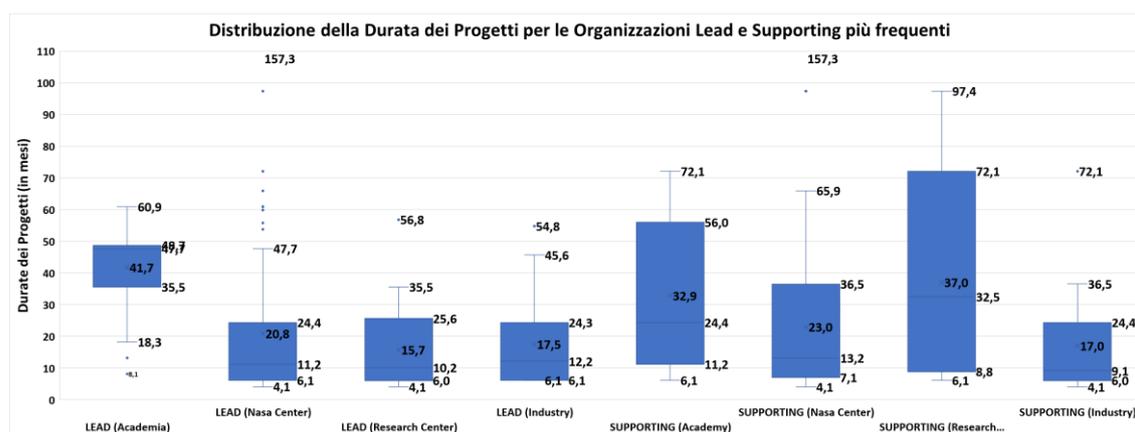


Figura 31. Distribuzione della Durata dei Progetti (in mesi) per le Organizzazioni Lead e Supporting più frequenti per ciascuna categoria: Academy, NASA Center, Research Center, Industry

Infine, sono state selezionate le **10 organizzazioni più frequenti**, considerando ciascuna categoria e ruolo, e successivamente sono state plottate le loro durate nei grafici box plot

della *Figura 31*. È evidente come le durate e le distribuzioni varino a seconda del ruolo svolto da ciascuna organizzazione; nel caso delle organizzazioni Lead, ad esempio, le durate tendono ad essere più concentrate rispetto a quelle dei Supporting. Nello specifico, le Academy mostrano durate più ampie e concentrate quando agiscono come Lead, mentre assumendo il ruolo di Supporting le durate risultano inferiori e più variabili. Tale differenza può essere attribuita al fatto che le Lead Academy spesso sviluppano progetti con livelli tecnologici iniziali (TRL) più bassi, partendo dalle fasi di ricerca, una dinamica non presente quando operano come partner delle altre organizzazioni.

4.5.4. Analisi relazione variabili: L&S – Target Destination

Si procede lo studio, analizzando come le diverse tipologie di organizzazioni si distribuiscono rispetto ai vari target destination come “Earth”, “Moon and Cislunar”, “Mars” e “Others Inside the Solar System”, fornendo così un quadro delle preferenze e degli interessi delle diverse organizzazioni riguardo alle destinazioni dei progetti.

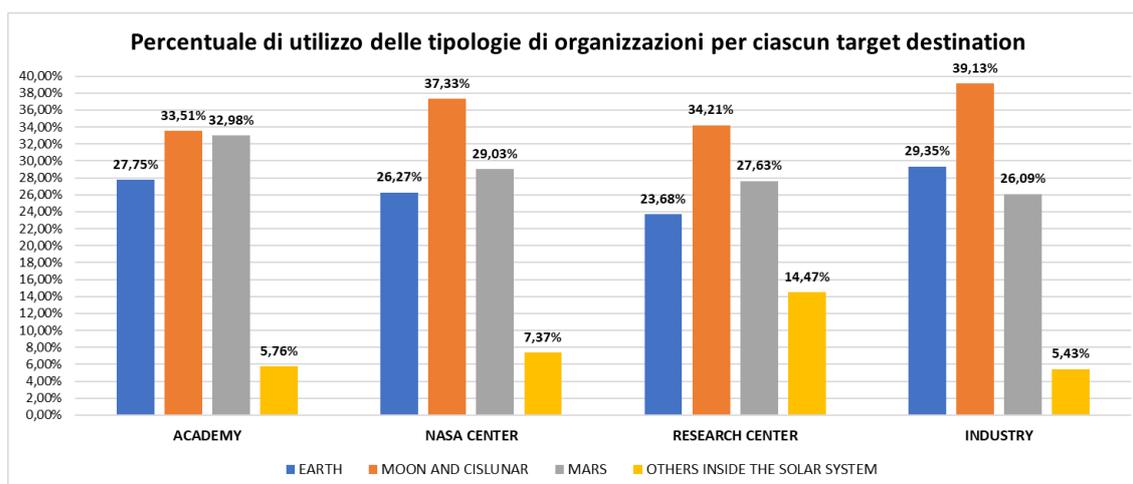


Figura 32. Distribuzione delle diverse Tipologie di Organizzazioni (Academy, NASA Center, Research Center, Industry) rispetto ai vari Target Destination (Earth, Moon and Cislunar, Mars, Others Inside the Solar System)

Esaminando la distribuzione delle varie tipologie di organizzazioni rispetto ai target (come mostrato nella *Figura 32*), emerge che "Moon and Cislunar" rappresenta il **target più comune per tutte le tipologie**, con una percentuale **superiore al 34%**. Seguono "Mars" ed "Earth", con una percentuale superiore rispettivamente al **26%** e al **23%**. "Others Inside the Solar System" mostra una minore attrattiva come destinazione, con le Research Center che dimostrano il maggiore interesse per questo target, con circa il **14%**.

4.5.5. Analisi relazione variabili: L&S – TRL

Infine, si analizza l'incrocio tra Lead e Supporting Organization e i livelli di Technology Readiness (TRL) associati ai progetti. L'obiettivo è quello di esaminare la **distribuzione del TRL Start** e del TRL Estimated Ended per ogni tipologia di organizzazione, consentendo così di valutare la variazione dei livelli di preparazione tecnologica in base alle diverse organizzazioni coinvolte. Inoltre, si analizzeranno i **livelli medi di TRL** per le **due fasi del progetto** (*Start, Estimated Ended*) e per il **Salto TRL** per ciascuna tipologia di organizzazione, al fine di comprendere il grado di preparazione tecnologica dei progetti in relazione ai diversi attori coinvolti.

Le successive box plot illustrano le distribuzioni delle diverse categorie di organizzazioni Lead in relazione al TRL (Start ed Estimated Ended).

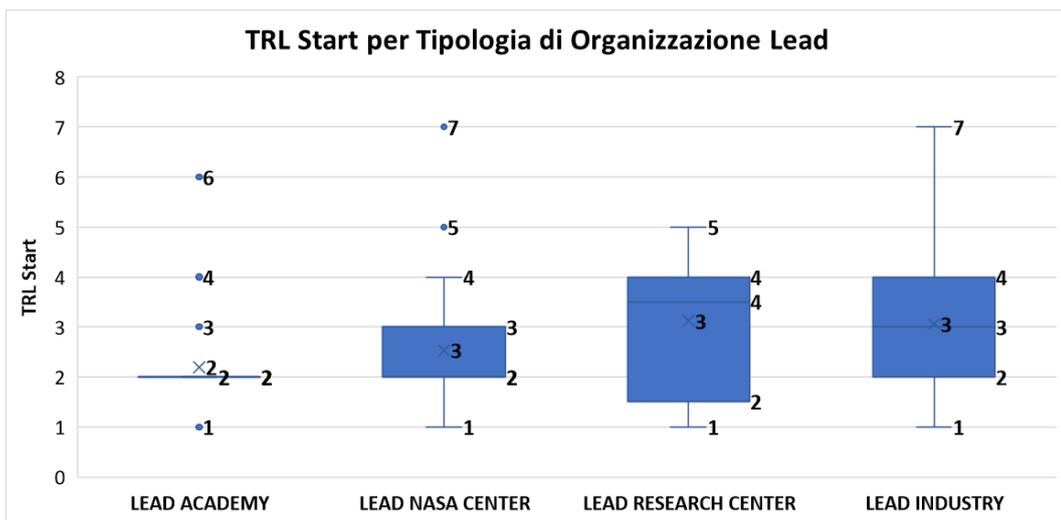


Figura 33. Distribuzione del TRL Start per ogni Tipologia di Organizzazione Lead

Per quanto riguarda il TRL Start, si può osservare che **la mediana è 3** in tutte le categorie di organizzazioni tranne nell'Accademy, dove non solo si registra una mediana di 2, ma anche i valori minimi e massimi coincidono con 2; gli altri valori sono considerati **outliers**. Questo fenomeno si verifica poiché le Accademy mostrano numerosi valori pari a 2 e raramente valori outliers. In generale, il valore **minimo** è sempre **1**, mentre il **massimo** varia **da 4 a 7** (vedi *Figura 33*).

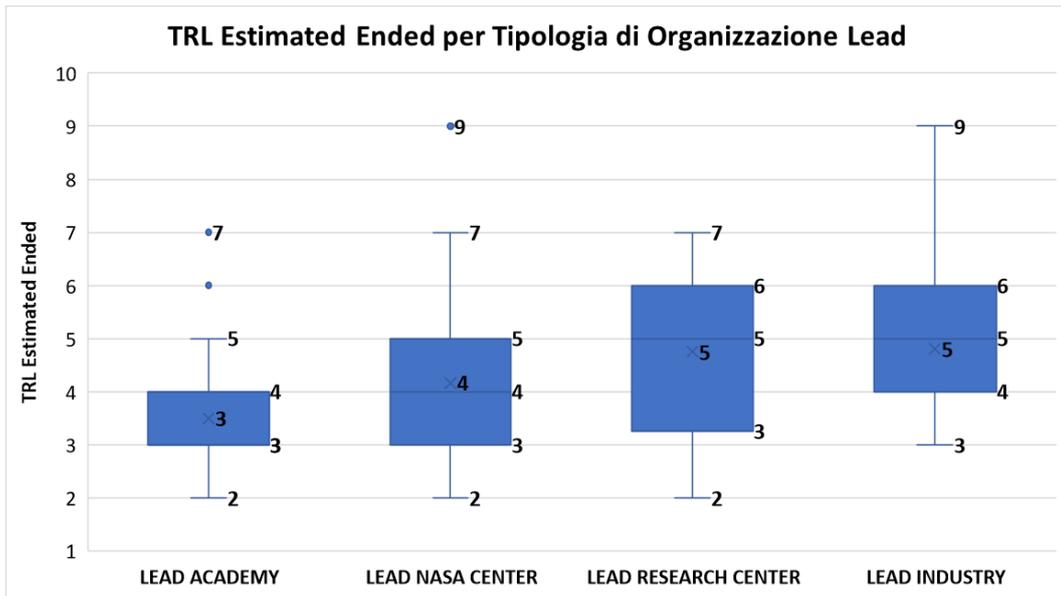


Figura 34. Distribuzione del TRL Estimated Ended per ogni Tipologia di Organizzazione Lead

La distribuzione del TRL Estimated Ended mostra una notevole variazione, spaziando da un **minimo di 2** a un **massimo di 9**, coprendo quasi tutti i possibili livelli di TRL (vedi Figura 34). Si nota una **concentrazione** dei dati nell'Accademy, mentre i Research Center presentano una distribuzione più ampia. I NASA Center presentano un leggero **incremento complessivo**, mentre per le Industry si osserva un aumento rispettivamente di **+2** in tutti i valori (minimo, mediana, massimo) rispetto a quelli di Start. In linea di massima, si nota un **incremento della mediana** in tutte le categorie, indicando una notevole differenza tra l'inizio e la fine del processo. Tuttavia, i valori rimangono generalmente moderati, con solo casi rari di valori molto elevati.

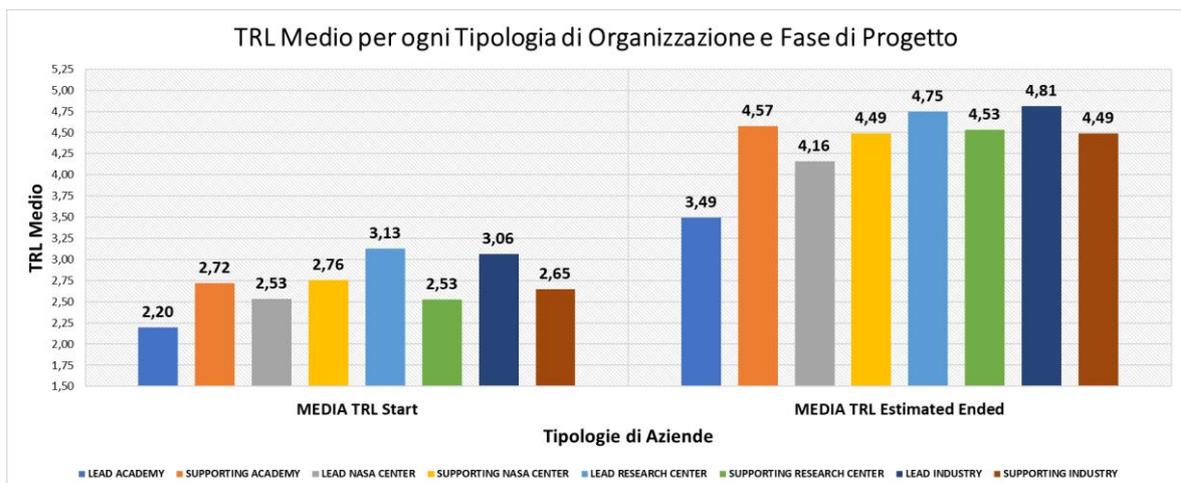


Figura 35. Medie dei Livelli di Technology Readiness (TRL) per le due Fasi del Progetto (Start, Estimated Ended) e per ciascuna Tipologia di Organizzazione

Il grafico a barre presentato nella *Figura 35* rappresenta i **livelli medi di TRL** suddivisi in **due gruppi** tra Start ed Estimated Ended per ciascuna tipologia di organizzazione. Si nota che i Lead Research Center e Industry mostrano valori **più elevati** per ciascun gruppo TRL, mentre i valori **più bassi** sono riscontrati nei Lead Academy, che si posizionano molto al di sotto nei livelli di entrambi i TRL. In generale, tutte le tipologie di organizzazioni evidenziano un aumento medio (dallo Start all'Estimated Ended) compreso **tra 1,63 e 2,00**, con l'eccezione dei Lead Academy che registrano un incremento medio di soli **1,29**. Questa discrepanza viene approfondita nel seguente grafico, che illustra il Salto TRL per le diverse categorie.

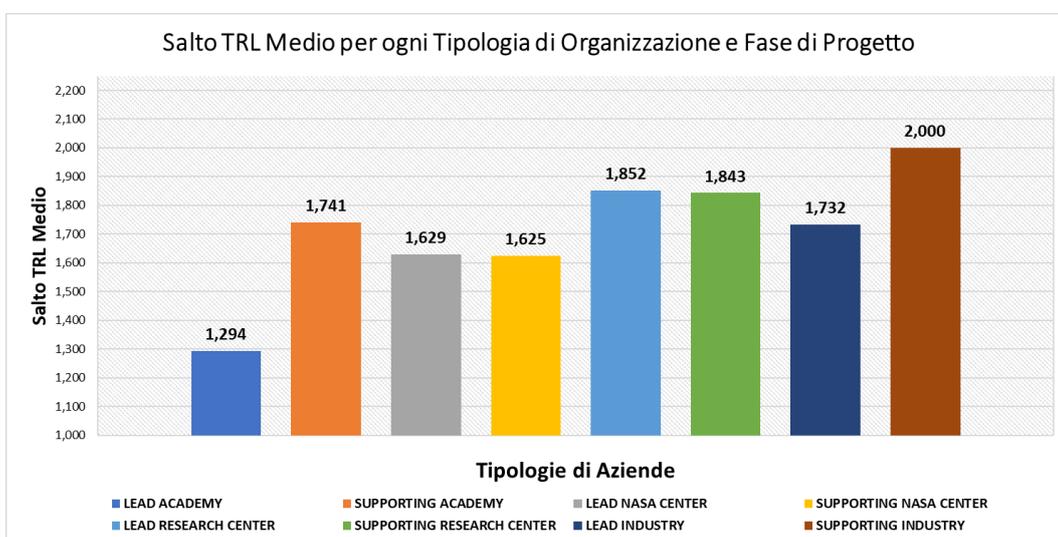


Figura 36. Salto Medio dei Livelli di Technology Readiness (TRL) per ciascuna Tipologia di Organizzazione

In *Figura 36*, si osserva che nei progetti in cui le Accademy assumono il ruolo di leader, il TRL mostra non solo valori iniziali bassi, ma anche un **incremento molto limitato**; una situazione molto diverso rispetto alla loro partecipazione in qualità di Supporting. I NASA Center registrano il secondo più basso aumento TRL in entrambi i ruoli, mentre i Research Center e l'Industry mostrano i **salto più significativi**. Questo evidenzia come le varie categorie affrontino i progetti in modi differenti: per le università, l'obiettivo principale potrebbe non essere la commercializzazione di prodotti finiti, come invece per le industrie, ma piuttosto la ricerca e lo sviluppo di nuove idee e conoscenze innovative.

5. CONCLUSIONE

La presente tesi ha esplorato il settore della space economy, esaminandone l'evoluzione e il ruolo fondamentale nello sviluppo tecnologico e scientifico globale. È stato approfondito il tema della sostenibilità spaziale, sottolineando l'importanza delle pratiche sostenibili per garantire un futuro in cui l'esplorazione e l'uso dello spazio possano proseguire senza danneggiare l'ambiente spaziale e terrestre. L'analisi del database ha rivelato diverse tendenze nei progetti della NASA in ambito sostenibile, permettendo di delineare comportamenti e metodologie di gestione che la NASA adotta per favorire la sostenibilità spaziale futura.

Nel capitolo seguente sono illustrate le varie conclusioni riguardanti ciascuna caratteristica esaminata nell'analisi precedente. Tuttavia, è importante evidenziare che l'analisi presenta alcune limitazioni riguardanti il numero ristretto di progetti considerati e la loro provenienza da un'unica fonte, che potrebbe influenzare la rappresentatività dei risultati. Alcune conclusioni derivano da interpretazioni personali dei dati analizzati, che potrebbero essere ulteriormente verificate approfondendo lo studio delle variabili presenti nei progetti.

5.1. Conclusioni sull'analisi

I risultati derivati dall'**analisi temporale** ha messo in evidenza la **crescente importanza della sostenibilità all'interno del settore spaziale**. Nel corso degli anni, i rapidi **progressi tecnologici** hanno reso possibile l'avvio di un numero sempre maggiore di progetti. Le nuove tecnologie consentono di affrontare una gamma più ampia di sfide e di esplorare nuove aree di ricerca, portando così a un aumento del numero di progetti avviati ogni anno. La natura della ricerca e dello sviluppo nello spazio potrebbe richiedere una **mentalità agile**, con progetti di durata più breve che consentono di adattarsi rapidamente ai cambiamenti tecnologici, alle sfide emergenti e alle opportunità di collaborazione. La NASA potrebbe, inoltre, adottare un **approccio incrementale** allo sviluppo dei progetti, avviando una serie di progetti più piccoli con durata limitata per esplorare nuove idee, tecnologie e concetti. Questo approccio consente di testare rapidamente l'efficacia delle nuove iniziative e di apportare modifiche o miglioramenti in base ai risultati ottenuti. Per di più, la **disponibilità di finanziamenti** potrebbe essere limitata nel tempo, influenzando sia la durata dei progetti che il numero di progetti avviati in un dato periodo.

La selezione dei **target** per i progetti NASA è influenzata da una serie di fattori, tra cui la **prossimità**, l'**accessibilità** e il **potenziale di risorse** dei vari corpi celesti. Questi fattori guidano le decisioni sulla selezione dei target per i progetti spaziali, riflettendo le priorità e gli obiettivi dell'esplorazione spaziale contemporanea. È interessante notare che molti progetti coinvolgono sia la Luna che Marte, suggerendo una **connessione tra le missioni**, con tecnologie e conoscenze sviluppate per una destinazione che possono essere applicate all'altra. Sebbene la Terra sia il target più familiare e studiato, l'interesse per destinazioni meno conosciute è in aumento, con un'attenzione crescente alla sostenibilità delle esplorazioni e delle missioni spaziali al di fuori dell'atmosfera terrestre. Poiché il settore dell'esplorazione è ancora in fase di sviluppo, i progetti sostenibili sono ancora pochi e difficili da realizzare, ma la loro presenza è significativa. Inoltre, le variabili esaminate mostrano comportamenti diversi quando il target è singolo rispetto a quando ci sono due o più target, evidenziando **complessità diverse** dei progetti in base alle destinazioni considerate.

Le analisi mostrano che, nonostante molti progetti inizino con un **livello di maturità tecnologica** relativamente basso, essi compiono progressi notevoli durante il loro sviluppo, aumentando significativamente il TRL. Partire da un TRL basso rende più difficile avanzare a livelli più alti, mentre i progetti che iniziano con un TRL medio-alto tendono a progredire più facilmente. Inoltre, i progetti in corso mostrano previsioni di TRL finale più alte rispetto a quelli già conclusi, suggerendo un obiettivo di portare i progetti a livelli di maturità tecnologica più elevati. Questo implica che le organizzazioni stanno diventando **più efficienti ed efficaci** nel gestire i progetti, portandoli a sviluppi superiori di maturità tecnologica. Tuttavia, anche con un processo di sviluppo dinamico ed efficace, le tecnologie coinvolte potrebbero richiedere ulteriori sforzi per raggiungere la piena maturità e la prontezza per un'implementazione su larga scala.

La durata inferiore dei progetti con TRL iniziali bassi potrebbe derivare dalla loro focalizzazione su **sviluppi tecnologici immediati**, con **obiettivi definiti** e una **struttura operativa flessibile**. Al contrario, progetti con TRL iniziali più alti, che coinvolgono tecnologie avanzate, richiedono più tempo e risorse per essere completati. Questi progetti possono includere una fase iniziale di **ricerca e sviluppo più approfondita**, affrontando **sfide tecniche complesse** che estendono la durata complessiva del progetto. Tuttavia, è importante notare che tali considerazioni rappresentano una media e la correlazione tra durata e TRL è limitata, suggerendo che queste osservazioni siano da considerare come supposizioni.

Inoltre, i progetti possono essere gestiti in modo **agile**, suddividendoli in fasi più brevi e gestibili, avanzando solo se i risultati precedenti sono soddisfacenti. Questo non solo **riduce i costi** e il **livello di investimento** necessari per ogni fase, ma ottimizza anche l'uso di **tempo e risorse**. Questa pratica è supportata dall'osservazione che le aree tecnologiche coinvolte spesso presentano caratteristiche ripetute o molto simili tra loro. Un esempio di tale metodo è il "**tunnel dell'innovazione**", che promuove la selezione dei progetti più promettenti, non solo per un ritorno economico, ma anche per miglioramenti significativi nelle tecnologie e nei progressi spaziali. Infine, si osserva che le durate tendono a essere simili in media per salti di TRL bassi, fatta eccezione per alcuni progetti che mostrano aumenti più marcati di TRL (da 4 a 5), raddoppiando in media le durate.

I progetti destinati alla Terra e alla Luna generalmente mostrano livelli di maturità tecnologica più alti rispetto a quelli mirati a Marte e ad altri corpi celesti. Questa disparità potrebbe riflettere la **maggiore complessità e familiarità delle missioni**. In particolare, si osserva che il salto di TRL è più significativo per le missioni sulla Terra, probabilmente dovuto alla **disponibilità di risorse e infrastrutture** già esistenti, agevolando lo sviluppo e i test delle nuove tecnologie.

L'analisi sulle **organizzazioni** rivela diverse tendenze e differenze significative nel coinvolgimento nei progetti. Le Industry spiccano per la loro diversificazione, mentre i NASA Center rappresentano la maggioranza delle organizzazioni coinvolte nei progetti. Tuttavia, ci sono differenze sostanziali nel coinvolgimento delle varie tipologie di organizzazioni nei ruoli di Lead e Supporting. Ad esempio, i NASA Center sono più attivi come Supporting, mentre le Industry sono più frequenti come Lead. Inoltre, le **partnership** più comuni coinvolgono Industry e NASA Center.

Questo evidenzia un significativo aumento del coinvolgimento delle industrie come **leader** nei progetti, indicando un crescente interesse delle imprese private nello spazio. Un dato rilevante è che le aziende private stanno diventando sempre più presenti nei progetti, mostrando un crescente impegno nel migliorare e commercializzare le tecnologie esistenti, sviluppando **economie di scala** per ridurre i costi e migliorare l'efficienza operativa.

D'altra parte, il coinvolgimento delle università ha mostrato una crescita marcata ma meno evidente, con un incremento non sostanziale come nel caso delle aziende private. Questo si riflette nell'analisi delle partnership, che evidenzia numerose collaborazioni tra i centri NASA e le aziende, ma poche con le università. C'è da dire che per la NASA sia più facile, veloce e meno costoso lavorare con le aziende rispetto alle università, il che limita le collaborazioni con queste ultime.

La durata dei progetti varia significativamente tra le diverse organizzazioni coinvolte. Le Academy mostrano tendenzialmente una durata più lunga e stabile, mentre le Industry e i centri NASA hanno durate generalmente più brevi ma con maggiore variabilità, caratterizzata da numerosi valori outlier. In particolare, quando le università assumono il

ruolo di leader, le durate dei progetti aumentano considerevolmente, suggerendo che i progetti avviati da livelli di ricerca richiedano più tempo per essere completati. Un'analisi più approfondita, considerando anche il TRL, mostra che le università tendono a partire da livelli di TRL più bassi in media e hanno incrementi relativamente modesti. Ciò contraddice le supposizioni precedenti e indica che i progetti con TRL iniziali più bassi hanno in realtà durate più lunghe, soprattutto quando le Academy assumono il ruolo di leadership nei progetti.

Le organizzazioni hanno anche obiettivi di destinazione diversi per i loro progetti. Per le università, Terra, Luna e Marte hanno approssimativamente lo stesso livello di rilevanza, mentre per i centri NASA e le industrie, il target Luna assume maggiore importanza, sebbene Terra e Marte mantengano comunque una significativa importanza.

Infine, le differenze nei livelli di Technology Readiness indicano approcci diversi delle organizzazioni ai progetti. In particolare, le aziende private e le università mostrano livelli opposti di TRL, poiché le aziende mirano a commercializzare **prodotti** o **servizi finiti** (TRL alti), mentre le università si concentrano principalmente sulla **ricerca** (TRL bassi). Anche i progressi seguono questo trend, con incrementi significativamente maggiori per le aziende private. Questi risultati mettono in luce la complessità e la varietà nel coinvolgimento delle organizzazioni nei progetti NASA, riflettendo le diverse sfaccettature e obiettivi nel settore spaziale.

5.2. *Indagine sulle Università*

L'analisi delle Lead e Supporting Organization ha rivelato diverse tendenze e dinamiche interessanti, tra cui delle differenze evidenti nella partecipazione delle **università** ai progetti. Le università, sebbene costantemente presenti nei progetti sia come Lead sia come Supporting Organization, mostrano un coinvolgimento diverso rispetto alle altre tipologie di organizzazioni.

Innanzitutto, le università sono coinvolte in una vasta gamma di progetti, spesso assumendo il ruolo da **leader** in iniziative di **ricerca e sviluppo** di nuove idee e conoscenze innovative. Tuttavia, la loro presenza come Supporting Organization è altrettanto rilevante, evidenziando come collaborino con altre organizzazioni per portare avanti progetti con diversi obiettivi e focus.

Una delle peculiarità delle università risiede nella **distribuzione temporale** dei loro ruoli nei progetti. Mentre inizialmente potrebbero essere meno frequenti come Lead, la loro partecipazione anche se discreta aumenta nel tempo, soprattutto a partire dal 2010. Questo suggerisce un crescente coinvolgimento delle università in **ruoli di guida e leadership** all'interno dei progetti, probabilmente a seguito di una maggiore attenzione alle iniziative di ricerca e sviluppo nel settore spaziale.

Per di più, mentre le Industry e i NASA Center sono spesso presenti come Lead e Supporting in modo più uniforme, le università mostrano una **variazione più marcata** nei loro ruoli all'interno dei diversi progetti. Questo riflette la **natura flessibile e adattabile** delle università nel contesto della ricerca e dello sviluppo, in cui possono assumere **ruoli diversi** a seconda delle esigenze e delle opportunità dei progetti. Quello che è certo è che le università, negli ultimi anni, stanno svolgendo un ruolo cruciale nella ricerca, nella formazione, nella collaborazione con l'industria, nel sostegno all'innovazione imprenditoriale e nella promozione della conoscenza pubblica dello spazio.

L'analisi dei progetti NASA ha rivelato una serie di trend e dinamiche importanti, con particolare attenzione alla crescente importanza della **sostenibilità**. Questi risultati sottolineano l'**evoluzione continua** del settore spaziale e l'importanza di adattare le

strategie di sviluppo alle sfide emergenti, offrendo grandi opportunità di innovazione, crescita economica e progresso tecnologico a livello globale.

Complessivamente, questa tesi ha evidenziato l'importanza di un approccio integrato e sostenibile nell'economia spaziale, suggerendo che il futuro dell'esplorazione spaziale risiede nell'equilibrio tra **progresso tecnologico** e **salvaguardia ambientale**.

BIBLIOGRAFIA

- Angelopoulou K., Koskina A., (2022), *"Space Sustainability in the Context of Global Space Governance"*
- Colvin T.J., Karcz J., Wusk G., (2023), *"Cost and Benefit Analysis of Orbital Debris Remediation"*
- Di Pippo S., (2022), *"La nuova frontiera dello sviluppo"*
- Iliopoulou N., Estebanb M., (2019), *"Sustainable space exploration and its relevance to the privatization of space ventures"*
- Locke J., Colvin T.J., Ratliff L., Abdul-Hamid A., Samples C., (2024), *"Cost and Benefit Analysis of Mitigating, Tracking, and Remediating Orbital Debris"*
- Losch A., Galli A., Ullrich O., Jah M., (2023), *"Space resources and planetary sustainability— challenges and opportunities"*
- Miraux L., Wilson A.R., Dominguez Calabuig G.J., (2022), *"Environmental sustainability of future proposed space activities"*
- NASA, (2022), *"NASA's Space Sustainability Strategy Volume 1: Earth Orbit"*
- Nguyen N.M., (2000), *"Effective Space Project Management"*
- Petruzzelli A. M., Panniello U., (2019), *"Space Economy: storia e prospettive di business"*
- Sanna G., (2021), *"New space economy, ambiente, sviluppo sostenibile"*
- Spangenberg J.H., (2002), *"Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development"*

SITOGRAFIA

- Adecco Group Italia, (2023), *“Il Belpaese nello Spazio”*
<https://www.morningfuture.com/it/2023/04/05/economia-dello-spazio-italia/>
- Africa Sustainability Matters, (2024), *“NASA adopts sustainability in space operations”*
<https://africasustainabilitymatters.com/nasa-adopts-sustainability-in-space-operations/>
- Baccini F., (2024), *“L’Italia guarda in alto: fino a 7,3 miliardi di investimenti nella Space Economy”*, Green Economy Agency
<https://geagency.it/litalia-guarda-in-alto-fino-a-73-miliardi-di-investimenti-nella-space-economy/>
- Cavallo A., Paravano A., (2021), *“La Space Economy fra nuovi business e benefici sociali”*, ENEA
<https://www.eai.enea.it/archivio/ricerca-e-innovazione-per-la-sfida-spaziale/la-space-economy-fra-nuovi-business-e-benefici-sociali.html>
- Cosmi R., (2021), *“La Space Economy tra prospettive di sviluppo nazionali e internazionali”*, ENEA
<https://www.eai.enea.it/archivio/ricerca-e-innovazione-per-la-sfida-spaziale/la-space-economy-tra-prospettive-di-sviluppo-nazionali-e-internazionali.html>
- ESG360, (2023), *“Space Economy e sostenibilità: il legame si fa sempre più stretto e l’Italia è fra i protagonisti”*
<https://www.esg360.it/report-analisi-e-ricerche/xxspace-economy-e-sostenibilita-il-legame-si-fa-sempre-piu-stretto-e-litalia-e-fra-i-protagonisti/>
- Fotia F., (2024), *“Cosa sono i detriti spaziali e quali sono i pericoli della spazzatura nello Spazio”*, MeteoWeb

<https://www.meteoweb.eu/2024/02/detriti-spaziali-cosa-sono-rischi-e-pericoli/1001358303/>

- Fonzo E., (2023), *“Come funziona la Space Economy e qual è il ruolo dell'Italia”*, Geopop

<https://www.geopop.it/come-funziona-la-space-economy-e-qual-e-il-ruolo-dellitalia/>

- Hoban F. T., Hoffman E. J., (1992), *“An overview of training and development strategies for NASA project management.”* In *PM Network*, 6(6), 44–49.

<https://www.pmi.org/learning/library/nasa-pm-training-development-curriculum-3454>

- I-Com, (2023), *“Space economy: opportunità globale e nazionale, ma attenzione alla cybersicurezza”*

<https://www.i-com.it/2023/09/29/space-economy-cybersicurezza/>

- La Stampa, (2024), *“Space Economy: mercato raggiungerà 1000 miliardi euro nel 2030, ruolo chiave dell'Italia”*

<https://finanza.lastampa.it/News/2024/01/16/space-economy-mercato-raggiungera-1000-miliardi-euro-nel-2030-ruolo-chiave-dellitalia/MTMxXzlwMjQtMDEtMTZfVExC>

- Lo Bue R., (2023), *“La space economy europea ha bisogno di una rivoluzione?”*

<https://www.scienzainrete.it/articolo/space-economy-europea-ha-bisogno-di-rivoluzione/riccardo-lo-bue/2023-10-18>

- Maltauro L., (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/?refresh_ce=1

- NASA, (2024), *“NASA's Space Sustainability Strategy”*

<https://www.nasa.gov/spacesustainability/>

- NASA, (n.d.), *“Leadership in Space: Selected Speeches of NASA Administrators”*

<https://www.nasa.gov/history/riderep/leadspac.htm>

- NASA, (n.d.), *“Techport NASA”*

<https://techport.nasa.gov/home>

- Osservatori Digital Innovation, (2020), *“Space Economy: grandi possibilità per nuove applicazioni e servizi, ma il potenziale è ancora da cogliere”*

<https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/space-economy-applicazioni-servizi-tecnologie>

- Quotidiano Nazionale, (2024), *“Verso i 100mila satelliti in orbita: i numeri della Space Economy. Problemi e pericoli annessi”*

<https://www.quotidiano.net/economia/space-economy-429317e9?live>

- Sciarma C., (2022), *“Troppi satelliti in orbita intorno alla Terra”*

<https://www.scienzainrete.it/articolo/troppi-satelliti-orbita-intorno-alla-terra/claudia-sciarma/2022-04-14>

- Space Economy 360, (2023), *“Internet via satellite: crescita boom, giro d'affari da 17 miliardi al 2028”*, Network Digital 360

<https://www.spaceeconomy360.it/telecomunicazioni-satellitari/internet-via-satellite-crescita-boom-giro-daffari-da-17-miliardi-al-2028-337/>

- Varma J., (2023), *“Trends in the Space Sector”*

https://commercialisation.esa.int/wp-content/uploads/2023/10/Varma_Trends-in-the-Space-Sector.pdf

RINGRAZIAMENTI

Il mio primo ringraziamento va al Professor Federico Caviggioli, che mi ha accompagnato nella fase conclusiva del mio percorso accademico con la supervisione della mia tesi. Gli sono grato per la sua disponibilità e per i preziosi suggerimenti che mi ha offerto. Inoltre, vorrei esprimere la mia gratitudine alla Dott.ssa Marianna Valente per i consigli e le indicazioni iniziali che mi ha fornito.